

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника
Фізико-хімічний інститут
Бердянський державний педагогічний університет
Державний фонд фундаментальних досліджень
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
Інститут фізики напівпровідників імені В.Є. Лашкарьова
Інститут металофізики імені Г.В. Курдюмова
Інститут загальної і неорганічної хімії імені В.І. Вернадського
Інститут хімії поверхні
Інститут термоелектрики
УКРАЇНСЬКЕ ФІЗИЧНЕ ТОВАРИСТВО
АСОЦІАЦІЯ "ВЧЕНІ ПРИКАРПАТТЯ"
ЛЮБЛІНСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (ПОЛЬЩА)

ФІЗИКА І ТЕХНОЛОГІЯ ТОНКИХ ПЛІВОК ТА НАНОСИСТЕМ

Матеріали XI Міжнародної конференції

МКФТТПН-ХІ

Т О М 1

7-12 травня 2007 р.

Івано-Франківськ
Україна

ББК 22.373.1

Ф 83

УДК 539.2

Фізика і технологія тонких плівок та наносистем. Матеріали XI Міжнародної конференції: У 2 т. – Т. 1. / За заг. ред. заслуженого діяча науки і техніки України, д.х.н., проф. **Фреїка Д.М.** – Івано-Франківськ: Видавничо-дизайнерський відділ ЦІТ Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, 2007. – 240 с.

Представлено результати теоретичних і експериментальних досліджень з питань: технологія тонких плівок (метали, напівпровідники, діелектрики, провідні полімери) і методи їх дослідження; фізико-хімічні властивості плівок; нанотехнології і наноматеріали, квантово-розмірні структури; тонкоплівкові елементи електронних пристроїв.

Матеріали підготовлено до друку Організаційним комітетом та Редакційною колегією конференції і подано в авторській редакції.

Для наукових та інженерних працівників з проблем тонкоплівкового матеріалознавства та мікроелектроніки.

Рекомендовано до друку науково-технічною радою Фізико-хімічного інституту Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника.

Рецензенти:

Литовченко В.Г.

чл.-кор. НАН України, доктор фізико-математичних наук, професор.

Ковтун Г.О.

чл.-кор. НАН України, доктор хімічних наук, професор.

Точицький Е.І.

чл.-кор. НАН Білорусі, доктор технічних наук, професор.

© Прикарпатський
національний університет
імені Василя Стефаника
вул. Шевченка, 57,
м. Івано-Франківськ,
76000, Україна
Тел. (0342) 503752
Факс (03422) 31574
E-mail: freik@pu.if.ua

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
‘Vasyl Stefanyk’ Precarpathian National University
Physical-Chemical Institute
Berdiansk State Pedagogical University
State Fund of Fundamental Researches

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE OF UKRAINE
‘V.E. Lashkarev’ Institute of Semiconductor Physics
‘G.V. Kurdyumov’ Institute of the Physics of Metals
‘V.I. Vernadsky’ Institute of General and Inorganic Chemistry
Institute of Surface Chemistry
Institute of Thermal-Electricity

LUBLIN TECHNICAL UNIVERSITY (POLAND)
“SCIENTISTS OF THE PRECARPATHIAN” ASSOCIATION
UKRAINE PHYSICS SOCIETY

PHYSICS AND TECHNOLOGY OF THIN FILMS AND NANOSYSTEMS

XI INTERNATIONAL CONFERENCE

Materials

7-12, May, 2007

Ivano-Frankivsk, Ukraine

МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
Прикарпатский национальный университет имени Василия Стефаника

Физико-химический институт

Бердянский государственный педагогический университет
Государственный фонд фундаментальных исследований

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ

Институт физики полупроводников имени В.Е. Лашкарева

Институт металлофизики имени Г.В. Курдюмова

Институт общей и неорганической химии имени В.И. Вернадского

Институт химии поверхности

УКРАИНСКОЕ ФИЗИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО

АССОЦИАЦИЯ "УЧЕНЫЕ ПРИКАРПАТЬЯ"

ЛЮБЛИНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ФИЗИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ТОНКИХ ПЛЁНОК И НАНОСИСТЕМ

XI МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

Материалы

7-12 мая 2007 года

Ивано-Франковск, Украина

Physics and Technology of Thin Films and Nanosystems. Materials of XI International Conference: On 2 V. – V. 1. / Ed by Honored engineer and techniques of Ukraine, Dr.Chem.Sci., Prof. **Freik D.M.** – Published-Design Centre of ‘Vasyl Stefanyk’ Precarpathian National University, 2007. – 240 c.

The results of theoretical and experimental researches in directions are submitted: technology of thin films (metals, semiconductors, dielectrics, and carrying out polymers) and methods of their investigation; physicochemical properties of thin films; nanotechnology and nanomaterials, quantum-size structures; thin-film devices of electronics.

The materials preformed for printing by Organizational Committee and Editorial Board of Conference, are conveyed in authoring edition.

For the scientific and engineering workers on thin-film material sciences and microelectronics.

It is recommended for printing by Scientific and Technical Advice of Physical-Chemical Institute at the ‘Vasyl Stefanyk’ Precarpathian National University.

Физика и технология тонких пленок и наносистем. Материалы XI Международной конференции: В 2 т. – Т. 1. / Под общ. ред. заслуженного деятеля науки и техники Украины, д.х.н., проф. **Фрейка Д.М.** – Ивано-Франковск: Издательско-дизайнерский отдел ЦИТ Прикарпатского национального университета имени Василия Стефаника, 2007. – 240 с.

Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований в направлениях: технология тонких пленок (металлы, полупроводники, диэлектрики, проводящие полимеры) и методы их исследования; физико-химические свойства пленок; нанотехнологии и наноматериалы, квантово-размерные структуры; тонкопленочные элементы электронных приборов.

Материалы подготовлены к печати Организационным комитетом и редакционной коллегией конференции, поданы в авторской редакции.

Для научных и инженерных работников по вопросам тонкопленочного материаловедения и микроэлектроники.

Рекомендовано к печати научно-техническим советом Физико-химического института Прикарпатского национального университета имени Василия Стефаника.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Бюро

Миронюк І.Ф., Остафійчук Б.К., Фреїк Д.М.

Міжнародний

Анатичук Л. (Україна), **Бабанли М.** (Азербайджан), **Власенко О.** (Україна), **Волков С.** (Україна), **Вуйцік В.** (Польща), **Гасанов К.** (Азербайджан), **Горбик П.** (Україна), **Грігоніс А.** (Литва), **Гуревич Ю.** (Мексика), **Гуржій А.** (Україна), **Жуковські П.** (Польща) **Зломанов В.** (Росія), **Калінкін І.** (Росія), **Кияк Б.** (Україна), **Кікінеші О.** (Угорщина), **Ковтун Г.** (Україна), **Комаров Ф.** (Білорусь), **Кучмій С.** (Україна), **Литовченко В.** (Україна), **Мазуренко Є.** (Україна), **Мачулін В.** (Україна), **Міттова І.** (Росія), **Мовчан Б.** (Україна), **Наумовець А.** (Україна), **Новиков М.** (Україна), **Огородник Я.** (США), **Панасюк В.** (Україна), **Раренко І.** (Україна), **Свєчніков С.** (Україна), **Сизов Ф.** (Україна), **Сукач Г.** (Україна), **Стасюк І.** (Україна), **Тагаєв М.** (Узбекистан), **Тодоран Р.** (Румунія), **Точицький Е.** (Білорусь), **Фірстов С.** (Україна), **Фістуль В.** (Росія), **Шпак А.** (Україна), **Шпілевський Е.** (Білорусь)

Національний

Бойко Б. (Харків), **Бойчук В.** (Дрогобич), **Галушак М.** (Івано-Франківськ), **Гасюк І.** (Івано-Франківськ), **Гладких М.** (Харків), **Давидюк Г.** (Луцьк), **Дмитрук М.** (Київ), **Дружинін А.** (Львів), **Зауличний Я.** (Київ), **Зінченко В.** (Одеса), **Ігнатенко П.** (Донецьк), **Кідалов В.** (Бердянськ), **Кланічка В.** (Івано-Франківськ), **Корбутяк Д.** (Київ), **Куницький Ю.** (Київ), **Лашкарьов Г.** (Київ), **Лєпїх Я.** (Одеса), **Матвєєва Л.** (Київ), **Миколайчук О.** (Львів), **Никируй Л.** (Івано-Франківськ), **Панченко О.** (Київ), **Похмурський В.** (Львів), **Прокопів В.** (Івано-Франківськ) **Проценко І.** (Суми), **Прокопенко І.** (Київ), **Птащенко О.** (Одеса), **Рогачова О.** (Харків), **Рувінський М.** (Івано-Франківськ), **Середа Б.** (Запоріжжя), **Смертенко П.** (Київ), **Стасюк З.** (Львів), **Стронський О.** (Київ), **Ткач М.** (Чернівці), **Томашик В.** (Київ), **Уваров В.** (Київ), **Чуйко Г.** (Херсон)

Секретаріат

Межиловська Л.Й. – вчений секретар конференції

Бабушак Г.Я., Борик В.В., Дзундза Б.С., Соколов О.Л. – секретарі

ORGANIZING COMMITTEE

Bureau

D. Freik, I. Myronyuk, B. Ostafiychuk

International

L. Anatychyk (Ukraine), **M. Babanly** (Azerbaijan), **S. Firstov** (Ukraine), **V. Fistulj** (Russia), **K. Gasanov** (Azerbaijan), **P. Gorbyk** (Ukraine), **A. Grigonis** (Lithuania), **Yu. Gurevich** (Mexico), **A. Gurzhiy** (Ukraine), **I. Kalinkin** (Russia), **O. Kikineshi** (Hungary), **F. Komarov** (Belarus), **G. Kovtun** (Ukraine), **S. Kuchmij** (Ukraine), **B. Kyjak** (Ukraine), **V. Lytovchenko** (Ukraine), **V. Machulin** (Ukraine), **Ye. Mazurenko** (Ukraine), **I. Mittova** (Russia), **B. Movchan** (Ukraine), **A. Naumovetsj** (Ukraine), **M. Novykov** (Ukraine), **Ya. Ogorodnik** (USA), **V. Panasjuk** (Ukraine), **V. Prokopiv** (Ukraine), **I. Rarenko** (Ukraine), **A. Shpak** (Ukraine), **E. Shpilevsky** (Belarus), **F. Sizov** (Ukraine), **I. Stasjuk** (Ukraine), **G. Sukach** (Ukraine), **S. Svechnikov** (Ukraine), **M. Tagaev** (Uzbekistan), **E. Tochytsky** (Belarus), **R. Todoran** (Romania), **O. Vlasenko** (Ukraine), **S. Volkov** (Ukraine), **V. Wojcik** (Poland), **V. Zlomanov** (Russia), **P. Zukowski** (Poland)

National

B. Boyko (Kharkiv), **V. Boychuk** (Drogobych), **G. Chuyko** (Kherson), **G. Davydyuk** (Lutsk), **M. Dmytruk** (Kyiv), **I. Drugynin** (Lviv), **M. Galushchak** (Ivano-Frankivsk), **I. Gasyuk** (Ivano-Frankivsk), **M. Gladkykh** (Kharkiv), **P. Ignatenco** (Donetsk), **V. Kidalov** (Berdyansk), **V. Klanichca** (Ivano-Frankivsk), **D. Korbutyak** (Kyiv), **Yu. Kunitscyy** (Kyiv), **G. Lashkarov** (Kyiv), **I. Lepikh** (Odesa), **L. Matveeva** (Kyiv), **O. Mykolaychuk** (Lviv), **L. Nykyruy** (Ivano-Frankivsk), **O. Panchenco** (Kyiv), **V. Pohmursjkyy** (Lviv), **V. Procopiv** (Ivano-Frankivsk), **I. Protsenco** (Sumy), **I. Procopenco** (Kyiv), **O. Ptashenco** (Odesa), **O. Rogachova** (Kharkiv), **M. Ruvinsky** (Ivano-Frankivsk), **B. Sereda** (Zaporizzhya), **P. Smertenco** (Kyiv), **Z. Stasyuk** (Lviv), **O. Stronsjkyy** (Kyiv), **M. Tkach** (Chernivtsi), **V. Tomashyk** (Kyiv), **V. Uvarov** (Kyiv), **I. Zaulychnyy** (Kyiv), **V. Zinchenco** (Odesa)

Secretariate

Scientific Secretary – L. Mezhylovska

Secretaries – G. Babushchak, V. Boryk, B. Dzundza, O. Sokolov

Вельмишановні пані та панове! Друзі! Колеги!

Радий Вас знову привітати на прекрасній землі нашого Прикарпаття! Ми вступили вже у другий десяток наших міжнародних зустрічей! І це чудово!



Ми разом йдемо в ногу із досягненнями світової науки взагалі і тонко плівкових технологій зокрема. Адже вони стали фундаментом успішного розвитку мікроелектроніки у ХХ ст. і є основою нового напрямку в науці ХХІ ст. – нанотехнологій, наноматеріалів і наноелектроніки. Це є не тільки нашим досягненням, але і певною гордістю! У зв'язку із останнім, наші традиційні назви “МКФТТП” –

міжнародна конференція з фізики і технології тонких плівок дещо змінені на “МКФТТПН” – міжнародна конференція з фізики і технології тонких плівок та **наносистем!** Це виправдано, так як на МКФТТПН – ХІ у секції “Нанотехнології і наноматеріали, квантово-розмірні структури” заявлено значне число теоретичних та експериментальних робіт.

Успішної наукової роботи, творчого спілкування, дружніх зустрічей і доброго відпочинку!

Щастя і натхнення Вам!

**З повагою,
голова Оргкомітету МКФТТПН – ХІ**



Дмитро Фрейк

*с. Гута, м. Івано-Франківськ, Україна
7 травня 2007 р.*

ПЛЕНАРНІ ДОПОВІДІ

8-11 травня 2007 р.

PLENARY REPORT

May, 8-11, 2007

Оптические и фотоэлектрические свойства тонких пленок стекол $(As_2Se_3)_{1-x}(TlSe)_x$ ($x = 0,05 - 0,10$)

И.И. Алиев, М.Б. Бабанлы, А.А. Фарзалиев

Бакинский Государственный Университет, Баку, Азербайджан

В работе представлены результаты исследования фазовых равновесий и стеклообразования в системе $TlSe - As_2Se_3$, а также оптических и фотоэлектрических свойств аморфных тонких пленок. Методами ДТА и РФА построена фазовая диаграмма этой системы, установлено существование тройных соединений $TlAs_2Se_4$ и $Tl_3As_2Se_6$, которые также как и As_2Se_3 ведут себя как стеклообразователи. Область стеклообразования в системе $TlSe - As_2Se_3$ при обычном режиме охлаждения составляет 2-10 мол.% As_2Se_3 . Вакуумным напылением стеклообразных образцов $(As_2Se_3)_{1-x}(TlSe)_x$ ($x = 0,05; 0,7$ и $0,10$) на стеклянную подложку с проводящим слоем SnO_2 были получены их тонкие пленки, проводились оптические измерения.

Анализ спектров поглощения показал, что при изменении волновых чисел от $1,4 \cdot 10^4 \text{ см}^{-1}$ до $2 \cdot 10^4 \text{ см}^{-1}$ коэффициент поглощения меняется от 10^3 см^{-1} до $5 \cdot 10^5 \text{ см}^{-1}$.

Исследование ЛАХ показал, что лучшей фоточувствительностью обладает образец состава $x = 0,07$ при рабочем напряжении 130 В и освещении 15 лк. С увеличением содержания $TlSe$ собственный максимум уменьшается, а интенсивность примесного максимума при $0,7 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ увеличивается. Для образцов с составами $x = 0,05; 0,07$ и $0,10$ фотопроводимость равна $0,71 \cdot 10^{-6}$, $0,72 \cdot 10^{-6}$ и $0,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}$, а ширина запрещенной зоны $\Delta E_{\text{опт}} = 1,6; 1,55$ и $1,5 \text{ эВ}$, соответственно. Все изученные образцы тонких пленок обладают р-типом проводимости.

Швидкодіючі термоелектричні плівкові приймачі випромінювання підвищеної чутливості

Анатиччук Л.І., Разіньков В.В.

Інститут термоелектрики НАН та МОН України, Київ, Україна.

Наведено результати аналізу сучасного стану і перспектив подальшого розвитку плівкових термоелектричних приймачів випромінювання.

Розглянуто сучасні методи отримання стабільних плівок термоелектричних матеріалів підвищеної термоефективності, перспективних для створення високочутливих і швидкодіючих приймачів випромінювання. Висвітлено матеріалознавчі питання створення високоякісних контактних і перехідних плівкових шарів в багатоелементних термоелектричних мікробатареях.

Представлено варіанти плівкових термоелектричних приймачів випромінювання зі значеннями вольт-ваттної чутливості 100-500 В/Вт і постійної часу 10-60мс. Показано можливість створення швидкодіючих плівкових приймачів з вольт-ваттною чутливістю до 1000 В/Вт.

Розглянуто особливості ефективного застосування термоелектричних плівкових приймачів випромінювання в складі сучасних ІЧ системах.

Магнитоквантовые осцилляции и квантовые интерференционные эффекты в 2D системах (на примере $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ квантовых ям р-типа)

Беркутов И.Б., Комник Ю.Ф., Андриевский В.В., Миронов О.А.¹, Волл Т.¹

*Физико-технический институт низких температур
им. Б.И. Веркина НАН Украины, Харьков, Украина*

¹*Department of Physics, University of Warwick, Coventry CV4 7AL, United Kingdom*

Двумерные (2D) электронные системы реализуются в очень тонких пленках полупроводников и полуметаллов, в инверсионных поверхностных слоях на полупроводниковых монокристаллах, в δ -слоях, гетеропереходах и гетероструктурах с квантовыми ямами. В тонких пленках и δ -слоях имеет место сильное упругое рассеяние электронов τ (на примесях и разного рода дефектах). Наибольший интерес представляют инверсионные слои и гетероструктуры; в них при низких температурах достигнута подвижность электронов порядка $\sim 10^5 \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$. Это открывает возможность наблюдения *магнитоквантовых эффектов* – осцилляций проводимости Шубникова-де-Гааза (ШдГ) и ступеней квантового Холл-эффекта. Анализ магнитополевого и температурного изменения амплитуды осцилляций ШдГ позволяют найти важные

микрохарактеристики электронов – эффективную массу m^* , квантовое время рассеяния τ_q , эффективный g^* -фактор, а также, как будет показано ниже, получить представление о структуре самой квантовой ямы. Наряду с указанными эффектами в 2D электронных системах проявляются квантовые интерференционные эффекты – слабая локализация электронов (СЛ) и электрон-электронное взаимодействие. С ними связаны квантовые поправки к проводимости, определяющие аномальное изменение сопротивления от температуры и напряженности магнитного поля. Анализ этих зависимостей дает возможность определить время неупругого рассеяния, значение константы взаимодействия, выявить спин-орбитальные (SO) эффекты. Подобные определения будут продемонстрированы для серии образцов с квантовыми ямами состава $Si_{1-x}Ge_x$, где $x=0,13; 0,36; 0,8; 0,95$; а также для чисто германиевой квантовой ямы. Образцы обладали дырочным типом проводимости.

Осцилляции ШдГ проводимости 2D электронной системы описываются соотношением [1]:

$$\rho_{xx} = \frac{1}{\sigma_0} \left[1 + 4 \sum_{s=1}^{\infty} \left(\frac{\Psi_s}{\sinh \Psi_s} \right) \exp \left(-\frac{\pi s}{\omega_c \tau_q} \right) \cos \left(\frac{2\pi s \varepsilon_F}{\hbar \omega_c} - \Phi \right) \right], \quad (1)$$

где $\Psi = (2p^2 k_B T) / (\hbar \omega_c)$, $\omega_c = (eB) / m^*$ – циклотронная частота, $\varepsilon_F = (\pi \hbar^2 n) / m^*$ – энергия Ферми (n – концентрация носителей заряда), Φ – фаза. Как видно из Ур. (1), для амплитуды осцилляций $\Delta\rho/\rho$ в координатах $\ln[(\Delta\rho/\rho) \cdot (\sinh \Psi / \Psi)]$ от $1/\omega_c \tau$ должна наблюдаться линейная зависимость с наклоном, определяемым τ_q , а искомая величина m^* должна обеспечивать совпадение линейных зависимостей при всех температурах и магнитных полях, отвечающих положениям экстремумов. Найдено, что значения m^* изменяются от $0,24 m_0$ до $0,112 m_0$ с ростом x . Если указанная зависимость не является линейной, то это свидетельствует о дополнительном, помимо τ_q , размытии уровней Ландау, связанном с флуктуациями электронной концентрации вдоль квантового канала. Определение g^* -фактора может быть сделано двумя методами: 1) из сравнения магнитного поля, при котором появляются осцилляции ШдГ, и магнитного поля, при котором появляется спиновое расщепление; 2) из значения щели между спиновыми ветвями, определяющей экспоненциальное изменение проводимости от температуры. Для Ge квантовой ямы получена величина $g^* = 4,3$. Осцилляции ШдГ можно использовать для определения времени электрон-фононной релаксации τ_{eph} с помощью эффекта электронного перегрева, в котором амплитуда осцилляций служит «термометром» для перегретых электронов. Метод состоит в сравнении зависимости амплитуды осцилляций, записанных при малом токе, от температуры и зависимости амплитуды осцилляций от тока (электрического поля), записанных при постоянной (нижайшей) температуре. Найденные значения τ_{hph} для

квантових ям різного складу описуються однією і тією ж залежністю $\tau_{hph} \approx 10^{-8} T^2$ с.

Згідно теорії СЛ електронів [2] змінення квантової поправки к проводимості в магнітному полі описується співвідношенням, що містить два складових (триплетне і синглетне спинові стани) з різними знаками і функціонально залежним від часу зсуву фази хвильової функції електронів τ_ϕ і часу спин-орбитального взаємодія τ_{so} . При слабкому SO взаємодії ($\tau_{so} > \tau_\phi$) повинно спостерігатися від'ємне магнітосопротивлення (МС); при сильному SO взаємодії ($\tau_{so} < \tau_\phi$) - аномальне додатне МС. В цих випадках співставлення експериментальних залежностей МС з теорією [2] дозволяє знайти час τ_ϕ . Знайдено, що температурні залежності часу τ_ϕ описуються співвідношенням $\tau_\phi \propto T^p$, де p приймає значення: $p=1$ для квантових ям з $x=0,13$ і $0,36$; $p=0,75$ для $x=0,8$; $p=0,5$ для $x=0,95$ і $p=0,45$ для Ge квантової ями. Якщо крива МС в слабких магнітних полях має характерний максимум і далі йде в від'ємну область, то це відповідає випадку близькості значень τ_ϕ і τ_{so} і свідчить про проявленні спин-орбитальних ефектів, пов'язаних зі зняттям виродження станів по спину під впливом градієнта потенціалу поблизу гетерограниц (механізм Рашби [3]). Такі ефекти спостерігалися в квантових ямах з $x=0,13$, $0,8$ і $0,95$. З знайдених значень τ_{so} можна оцінити величину спиновий щіли Δ , яка, як виявилось, становить кілька мільйонів електронвольт.

1. Isihara A. and Smrčka L. // *J. Phys. C*, **19**, с. 6777 (1986).
2. Альтшулер Б.Л., Аронов А.Г., Ларкін А.І., Хмельницький Д.Е. // *ЖЭТФ*, **81**, с. 768 (1981).
3. Рашба Э.И., Шека В.И. // *ФТТ* **1**, сб. статей II, с. 162 (1959).

Двосторонньо фоточутливі тонкоплівкові сонячні елементи на основі телуриду кадмію

Б.Т. Бойко, Г.С. Хрипунов

*Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут",
Харків, Україна*

Одним з перспективних напрямків розвитку фотоенергетики є створення тандемних приладових структур, в яких для більш ефективного фотоелектричного перетворення сонячного випромінювання використовується кілька базових шарів з різною шириною забороненої зони. Однак перспективні для широкомасштабного використання в наземних та космічних умовах економічні плівкові СЕ на основі CdS/CdTe в таких приладах не застосовуються, оскільки до останнього часу не були

розроблені прозорі тильні електроди до плівкових шарів CdTe р-типу електропровідності, що дозволяє фотонам, які не поглинулися в телуриді кадмію, надходити до наступного СЕ тандемної структури.

Була проведена розробка технології формування прозорих тильних електродів ІТО для використання плівкових СЕ $\text{SnO}_x\text{:F/CdS/CdTe/ITO}$ у тандемних структурах. Експериментально було встановлено, що за товщини CdTe 3 мкм, температури осадження плівок ІТО 250°C ефективність плівкових СЕ $\text{SnO}_x\text{:F/CdS/CdTe/ITO}$ досягає 7.9%. Дослідження спектрів пропускання приладових гетеросистем $\text{SnO}_x\text{:F/CdS/CdTe}$ свідчить про те, що в діапазоні (0,82-1,20) мкм, який відповідає спектральному інтервалові, розташованому між довгохвильовими краями фоточутливості CdTe і CuInSe_2 (матеріал який перспективно використовувати як вузькозонний базовий шар в тандемній структурі), середній коефіцієнт пропускання складає більш 70%. Таким чином, розроблені плівкові СЕ $\text{SnO}_x\text{:F/CdS/CdTe/ITO}$ можуть ефективно використовуватися в тандемних фотоелектричних перетворювачах.

Для визначення особливостей фізичних механізмів переносу заряду у СЕ $\text{SnO}_x\text{:F/CdS/CdTe/ITO}$ були проведені дослідження темнових вольт-амперних характеристик $J(V)$. При прямому зсуві понад 0.8 В експериментальна залежність $J(V)$ СЕ лінійна в координатах $\lg J-V^{-1/2}$, що свідчить про реалізацію тунельно-рекомбінаційного механізму переносу заряду. Дослідження темнових ВАХ були доповнені дослідженнями темнових вольт-фарадних характеристик $C(V)$. На ВФХ СЕ можна виділити кілька характерних ділянок. Перша ділянка відповідає зворотному зсуву та низькому прямому зсуву ($V < 0,3$ В). На цій ділянці ВФХ лінійна в координатах $1/C^2-V$. На першій ділянці густина струму, який протікає крізь СЕ багато менша за густину струму насичення тильного контакту. Тому вся напруга, що прикладається, падає на р-п гетеропереході і загальна ємність СЕ відповідає ємності р-п гетеропереходу. Друга характерна ділянка на залежностях $C/S(V)$ досліджених СЕ спостерігається за прямого зсуву більш 0,8 В. На цій ділянці ВФХ СЕ також лінійна в координатах $1/C^2-V$. За таких прямих зсувів геометричні розміри області збідніння р-п гетеропереходу і, відповідно, опір області збідніння зменшуються. Тому на цій ділянці вся напруга, що прикладається, падає, в основному, на тильному діоді $+n\text{ITO}/+p\text{CdTe}$, що включається в цьому випадку у зворотному напрямку, і загальна ємність СЕ визначається ємністю діодної структури тильного контакту. По лінійній частині залежності $1/C^2-V$ визначено висоту потенційного бар'єру тильного контакту ($E_{\text{бт}}=2,20$ еВ) і концентрацію носіїв заряду поблизу тильного контакту ($N_{\text{т}}=2,2 \cdot 10^{21}$ м⁻³). Високі значення $E_{\text{бт}}$ та $N_{\text{т}}$ обумовлюють експериментально зафіксований тунельно-рекомбінаційний механізм переносу заряду в СЕ $\text{SnO}_x\text{:F/CdS/CdTe/ITO}$ за прямого зсуву більш 0,8 В.

Дослідження спектральних залежностей коефіцієнту квантової

ефективності $Q(\lambda)$ СЕ $\text{SnO}_x\text{:F/CdS/CdTe/ITO}$ свідчать, що для підвищення ККД таких приладових структур необхідно збільшувати вклад в фотовідгук від нерівноважних носіїв заряду, генерованих під дією короткохвильових фотонів. Вперше експериментально виявлено, що поза залежністю від напрямку висвітлення за збільшення прямого зсуву спостерігається ефект зміни полярності фотоструму у всьому спектральному діапазоні фоточутливості СЕ $\text{SnO}_x\text{:F/CdS/CdTe/ITO}$. Зміна полярності фотоструму обумовлена високим потенційним бар'єром тунельного контакту $+n\text{ITO}/+p\text{CdTe}$, що за прямого (відносно основного p - n гетеропереходу) зсуву призводить формування поблизу тильного контакту області електричного вбудованого поля, здатного ефективно розділяти генеровані під дією світла нерівноважні носії заряду. Показано, що в СЕ $\text{SnO}_x\text{:F/CdS/CdTe/ITO}$ при висвітленні з боку шару ITO і прямому зсуві досягається більша $Q(\lambda)$, ніж при висвітленні з боку $\text{SnO}_x\text{:F}$ і зворотному зсуві. Встановлено, що це пов'язано з більш високими оптичними втратами при висвітленні СЕ з фронтальної сторони. У кліматичній камері були проведені прискорені дослідження впливу часу експлуатації на ефективність СЕ $\text{SnO}_x\text{:F/CdS/CdTe/ITO}$, які свідчать про високу деградаційну стійкість виготовлених СЕ на протязі 7 років.

Коефіцієнт відбивання для одновимірної тришарової гетероструктури

Бойчук В.І., Білинський І.В., Шаклеїна І.О.

*Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка,
Дрогобич, Україна*

Проблема прозорості у гетеросистемі з двох, трьох і більше кристалів нанорозмірів є важливою фізичною задачею [1, 2]. З точки зору теорії дана задача зводиться до використання моделей для нанокристалів гетероструктури та крайових умов на межі поділу середовищ.

Дана робота присвячена обчисленню коефіцієнта відбивання від першої межі поділу середовищ для одновимірної тришарової гетероструктури типу GaAs/AlAs/GaAs .

В наближенні δ -подібних атомних потенціалів знайдено точний розв'язок для закону дисперсії кристалів, що утворюють матрицю; визначено залежність коефіцієнта відбивання від хвильового вектора електрона та ширини внутрішнього шару гетеросистеми. Проведено порівняння отриманих точних результатів (в рамках моделі Кроніга-Пені) з наближенням огинаючих функцій та ефективних мас, які широко використовуються в сучасній теорії.

Показано, що для збіжності точного розв'язку з методом огинаючих функцій необхідно припустити існування проміжних шарів з залежними

від координати ефективними масами.

1. Anatoly A. Grinberg and Serge Luriy // *Phys. Rev. B*, 39, с. 7466 (1988).
2. Trzeciakowski W. // *Phys. Rev. B*, 38 с. 4322 (1988).

До питання про кореляційні залежності кінетичних властивостей тонких плівок від їх товщини

Буджак Я.С.

Національний університет "Львівська політехніка", Львів, Україна

В тонких плівках, при умовах просторового квантування електронного спектру, їх кінетичні властивості залежать від товщини плівки d . Для вивчення цих умов розглянемо в тонкій плівці з просторово-квантованим ізотропним параболічним законом дисперсії в класично сильному магнітному полі коефіцієнт Холла R і коефіцієнт ефекта Зеебека α , які описуються такими формулами [1]:

$$R = \frac{1}{zen} \tag{1}$$

$$\alpha = \frac{k}{ze} \left(\frac{\sum_{l=1}^{\infty} \int_{\varepsilon_0 l^2}^{\infty} \left(\frac{\varepsilon}{kT} \right) (\varepsilon - \varepsilon_0 l^2) \left(-\frac{df_0}{d\varepsilon} \right) d\varepsilon}{\sum_{l=1}^{\infty} \int_{\varepsilon_0 l^2}^{\infty} (\varepsilon - \varepsilon_0 l^2) \left(-\frac{df_0}{d\varepsilon} \right) d\varepsilon} - \mu^* \right) \tag{2}$$

$$n = \frac{x_0}{2d^3} \sum_{l=1}^{\infty} \ln \left(\exp \left(\mu^* - \frac{\pi}{x_0} l^2 \right) + 1 \right); \quad x_0 = \frac{8\pi m^* k T d^2}{h^2}; \quad \varepsilon_0 = \frac{\pi k T}{x_0} \tag{3}$$

В цих формулах z - знак заряду, а всі інші позначення – загальновідомі.

За допомогою цих формул легко можна показати, що для існування просторового квантування в плівці, а отже існування залежностей її кінетичних властивостей від товщини d , вона повинна бути тонкою. Це фізично означає, що товщина такої плівки повинна задовільняти умову:

$$d \leq \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\pi}{x_0} \frac{\ln[\exp(\mu^*) + 1]}{F_{1/2}(\mu^*)}} = \frac{3.303 * 10^{-6} \ln[\exp(\mu^*) + 1]}{\left(\frac{m^* T}{m_0} \right)^{1/2} F_{1/2}(\mu^*)} \text{ см.} \tag{4}$$

де m_0 - маса вільного електрона, а $F_{1/2}(\mu^*)$ - відомий інтеграл Фермі.

Плівки, які відповідають умові (4), - надзвичайно тонкі. Для синтезування таких плівок треба використовувати спеціальні нанотехнології.

Якщо для кристалічної плівки умова (4) не виконується, то таку кристалічну структуру можна вважати масивним кристалом, а для аналізу її властивостей можна застосовувати теорію властивостей масивних

кристалів.

1. Буджак Я.С.. Елементи статистичної теорії кінетичних властивостей тонких плівок // *Фізика і хімія твердого тіла*, **6(3)**, сс. 366-371 (2005).

Формування силіцидних фаз при реакційній дифузії в системі шар Ti(30 нм) - монокристалічний Si(100)

Волошко С.М., Макогон Ю.М., Сидоренко С.І., Павлова О.П., За
мулко С.О., Червонний С.В.

*Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”,
Київ, Україна*

Завдання експериментального дослідження механізмів структурних та фазових перетворень, кінетики реакційної дифузії при формуванні силіцидних фаз в системах з надтонкими (10-50 нм) металевими шарами на монокристалах кремнію, які мають перспективу практичного використання, є актуальним в зв'язку з бурхливим розвитком нанотехнологій.

В даній роботі методами рентгенофазового аналізу, мас-спектрометрії вторинних іонів (МСВІ), електронної оже-спектроскопії, растрової електронної мікроскопії та резистометрії досліджені процеси реакційної дифузії в тонкоплівковій системі Ti(30нм)/Si(100). Зразки для дослідження отримані магнетронним осадженням шару титану товщиною 30 нм на монокристалічну кремнієву підкладку в атмосфері аргону (10^{-1} Па). Відпал проводився у проточному азоті протягом 30 с при випромінюванні галогенових ламп в інтервалі температур 723-1273К.

В узагальненому вигляді послідовність структурно-фазових перетворень та концентраційних змін в процесах реакційної дифузії для системи Ti(30 нм)/Si(100) в дослідженому інтервалі температур можна представити наступним чином: утворення проміжної силіцидної фази Ti_5Si_3 в області границі розділу плівки Ti з Si(100); дифузію атомів Ti з проміжної силіцидної фази Ti_5Si_3 в монокристал Si(100) за об'ємним механізмом; зародження на границі розділу Ti_5Si_3 -Si(100) включень фази $TiSi_2$ (нестабільної модифікації C49); ріст включень $TiSi_2$ (стабільної модифікації C54) ромбічної форми за рахунок дифузійного розчинення проміжної силіцидної фази Ti_5Si_3 ; частковий розпад дисиліциду $TiSi_2$ з утворенням моносиліциду $TiSi$; самоорганізація включень силіцидних фаз в конгломератні утворення та їх дендритоподібний ріст. Збільшення часу відпалу при постійній температурі приводить до формування періодичної наноструктури на поверхні.

Фактором, що контролює швидкість масопереносу в системі Ti/Si, є утворення на зовнішній поверхні шару (~3 нм) оксидів титану, який є «дифузійно непрозорим» до 1023 К. За даними МСВІ максимальна

концентрація титану зберігається на зовнішній поверхні у всьому дослідженому температурному інтервалі. Наявність градієнтів концентрацій дифундуючих елементів протягом термічної обробки зберігається (концентраційна однорідність в об'ємі тонкоплівкової системи не досягається).

Формування напівпровідникових низькорозмірних структур на основі сполук типу II-VI та IV-VI методом „гарячої стінки”

Вуйчик М.В., Білевич Є.О., Апатська М.В., Смолій М.І., Цибрій З.Ф., Сизов Ф.Ф.

Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, Київ, Україна

В напівпровідникових системах з близькими постійними ґраток, режим росту визначається співвідношенням енергій двох поверхонь та енергією межі розділу. В нашому випадку вирощувались напівпровідникові плівки CdTe з постійною ґратки $6,482 \text{ \AA}$ і PbTe з постійною ґратки $6,462 \text{ \AA}$. Якщо сума поверхневої енергії епітаксійного шару E_1 і енергії межі розділу $E_{1,2}$ менше за поверхневу енергію підкладки E_2 , то процес росту проходить за режимом Франка – ван дер Мерве. Тобто відбувається пошаровий ріст плівки на підкладці. Зміна величини $E_1 + E_{1,2}$ може приводити до переходу від режиму Франка – ван дер Мерве до режиму росту Фолмера – Вебера, при якому має місце острівцевий (тривимірний) ріст на відкритій поверхні. В сучасній напівпровідниковій технології для активації росту наноострівців використовується переривання росту та додатковий термічний прогрів. В нашому випадку, для зміни величини $E_1 + E_{1,2}$, тобто для отримання острівців CdTe на поверхні PbTe, використовувався додатковий термічний прогрів структури.

Структури були вирощені на свіже сколотих підкладках BaF_2 (111). На підкладку напилявся відносно товстий шар ($\sim 1 - 2 \text{ мкм}$) PbTe при температурі підкладки 350°C і температурі джерела випаровування 400°C . Після цього змінювалось джерело випаровування і проводилось напилення CdTe, при температурі структури PbTe/ BaF_2 близько 375°C . Напилення проводилось таким чином, що за один цикл осаджувалось близько 0,5 моношару (МШ). Товщина напиленого шару CdTe була близько 10 МШ. Для підвищення міграції атомів по поверхні, після припинення напилення, структура прогрівалась до 400°C . До того ж, в наших структурах, при вирощуванні, кадмій повинен утворювати сегрегаційні шари на поверхні PbTe. Такий шар може розглядатись як деяка певна фаза, поверхнева енергія якої може сильно відрізнятись від поверхневої енергії кристалічного CdTe. Така зміна поверхневої енергії впливає на

формування острівців. Прогрів структури збіднює поверхню CdTe більш летючою компонентою, тобто кадмієм, і, таким чином, це може приводити до кращого формування тривимірних острівців CdTe на поверхні PbTe.

Диффузия, плавление – кристаллизация и процессы самоорганизации при формировании островковых структур в слоистых пленочных системах

Гладких Н.Т., Крышталь А.П., Сухов В.Н.

Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина

Слоистые наноразмерные пленочные системы в силу самой своей природы предоставляют возможность исследователям изменять свойства в таких широких пределах, которые в принципе недостижимы известными методами на обычных макроскопических объектах. При этом указанные возможности определяются как малостью характерного размера, так и особенностями препарирования таких систем. В то же время именно с этими возможностями связаны серьезные трудности в воспроизведении свойств таких объектов и особенно в обеспечении их стабильности в постконденсационный период, которая, в конечном счете, и определяет эффективность практического использования указанных материалов. Особенно это критично при повышенных температурах, при которых вследствие интенсификации диффузии в результате происходящих при этом процессов самоорганизации, связанных со стремлением таких систем к приближению к состоянию равновесия, возможно нарушение их стабильности с формированием на их основе островковых структур. Несмотря на большое число исследований диффузионных процессов в указанных пленочных системах нет однозначных выводов о путях обеспечения их стабильности, а также о возможностях создания на их основе островковых систем с одномодальным распределением их размерам.

В данной работе излагаются результаты исследования диффузионной активности, плавления – кристаллизации и сопровождающие их процессы самоорганизации, приводящие к образованию на основе сплошных слоистых пленочных систем островковых систем. Были исследованы слоистые системы, в которых компоненты контактирующих слоев образуют фазовые диаграммы различного типа (эвтектика, эвтектика с перитектикой, диаграммы с химическими соединениями). При этом с использованием электронной микроскопии, рентгеновской дифрактометрии и дифракции электронов, а также оже-спектроскопии и исследования электросопротивления получена обширная оригинальная информация о размерной зависимости диффузионной активности, температур плавления и кристаллизации, а

также и связи толщины исходных систем с характерным размером островковых структур, образующихся на их основе.

Проведенные исследования значительно расширяют существующие представления о слоистых пленочных системах, а также однозначно свидетельствуют в пользу диффузионного механизма эвтектического плавления, о котором до их пор нет единого мнения, и важны для понимания процесса сверхпластичности в нанокристаллических материалах и др.

Прозорі провідні тонкоплівкові покриття на основі оксиду цинку

Горлей П.М.¹, Білічук С.В.¹, Голуб В.О.², Вовк А.Я.², Салюк О.Ю.²

¹*Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, Чернівці, Україна*

²*Інститут магнетизму НАН України та МОН України, Київ, Україна*

До числа найбільш ефективних відносяться конструкції сонячних елементів, у яких широкозонний напівпровідник (наприклад, провідні плівки оксидів металів, зокрема, плівки SnO₂, In₂O₃, ZnO і ZnO:Al), розміщений з боку падаючого світлового потоку і є прозорим у всьому спектрі сонячного випромінювання. Крім цього, він виконує функції пасивуючого матеріалу для поверхні фотоактивного напівпровідника, де переважним чином генеруються нерівноважні носії заряду. Метою даної роботи було дослідження впливу технологічних режимів при магнетронному розпиленні на властивості осаджених плівок прозорих провідних оксидів. При цьому основну увагу приділено вивченню електричних і оптичних властивостей найбільш перспективного для виготовлення елементів оптичної та акустичної електроніки матеріалу – плівок ZnO і ZnO:Al.

Потужність, яка підводилася до катоду при високочастотному магнетронному розпиленні, змінювалася в інтервалі від 7,5 до 38 Вт. Швидкість осадження плівок знаходилася в межах 0,8 - 60 нм/хв. Товщина одержаних плівок оцінювалася за допомогою інтерференційного мікроскопа Лінника МІІІ - 4 і була різною в залежності від технологічних умов осадження (матеріалу мішені, тиску робочого газу в камері, потужності на катоді, температури підкладки, методу та часу напилювання).

Встановлено оптимальні технологічні режими одержання методом реактивного і високочастотного (у середовищі чистого аргону) магнетронного розпилення (якісних у електричному та оптичному розуміннях) плівок ZnO та ZnO:Al. Розроблено технологію виготовлення мішеней для катода із матеріалів: Zn та порошку ZnO, ZnO:Al. Виявлено, що незалежно від методу одержання плівки ZnO:Al є низькоомними на

відміну від плівок нелегованого ZnO. Показано, що за допомогою підбору технологічних умов одержання та легування можна суттєво зменшувати питомий опір плівок ZnO:Al до значень, які придатні для їх застосування при виготовленні ефективних гетероструктурних фотоперетворювачів.

Применение аналитической электронной микроскопии при изучении наноматериалов

Даниленко Н.И., Фирстов С.А.

Институт проблем материаловедения НАН Украины, Киев, Україна

Наноматериалы можно представить в виде композиционного материала, состоящего в предельном случае из двух фаз: тело зерна и границы зерен. При этом свойства материала будут зависеть от состояния структурных элементов. Массивные трехмерные образцы можно получить методами интенсивной пластической деформации, методами порошковой металлургии или кристаллизацией из аморфного состояния. Особый интерес представляют тонкие пленки и покрытия. В этом случае один из трех размеров (x, y, z) будет минимальным.

В работе представлены примеры применения аналитической электронной микроскопии при структурных исследованиях наноматериалов, полученных различным способом.

На примере многослойных пленок системы Cr-Cu-Ni-Au показана роль границ зерен на начальных стадиях низкотемпературной диффузии меди в золото и золота в медь через барьерный слой никеля [1].

При формировании градиентной структуры методом поверхностной интенсивной деформации сталей 65Г и 35ХГСА [2] показана положительная роль углерода в формировании наклепанного слоя. На образцах “cross-section” обнаружено изменение исходной перлитной структуры на глубине 5-6 мкм до слоистой ячеистой структуры с размером ячеек 10-20 нм в приповерхностном слое толщиной 1-1,5 мкм. В промежуточном слое наблюдаются раздробленные частицы цементита в ферритной матрице. В процессе деформации происходит перераспределение углерода из перлитных колоний на границы ячеек. При этом углерод выступает в качестве стабилизатора границ ячеек и тормозит процессы возврата в ходе пластической деформации. Твердость таких слоев достигает 10 ГПа.

1. Danylenko M.I., Watanabe M., Li C., Williams D.B., Krajnikov A.V., Vasiliev M.A.. Analytical electron microscopy and Auger electron spectroscopy study of low-temperature diffusion in multilayer Cr-Cu-Ni-Au thin films // *Thin Solid Films*, **444**(1-2) pp.75-84 (2003).
2. Danylenko M., Gorban V., Podrezov Yu., Firstov S., Rosenberg O., Shejkin S., Morito F., Yamabe-Mitarai Y. Gradient Structure Formation by Severe

Plastic Deformation // *Materials Science Forum* **503-504**, pp.787-792 (2006).

Тонкі металеві плівки як основа сучасної фотоніки – наноплазмоніки

Дмитрук М.Л., Коровін О.В., Кондратенко О.С.

Інститут фізики напівпровідників НАН України, Київ, Україна

Нещодавно Ebbesen et al [1, 2] знайшли, що проходження світла крізь тонкі металеві плівки з періодичним 2D масивом отворів з субхвильовим діаметром різко підсилюється на довжинах хвиль поверхневого плазмонного поляритона (ППП). Ці результати простимулювали багато наступних експериментальних та теоретичних досліджень цього явища [3]. Основою явища, яке відповідає за над-ефективну передачу світла крізь провідну плівку – є збудження PPP. Крім того, використання PPP лежить в основі інших визначних експериментів, як-то:

розсіяння і локалізація поверхневих поляритонів, що призводить до аномального поглинання світла;

поширення світлової хвилі у поверхневому хвилеводі металевого зонда мікроскопа ближнього поля, що збільшує його роздільну здатність до молекулярного рівня, долаючи дифракційне обмеження;

захоплення світла в надтонких напівпровідникових хвилеводах (порівняно зі звичайними діелектричними) і взаємодія з поверхневими локальними плазмонами наночастинок та ін.,

що призвело до формування нової галузі сучасної оптики – наноплазмоніки.

На відміну від традиційної нанофотоніки, де використовуються так звані фотонні кристали, в яких завдяки періодичному розташуванню нано(мікро)елементів з різними діелектричними властивостями створюється частотна заборонена зона для поширення світла (подібно до електронних заборонених зон в кристалах напівпровідників), в наноплазмоніці використовуються металеві (або сильнолеговані напівпровідникові) системи (плівки, дроти, точки тощо), в яких нижче частоти об'ємного плазмона вже існує заборонена зона для поширення світла і при виконанні певних умов виникає можливість збудження поверхневих електромагнітних хвиль, поглинання яких значно менше від поглинання об'ємних хвиль. Це дає можливість створення принципово нових дискретних оптоелектронних приладів і інтегральних фотонних схем з субхвильовою мініатюризацією, а також надчутливих оптохімічних сенсорів.

Як типові структури наноплазмоніки використовуються тонкі плівки провідних матеріалів (особливо хороших металів), острівцеві металеві

плівки (нано-частинки, прути, дроти) та різні структури на їх основі.

Тому в даній роботі послідовно розглянуті оптичні властивості тонких металевих плівок, способи визначення їх оптичних параметрів (зокрема метод поляритонної еліпсометрії), класичний і топологічний розмірні ефекти [4], використання цих плівок в приладах.

Зокрема, одним із напрямків підвищення ефективності фотоприймачів і сонячних елементів є збільшення коефіцієнта пропускання світла в фотоактивну область напівпровідника за рахунок використання текстурованих поверхонь і збудження поверхневих хвиль, коли має місце локалізація електромагнітного поля у фотоактивній області фотоприймача.

Теоретично розглянуто вплив випадкових шорсткостей інтерфейсів тонкої поглинальної плівки, розташованої на напів-нескінченій поглинальній (напівпровідниковій) підкладці, на збільшення коефіцієнта пропускання світла крізь цю плівку в поглинальне (дисипативне) середовище у випадку субхвильових відхилень профілю від ідеально плоскої поверхні (випадок нанорозмірних рельєфів). Крім того, теоретично проаналізовано вплив стохастичної кореляції між двома шорсткими інтерфейсами такої плівки на передачу світла крізь них.

Теоретичні розрахунки коефіцієнтів пропускання/відбивання були виконані в рамках формалізму Гринівських тензорів для диференціальних векторних рівнянь Максвела в першому наближенні теорії збурень [5]. При цьому було ретельно враховано особливості заломлення електромагнітних хвиль на плоскій поверхні дисипативного середовища [6]. Для складних поверхонь розділу відхилення профілю інтерфейсів від плоского розглядається як збурення для задачі з плоскими поверхнями розділу. У випадку нанорельєфів така задача розв'язується аналітично за допомогою теорії збурень з використанням тензорної функції Гріна для рівняння Максвела [7, 8], полюси якої відповідають поверхневим та хвилеводним модам.

Розрахунки кутових та спектральних залежностей коефіцієнтів пропускання/відбивання світла у випадку Гаусового розподілу випадкового профілю були виконані для тонких металевих плівок (Au, Ag, Al) на напівпровідниковій (GaAs) підкладці для корельованих, анти-корельованих та не-корельованих типів стохастичної кореляції інтерфейсів. Отримані залежності мають монотонний характер та демонструють значне збільшення пропускання у порівнянні з плоскими інтерфейсами, що узгоджується з експериментальними даними надефективної передачі світла крізь металеві плівки з періодично наноструктурованими поверхнями [2], та може бути використано в фотоелектричних приладах.

1. Genet C. and Ebbesen T. W. // *Nature*, **445**, p. 39 (2007).

2. Ebbesen T.W. et al. // *Science* **297**, p. 820 (2002).
3. Maradudin A.A. et al. // *Physics Reports* **408**, p. 131 (2005).
4. Дмитрук М.Л. та ін. // *Фізика і хімія твердого тіла*, **7(1)**, с. 39 (2006).
5. Dmitruk N.L., Korovin A.V. // *Thin Solid Films*, **484**, p. 382 (2005).
6. Дмитрук М.Л., Коровін О.В. // *Укр. Фіз. Ж.*, **49(9)**, с. 838 (2004).
7. Martin O.J.F. et al. // *Phys. Rev. E*, **62(4)**, p. 5797 (2000).
8. Рожнов Г. В. // *ЖЭТФ* **94**, с. 50-63 (1988).

Шари полікремнію на ізоляторі як чутливі елементи сенсорів кріогенних температур

Дружинін А.О., Мар'ямова І.Й., Ховерко Ю.М., Когут І.Т.

Національний університет "Львівська політехніка", НДЦ "Кристал", Львів, Україна

Проблема створення мікроелектронних сенсорів теплових величин, працездатних в екстремальних умовах, а саме, при низьких температурах і в сильних магнітних полях, є актуальною для різних галузей науки і техніки. Відомі сенсори теплових величин на основі полікремнію для кліматичного діапазону та для підвищених температур [1]. Для створення сенсорів температури кріогенних середовищ проведено дослідження електропровідності шарів полікремнію в інтервалі температур 4,2–300 К, а також впливу магнітного поля з індукцією до 14 Тл на їх характеристики.

Досліджувались тестові КНІ-структури з полі-Si резисторами р-типу провідності, леговані бором, нерекристалізовані і після лазерної рекристалізації з концентрацією носіїв заряду від 7×10^{17} до $1,7 \times 10^{20} \text{ см}^{-3}$. Визначено, що найбільш сильну температурну залежність опору мають нерекристалізовані шари полі-Si з концентрацією носіїв $p_{300\text{K}} \approx 2,4 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$. В діапазоні 4,2–50 К їх температурний коефіцієнт опору ТКО $\approx 9\% \times \text{K}^{-1}$. В той же час, для таких шарів помічено від'ємний магнітоопір у діапазоні магнітних полів з індукцією до 3 Тл при гелієвих температурах. В сильних магнітних полях з індукцією до 14 Тл магнітоопір цих зразків стає додатній і збільшується зі зниженням температури, досягаючи максимальної величини при 4,2 К.

Показано, що для створення сенсорів температури, працездатних в сильних магнітних полях при кріогенних температурах, найбільш придатні рекристалізовані лазером шари полі-Si з $p_{300\text{K}} = 7 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$, які мають ТКО $\approx 2,4 \% \times \text{K}^{-1}$ в діапазоні 4,2–50 К. Магнітоопір таких шарів порівняно малий, зміна їх опору в магнітних полях з індукцією до 6 Тл не перевищує 1,5%. Характеристика такого сенсора добре описується за експоненційним законом в широкому інтервалі температур 4,2÷300 К. Для перевірки працездатності розробленого сенсора, він використовувався для низькотемпературних досліджень у Міжнародній лабораторії сильних магнітних полів та низьких температур (м. Вроцлав, Польща).

1. Obermeier E., Kopystinsky P. Polysilicon as a material for microelectronic applications. // *Sensors and Actuators*, **A30**, pp. 149-155 (1992)

Рентгеноспектральне вивчення енергетичного перерозподілу валентних електронів і методи оцінки зміни зонної енергії матеріалів внаслідок їх диспергування до нанорозмірів

Зауличний Я.В.

*Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України,
Київ, Україна*

Звуження і зміна форми СК α -смуг внаслідок зникнення розщеплення Sp -рівнів при розриві ковалентних sp^3 -гібридних зв'язків під час подрібнення алмазів до нанорозмірів вперше були виявлені у 1985 році [1] і лише через 20 років підтверджені іншими авторами [2]. Дослідження СК α -смуг інших вуглецевих наноматеріалів із замкнутими sp^2 -гібридними зв'язками (фулеренів і бездефектних нанотрубок) виявили енергетичний перерозподіл лише Sp_{π} -станів, завдяки зміні ступеня π -перекриття при зменшенні радіусів фулеренів і нанотрубок. У фрагментованих оніонів, дефектних нанотрубок і нановолокон у такий перерозподіл Sp -станів вносить додатковий вклад розрив sp^2 -зв'язків.

Після розриву В-N-зв'язків у c -BN вироджені Np - і Vp -енергетичні рівні перерозподіляються з енергетичного діапазону, що відповідає sp^3 -гібридним станам, до стелі валентної зони, де зосереджені незв'язуючі стани. На прикладі g -BN і c -BN виявлена кристалоструктурна залежність енергетичного перерозподілу їх валентних електронів внаслідок нанодиспергування.

Показано, що в TiC та TiN вироджені і дегібридизовані після розриву Ti-C і Ti-N-зв'язків Tid , Sp , Np -валентні стани перерозподіляються з енергетичних діапазонів, де у крупних кристалах зосереджені гібридні $Tid+Xp$ ($X=C, N$) стани, в області енергій, що відповідають незв'язуючим Tid і Xp -станам. Співвідношення питомих звужень емісійних смуг $\eta_{NK\alpha}^{TiN} / \eta_{TiL\alpha}^{TiN} = 1,45$; $Q_{Np}^{TiN} / Q_{Tid}^{TiN} = 1,64$; $\eta_{CK\alpha}^{TiC} / \eta_{TiL\alpha}^{TiC} = 1,3$; $Q_{Cp}^{TiC} / Q_{Tid}^{TiC} = 1,36$ виявились пропорційними заселеностям електронних станів атомів, які відображаються в цих спектрах. Після консолідації нанопорошків TiC та TiN при кімнатних температурах і тисках 7 ГПа $TiL\alpha$, СК α і НК α -смуги емісії розширилися в тих діапазонах енергії, де вони були звужені в спектрах нанопорошків. Цей результат відображає розщеплення вироджених рівнів при перекритті відповідних орбіталей поверхневих атомів сусідніх контактуючих наночастинок і утворенні прямих хімічних зв'язків між ними.

Експериментально показано, що енергетичний перерозподіл

валентних Op і Tid -станів внаслідок диспергування рутилоподібного TiO_2 і $BaTiO_3$ до середніх розмірів $d=10$ і 24 нм приводить до збільшення зонної енергії в нанопорошках (в TiO_2 - на 18 %, в $BaTiO_3$ - на 11 %).

1. Зауличний Я.В. // Докл.АН СССР, **284**(6), сс. 1360-1365 (1985)
2. Raty, Gally, Bostetd // *Phys. Rev. Lett.* **90** pp. 037-401 (2003)

Домішки в технології РФЕ тонких плівок $A^{III}B^V$

Заячук Д.М.¹, Круковський С.І.², Мрихін І.О.¹, Михащук Ю.С.¹

¹Національний університет “Львівська політехніка”, Львів, Україна

²НВП “Карат”, Львів, Україна

Загальновідомо, що різні класи домішок можуть ефективно впливати на різні групи параметрів напівпровідникових кристалів і тонких плівок. Домішки, валентність яких не відповідає валентності атомів кристалічної матриці, які вони заміщають, можуть бути ефективно використані для зміни основних електрофізичних параметрів напівпровідникових структур, перш за все їх питомого опору та концентрації вільних носіїв заряду. Домішки рідкісноземельних елементів здатні ефективно контролювати структурну досконалість кристалічних матриць, які формуються під їхнім впливом. За певних умов позитивний вплив домішок рідкісноземельних елементів на властивості напівпровідникових матеріалів може бути підсилений використанням додаткового легування домішкою ізовалентного елемента.

В даній роботі узагальнено результати наших багаторічних досліджень впливу рідкісноземельних, ізовалентних і електрично активних домішок на структурну досконалість, електрофізичні та випромінювальні характеристики епітаксійних шарів на основі арсеніду галію, вирощуваних методом РФЕ з легованих розчинів-розплавів галію. Основна увага акцентується на:

закономірностях впливу домішок Yb і Sc на концентрацію вільних носіїв заряду і їх рухливість в твердих розчинах $Al_xGa_{1-x}As$ в практично важливому діапазоні складів $0 \leq x \leq 0.3$;

змінах інтенсивності цього впливу, що спричиняються додатковим застосуванням малих доз домішок ізовалентних елементів III групи;

низькотемпературних люмінесцентних характеристиках епітаксійних шарів, вирощених під впливом домішок рідкісноземельних та ізовалентних елементів, залежностях інтенсивності люмінесценції, форми та структури смуг люмінесцентного випромінювання від типу та концентрації домішки;

формуванні необхідних рівнів концентрації вільних носіїв заряду в епітаксійних шарах під впливом домішок II і IV груп, взаємозв'язках між типом кристалічної матриці, типом домішки і досяжними рівнями легування;

можливостях структурування поверхні епітаксійних шарів в процесі їх вирощування з легованих розчинів-розплавів під впливом легуючої домішки Mg .

Аналізуються можливі механізми впливу домішок на властивості епітаксійних шарів $A^{III}B^V$, що кристалізуються з легованих розчинів-розплавів, та перспективи їх використання для створення приладних структур.

Оптичні та експлуатаційні властивості тонкоплівкових систем інтерференційної оптики

Зінченко В.Ф.¹, Соболев В.П.², Кочерба Г.І.¹, Тімухін Є.В.¹

¹Фізико-хімічний інститут ім. О.В. Богатського НАН України, Одеса, Україна

²Центральне конструкторське бюро «Арсенал», Київ, Україна

На основі аналізу наявних експериментальних даних щодо оптичних та експлуатаційних властивостей бінарних та складних фторидів, оксидів та халькогенідів розроблено концепцію прогнозування та моделювання плівкоутворюючих матеріалів (ПУМ) для інтерференційної оптики. В основу концепції покладено уявлення про стабілізацію валентних станів металів хімічної взаємодії між складовими ПУМ. Визначальним фактором процесу стабілізації у випадку складних сполук виступає донорно-акцепторна взаємодія між компонентами.

Характер процесу випаровування (ПУМ) можна оцінити, виходячи з співвідношення енергій зв'язків метал–неметал. Встановлено, що вакуумний конденсат збагачений на компонент з меншою енергією зв'язку, при чому ступінь збагачення є тим більшим, чим більшою є різниця у значеннях енергії зв'язків у компонентах [1]. Важливим фактором, що впливає на процес випаровування ПУМ, є хімічна взаємодія між компонентами з утворенням складних сполук. Оцінка їхньої термічної стабільності за термодинамічними функціями, особливо у високотемпературній області, є досить складною проблемою. Одним з непрямих методів є термодинамічний аналіз діаграм стану квазібінарних систем, в якому аналізується форма кривої ліквідусу, що прилягає до дистектичної точки.

Розраховані за модифікованим рівнянням Шредера параметри термічної стабільності деяких складних оксидів, зокрема, дититанатів, ніобатів та танталатів РЗМ у точках плавлення свідчать про те, що вони зберігаються і в розтопленому стані. Враховуючи близькість енергій зв'язку метал–оксиген у вихідних бінарних оксидах, зроблено висновок, що зазначені сполуки випаровуються майже конгруентно (тобто, плівки мають бути близькими за складом до вихідних ПУМ). Інший метод оцінки стабільності складної сполуки базується на використанні змін у оптичних властивостях (наприклад, положенні смуги переносу заряду) бінарних

ПУМ завдяки хімічній взаємодії. Найпростіший підхід до апіорної оцінки здатності бінарних сполук до донорно-акцепторної взаємодії полягає у побудові певної шкали величин, подібних до електронегативностей елементів за Полінгом. Нами розроблено шкалу т.з. ефективних електронегативностей та критерій основності сполук, що базується на термодинамічних та структурних параметрах бінарних і деяких тернарних сполук. Це дало змогу прогнозувати можливість створення ПУМ на основі не тільки різнокатіонних, але й різноаніонних сполук. При цьому слід враховувати різну донорну здатність аніонів (F^- , O^{2-} , S^{2-}). Висунуто припущення про можливість застосування ширини області оптичної прозорості ($\lambda_2 - \lambda_1$) як критерію основності сполуки. Встановлено, що чим більш основними є властивості сполуки, тим ширшою є область оптичної прозорості матеріалу [2].

На основі розроблених підходів створено низку принципово або модифікованих традиційних ПУМ. З першого типу ПУМ слід відзначити складні сполуки типу танталатів РЗЕ складу $LaTaO_4$ ($Ln-Sc$, Nd , Eu тощо) [3] та халькошпінелей складу MM'_2X_4 ($M-Mn$, $Eu(II)$, $Yb(II)$; $M'-Ga$, In ; $X-S$, Se), які володіють високими оптичними і експлуатаційними властивостями. Серед ПУМ другого типу вирізняються композити MgF_2-LnF_3 ($Ln-Sc$, Nd , Eu , Lu), $TiO_2-Ta_2O_5$ [3], $ZnS-LnS$ та $ZnS-Ln_2S_3$ ($Ln-Sm$, Gd). Модифікуючі домішки відіграють як в процесі синтезу ПУМ, так і при випаровуванні, декілька функцій: нейтралізація небажаної домішки (найчастіше – оксиду у фториді або халькогеніді), дофторування (дооксидування, дохалькогенізування) базового матеріалу у покритті. Це дозволило створити покриття на базі традиційних ПУМ, що відзначаються надзвичайно високою прозорістю (рівень втрат менш ніж 0,01%) та механічною міцністю (значно перевищує таку для групи 0). На основі композитних ПУМ створено високоефективні інтерференційні покриття для ІЧ спектроподілювача та ІЧ фільтра [4].

1. Тетерін Г.О., Ходос М.Я., Губанов В.О. Фізико-хімічні особливості складнооксидних систем перехідних d і f-елементів у тонкоплівковому стані // *Вісн. АН УРСР*, (11), сс.24–34 (1988).
2. Зинченко В.Ф. Научные основы прогнозирования и создания пленкообразующих материалов для интерференционной оптики // *Оптический журнал*, **73**(12), сс.72–77 (2006).
3. Зинченко В.Ф., Ефрюшина Н.П., Кочерба Г.И., Галькевич Е.П., Соболев В.П., Горштейн Б.А. Разработка материалов для нанесения покрытий оптических деталей лазеров для видимого и ближнего ИК-диапазонов спектра // *Те ж*, сс.78-81.
4. Зинченко В.Ф., Ефрюшина Н.П., Соболев В.П., Мозкова О.В., Горштейн Б.А., Кочерба Г.И. Патент на винахід № 68929 України МПК G02B 5/28. Інтерференційне покриття (варіанти) та матеріал для його

виготовлення (варіанти). № 20031110433, заявл. 19.11.2003, опубл. 15.03.2006, бюл.№3.–4 с.

Температурные и частотные зависимости проводимости GaAs облученного высокоэнергетическими ионами Au

Жуковски П.¹, Колтунович Т.¹, Венгерэк П.¹, Партыка Я.¹,
Комаров Ф.Ф.², Власукова Л.А.²

¹Люблинский технический университет, Люблин, Польша

²Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

В работе представлены результаты исследований электрофизических свойств GaAs облученного высокоэнергетическими ионами золота (энергия 593 МэВ, дозы 10^{11} см⁻² и 10^{13} см⁻²).

Измерения проводились в температурном интервале 76 К - 373 К на переменном токе в диапазоне частот 50 Гц – 5 МГц на установке с компьютерной регистрацией частоты f , температуры T_p , угла двига фаз θ , тангенса угла потерь $tg\delta$, емкости C_p и сопротивления R_p в параллельной схеме замещения. Управление регистратором температуры и измерителем импеданса осуществлялось компьютером с помощью разработанной нами программы, написанной в Visual Basic.

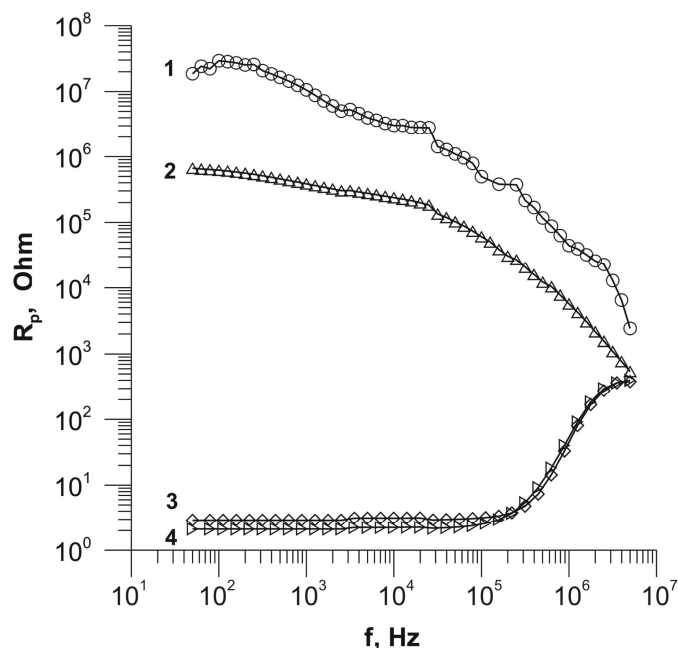


Рис. 1. Частотные зависимости сопротивления GaAs, облученного ионами Au⁺ с энергией 593 МэВ, дозы: 1 - $1 \cdot 10^{11}$ см⁻² и 2 - $1 \cdot 10^{13}$ см⁻², температура измерений $T_p = 298,6$ К и необлученного образца 3 - $T_p = 76$ К и 4 - $T_p = 298$ К.

Программа позволяет рассчитать проводимость G , удельную проводимость σ , удельное сопротивление ρ , диэлектрическую проницаемость ϵ и приготовить графические зависимости этих величин от

температуры или частоты. Регуляция температуры измерений T_p осуществляется с помощью микропроцессорного контроллера.

На рис. 1 представлены частотные зависимости сопротивления имплантированных образцов, измеренные при $T = 298$ К, и неимплантированного, измеренные при $T_p = 76$ К и $T_p = 298$ К. Как видно из рисунка, сопротивление неимплантированного образца на несколько порядков ниже, чем имплантированных образцов, и не зависит от температуры.

На рис. 2 представлены зависимости проводимости образца имплантированного ионами Au, доза 10^{13} см⁻², от обратной температуры.

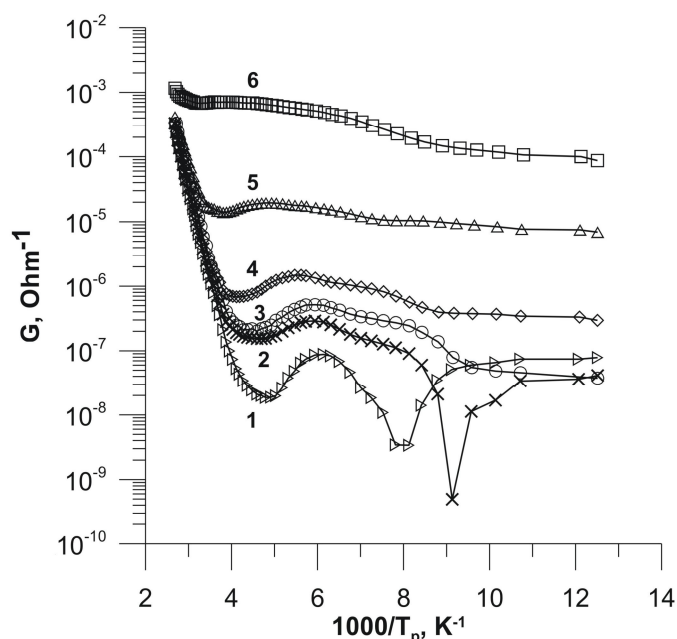


Рис. 2. Зависимости Арениуса для проводимости GaAs, облученного ионами Au⁺, E = 593 МэВ, D = 1·10¹³ см⁻², для частот измерений: 1 – 1 кГц; 2 – 1,99 кГц; 3 – 3,98 кГц; 4 – 10 кГц; 5 – 100 кГц, 6 – 2,15 МГц.

Как видно из этого рисунка, в области низких частот имеется максимум проводимости при $1000/T = 6$ связанный с локальными центрами, созданными имплантацией.

Анализ совокупности полученных результатов свидетельствует о прыжковом механизме переноса зарядов по локальным центрам, введенным облучением ионами.

Физика и технология получения пленочных соединений на основе переходных металлов

Игнатенко П.И., Гончаров А.А., Терпий Д.Н., Кляхина Н.А.

Донецкий национальный университет, Донецк, Украина

В работе анализируются физические процессы, протекающие в пленках, полученных в результате реакционной диффузии атомов мишени и газовой среды (аргона) с подложкой. В качестве последней брались поликристаллические тантал, титан, молибден, вольфрам, никель, алюминий и монокристаллы кремния и каменной соли. Напыление пленок осуществлялось методами ионно-плазменного, реактивного и неактивного ВЧ-магнетронного распыления (ИПР, ВЧРМР, ВЧНРМР), ионной имплантации (ИИ), конденсации и ионной бомбардировки (КИБ). Мишенями служили пластины титана и диски диборидов ванадия, циркония и тантала. Структура, фазовый и элементный состав пленок изучались методами рентгеновской и электронной дифракции и масс-спектрометрии вторичных ионов.

Выявлено, что меняя режимы распыления той или иной установки (в первую очередь давление рабочего газа – аргона, смещение на подложке и ее температуру), можно получать пленки разного фазового состава и структурного совершенства. Все используемые методы, кроме метода ИИ, позволяют получать наноструктурные пленки соединений (в виде столбиков высотой более 600 нм и диаметром 2-10 нм) в условиях высокой скорости осаждения атомов на подложку ($\sim 10^{20} \text{ м}^{-2}\text{с}^{-1}$), обеспечивающей высокое пересыщение и высокую скорость нормального их роста. Для получения однофазных пленок предпочтительными являются методы ВЧНРМР и КИБ.

Установлено, что основным фактором, влияющим на фазообразование и структуру нарастающих пленок является энергия конденсирующихся на поверхности подложки атомов. Последняя зависит главным образом от условий переноса распыляемого вещества (от давления рабочего газа p и расстояния от мишени до подложки d), а также от величины и знака потенциала смещения на подложкодержателе. Например, в случае мишени ZrB_2 при большом значении произведения pd в потоке вещества, приходящего на подложку, преобладают термализованные атомы. Моделирование показало, что в таких условиях приходящие атомы имеют низкую энергию, поэтому их подвижность минимальна, а величина пересыщения максимальна. В условиях высокой подвижности адсорбированных атомов и высокого пересыщения будет иметь место преимущественно нормальный механизм нарастания пленок, приводящий к образованию нанокристаллической столбчатой структуры. При приложении положительного смещения на

подложкодержатель процесс формирования данной структуры усиливается, т.к. пересыщение при этом становится еще более высоким. Терморadiационный фактор, имеющий место при ионном осаждении, в случае отвода тепла нормально к поверхности подложки, приводит к тому, что столбчатые кристаллиты “ложатся” на подложку определенной кристаллографической плоскостью, образуя четко выраженную аксиальную текстуру. Такая текстура сопровождается заметным отклонением формируемого соединения от стехиометрии и усилением ковалентной связи кристаллов, благодаря внедрению атомов бора или азота в окта- и тетраэдрические поры гексагональной или кубической решетки.

В случае малой величины произведения pd и отрицательном смещении на подложкодержателе увеличивается доля «горячих» атомов, париходящих на подложку, (их энергия при конденсации не меньше энергии при температуре плавления). Такие атомы обладают высокой подвижностью и пересыщение будет небольшим, что и предопределяет преимущественно смешанный или послойный механизм роста пленок.

Изменение фазового состава, структурного совершенства и химической связи в боридных и нитридных пленках влечет за собой изменение свойств пленок. Существенно повышается твердость пленок (она варьируется в интервале 10-55 ГПа), в широких пределах изменяется удельное сопротивление (от 100 до 5000 Ом.м). Сложный фазовый состав пленок, полученных методом ИИ, определяет сложную температурную зависимость удельного сопротивления, температурного коэффициента сопротивления и термоЭДС.

Особливості люмінесценції легованих полікристалів *ZnS-Mn*, отриманих методом самопоширюваного високотемпературного синтезу

Козицький С. В.

Одеська національна морська академія, Одеса, Україна

Метод СВС дозволяє легко отримувати активовані кристали шляхом додатку домішок в початкову шихту. В роботі досліджувалися властивостей *ZnS* активованих *Mn*, бо синтезовані кристали мали властивості, яких не спостерігали на монокристалах.

Марганець у вигляді порошку дисперсністю ~ 1 мкм вводили до початкової шихти. При концентрації 0,05 мол % в спектрі фотолюмінесценції спостерігається дві смуги 510 та 580 нм. При збільшенні кількості *Mn* переважає друга смуга, яка зумовлена внутрішньо-центровими $d-d$ переходами в йоні Mn^{2+} , а її інтенсивність максимальна при концентрації 0,5 мол. %. Тому подальшу дослідження

приводили на зразках $ZnS + 0,5$ мол. % Mn . Зауважимо, що методом СВС можна синтезувати полікристали $ZnS + 0,5$ мол. % Mn з досить рівномірним розподілом домішки чого досягти традиційними методами не вдається.

Спектри рентгонолюмінесценції та катодолюмінесценції подібні до спектрів фотолімінесценції. Зауважимо, що при напрузі 4,0; 5,0; 6,0 кВ інтегральне випромінювання зразків $ZnS + 0,5$ мол. % Mn складало 116,110 та 103% відповідно в порівнянні з еталонним КЛ на цю область $Zn\ Cd\ Ag\ In$.

Крім цього синтезовані зразки використовувались для створення електролюмінесцентних плівок шляхом термічного напилення в вакуумі на підложку зі скла, яка покрита шаром SnO . На приготовлену плівку $ZnS : Mn$, товщиною 1-1,5 мкм, термічне напилення Al . Вольт-амперні характеристики (ВАХ) отриманих структур практично не залежали від полярності прикладеної напруги, тобто контактні бар'єри не відіграють суттєвої ролі в механізмах протікання струму. На ВАХ можна виділити три характерні ділянки: лінійну ($V < 88$), яка переходить в експоненційну, бо в області напруг 8-32 В спрямляється в координатах $LnI - V^{1/2}$, домішкові центри Mn збуджуються електронним ударом. В області $V > 32$ В спостерігається лавинне розмноження вільних носіїв в результаті іонізації ударом глибоких центрів. Це підтверджується лінійною ділянкою в координатах $LnI / V^{3/2} - V^{-1}$. Енергетичний вихід η ЕЛ структур при напрузі 35-37 В досягає величини $2 \cdot 10^{-4}$ Лм/Вт, що одного порядку з величиною η отриманою на базі ZnS іншими методами.

Аморфные пленки Au-O: получение, структура, естественное старение и кристаллизация

Косевич В.М., Багмут А.Г.

Национальный технический университет "ХПИ", Харьков, Украина

Приведен обзор электронно-микроскопических исследований фазовых, структурных и морфологических изменений в аморфных пленках, осажденных лазерным распылением золота в атмосфере кислорода. Основное внимание уделено следующим моментам.

Варьированием давления кислорода в испарительной камере можно получить весь спектр структурных состояний тонкопленочных лазерных конденсатов золота: монокристаллическое, поликристаллическое и аморфное состояние Au-O, для которого плотность и электропроводность значительно ниже, чем у кристаллического Au.

Кристаллизация аморфных пленок происходит при 362 К с участием промежуточного жидкофазного состояния по схеме:

$\text{Au-O(аморфний)} \rightarrow \text{Au(жидкость)} + \text{O}_2(\text{газ}) \rightarrow \text{Au(кристалл)} + \text{O}_2(\text{газ})$.

Установлены следующие основные виды структурной релаксации, определяемые характером теплового воздействия на аморфную фазу. а). “Нормальная” кристаллизация. Происходит при равномерном термическом нагреве пленки на подложке. В результате превращения образуется поликристаллическая пленка золота с газовыми включениями. б). Ударная (взрывная) кристаллизация. Иницируется локальным импульсным воздействием электронного луча. Характеризуется радиальным разрастанием кристаллов от центра локализации электронного луча и наличием концентрических швов, связанных с периодическим торможением фронта кристаллизации газовыми примесями. в). Кристаллизация, происходящая при естественном старении пленки как в свободном состоянии, так и на подложке в течении пяти и более лет.

Світловипромінюючі пристрої на основі квантових точок A_2B_6

Корбутяк Д. В., Калитчук С. М.

Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України, Київ, Україна

Доповідь присвячена огляду новітніх розробок методів одержання квантових точок (КТ) A_2B_6 та їх практичного використання в якості світловипромінюючих пристроїв широкого спектрального діапазону (від інфрачервоного до ультрафіолетового).

Відомо, що унікальні електронні властивості напівпровідникових квантово-розмірних структур привели не тільки до відкриття нових фізичних явищ, а й до появи нових широких можливостей в розробці високотехнологічних сучасних мікро- і оптоелектронних приладів. За багатьма параметрами (зокрема, швидкодія, низьке енергоспоживання, висока ефективність енергоперетворення тощо) вони значно переважають свої «трьохвимірні» аналоги. В останні декілька років в багатьох країнах (США, Японія, Німеччина, Китай та ін.) почали інтенсивно розробляти світловипромінюючі пристрої (в т. ч. світлодіоди) на основі нанокристалів A_2B_6 , в яких можна змінювати довжину хвилі випромінювання за рахунок зміни розмірів КТ. Крім вказаної можливості керувати довжиною хвилі випромінювання КТ-світлодіодів шляхом зміни розмірів без зміни їх хімічного складу істотними їх перевагами над існуючими (виготовленими на основі р-п переходів) є висока міцність та високий квантовий вихід випромінювання (до $\sim 80\%$ і більше). Вже зараз можна стверджувати, що світловипромінюючі пристрої на основі КТ будуть не тільки альтернативою існуючих світлодіодів, а й матимуть перспективу широкого застосування в новітніх розробках сучасних приладів на основі нанотехнологій: оптичні перемикачі і підсилувачі, лазерні діоди, білі

світлодіоди, фотоелектричні комірки, флуоресцентні маркери, призначені для ідентифікації ДНК, ракових клітин та ін.

Визначення локальних механічних характеристик наноструктур методами зондової мікроскопії

Литвин П.М., Литвин О.С., Прокопенко І.В.

Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, Київ, Україна

Механічні тести матеріалів та виробів були і залишатимуться одними із широко використовуваних в наукових та прикладних дослідженнях. Ці методи еволюціонували від мікротвердомірів [1,2], в яких відбитки індентора контролюються за допомогою оптичного мікроскопа до наноінденторів, де механічні властивості визначаються за кривими навантаження-розвантаження і немає необхідності контролю форми відбитку [3,4]. Однак при переході до наноматеріалів та наноструктур тільки контроль сили навантаження, навіть із точністю наноінденторів, є недостатнім. Особливого значення набуває точність позиціонування та вимірювання як геометричних розмірів відбитків, так і динаміки процесу індентування. Унікальні можливості для таких досліджень надають методи скануючої зондової мікроскопії (СЗМ), які ґрунтуються на принципах атомно-силової мікроскопії.

В даній роботі розглянуто комплекс методів СЗМ діагностики механічних властивостей матеріалів та структур на нанорівні, який включає наноіндентування, скретч-тестування, зносостійкість та методику модульованої сили.

Комплекс, реалізований на СЗМ Dimension 3000 NanoScope IIIa, дозволяє отримувати механічні характеристики локальних областей поверхонь (наприклад, зерен і міжзеренних границь, квантових точок, багаточарових наноструктур, нитковидних кристалів та ін) та тонких плівок (від кількох десятків нанометрів).

Достовірність результатів підтверджена вимірюваннями тестових зразків із відомими механічними параметрами та порівняльними тестовими вимірюваннями спеціалізованим нанотвердоміром “Nano Indenter II” фірми “MTS Systems” (США).

1. Smith R.L. Sandland G.E. An accurate method of determining the hardness of metals, with particular reference to those of a high degree of hardness // *Proc. Inst. Mech. Eng.* **1**, pp. 623-641 (1922).
2. Rockwell S.P. Testing metals for hardness // *Trans. Am. Soc. Steel Treat.* **2**, pp. 1013-1033 (1922).
3. Pethica J.B., Hutchings R., Oliver W.C. Hardness. measurement at penetration depths as small as 20 nm // *Phil. Mag. A.* **48**, pp. 593-606 (1983).

4. Oliver W.C., Pharr G.M. An improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments // *J. Mater. Res.* 7, pp. 1564-1583 (1992).

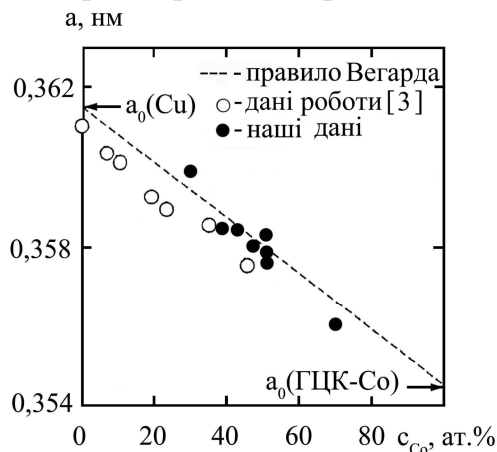
Концентраційна залежність параметра решітки ГЦК-твердого розчину в плівках на основі Со і Сu

Маршалек М.¹, Однодворець Л., Проценко І., Чешко І.

Сумський державний університет, Суми, Україна

¹Інститут ядерної фізики ПАН, Краків, Польща

У роботі представлені результати подальших досліджень, започаткованих в [1, 2], структурно-фазового стану двошарових плівок на основі Со і Сu, які пройшли термообробку в інтервалі температур 300 – 900 К. Особливістю фазових перетворень у плівкових системах Со/Сu/П (П-підкладка) є те, що у відпалених в інтервалі від 600К до 900К і потім досліджених при Т=300К зразках, починаючи з ефективної товщини плівок Со $d_{\text{еф}} \geq 10\text{нм}$, на електроннограмах фіксується лінія $d_{\text{hkl}} = 0,205\text{ нм}$. Це середнє значення між $d_{111} = 0,208\text{ нм}$ для Сu та $d_{111} = 0,203\text{ нм}$ для ГЦК-Со. Подальше збільшення ефективної товщини або температури відпалювання призводить до збільшення d_{hkl} , що можна пояснити утворенням твердого розчину (т.р.) на основі ГЦК-гратки Сu, в якого d_{hkl} відповідає лінії (111). З точки зору діаграми стану для масивних зразків цей т.р. повинен бути метастабільним. Рис.1 ілюструє узагальнену залежність параметра гратки т.р. від концентрації атомів, яка добре узгоджується із даними роботи [3] і правилом Вегарда (причиною похибки у визначенні концентрації може бути те, що частина атомів Со утворюють в об'ємі плівки Сu гранули гексагонального (ГЦП) Со). Сліди ГЦП-Со (лінії (101) і (110)) спостерігаються у плівках Со(3-10 нм)/Сu/П, якщо вони пройшли термообробку до 900 К. ГЦП-фаза виникає в результаті поліморфного електроннограмах поряд із лініями ГЦК- т.р. (Сu, Со) і ГЦП-Со завжди



присутні також лінії ГЦК-Сu поряд із відповідними лініями твердого розчину (складається враження, що система цих ліній утворилась у результаті розщеплення ліній ГЦК-Сu).

Рис.1. Залежність параметра ГЦК-гратки т.р. (Сu, Со) від концентрації атомів Со

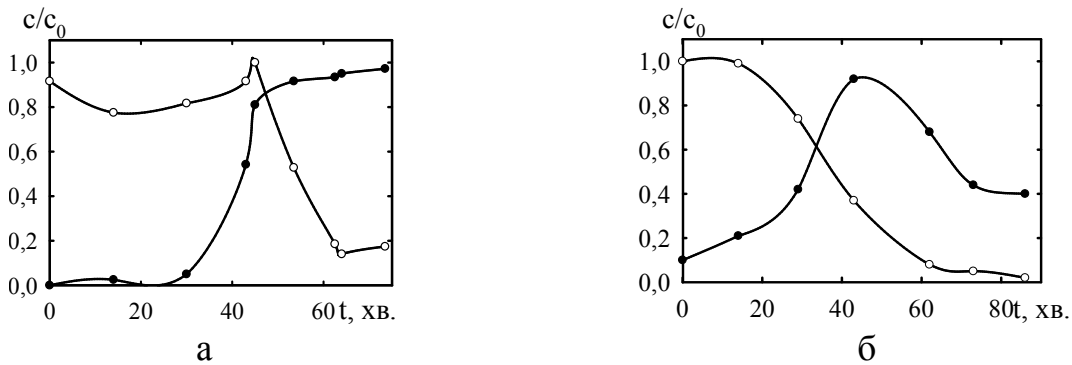


Рис.2. Дифузійні профілі для плівкової системи Cu(60)/Co(40)/П, відпаленої до 600 (а) і 900К (б): ○ і ● – профілі для атомів Cu і Co. t – час травлення плівкової системи первинними іонами

Результати дослідження взаємної дифузії атомів методом вторинно-іонної мас-спектрометрії (рис.2) підтверджують висновок про утворення твердого розчину

Перемішування елементів забезпечується взаємною дифузією атомів з ефективним коефіцієнтом сумісної іонно-стимульованої і термодифузії $D \sim 10^{-17} \text{ м}^2/\text{с}$, що добре узгоджується із величиною ефективного коефіцієнта конденсаційно-стимульованої дифузії $D \sim 10^{-18} \text{ м}^2/\text{с}$, який визначався [4] на прикладі плівкової системи Co(10)/Cu(10)/П методом оже-електронної спектроскопії.

1. Маршалек М., Проценко С.И., Черноус А.Н. Структурно-фазовое состояние двухслойных пленок Co/Cu и Co/Cr // *Тонкие пленки в оптике и электронике*, сс. 205 – 208 (2003).
2. Marszalek K., Marszalek M., Protsenko S. et al. The structure and phase composition of Co/Cu bilayers-sensing element for magnetoresistive application // *Materialy konferencyjne COE2006 Krakow-Zakopane*, pp. 161 – 164 (2006).
3. Yamamoto K., Kitada M.. Microstructure and magnetoresistance in Cu-Co alloy thin films // *Thin Solid Films*, **263**, p.111 – 116 (1995).
4. Бібик В.В., Гричановська Т.М., Маршалек М. та ін. Дифузійні процеси в нанокристалічних двошарових плівкових системах на основі металів // *Металофиз. новейшие технол.*, **28(6)**, с.707 – 715 (2006).

Електровідбивання світла в фізиці і технології тонких плівок

Матвеева Л.О.

Інститут фізики напівпровідників НАН України, Київ, Україна

Доповідь присвячена можливості використання ефекту електровідбивання світла в фізиці і технології тонких плівок для управління їх оптичними і електронними властивостями, а також властивостями гетероструктур. В фізиці і технології тонких плівок широко

використовуються неруйнівні оптичні методи дослідження з метою вдосконалення технології виготовлення плівок і управління їх властивостями. Завдяки високій роздільній здатності, що дозволяє виявити тонку структуру в спектрі, яка зазвичай губиться в безструктурному фоні, модуляційна спектроскопія має ряд переваг (в порівнянні з класичною) для встановлення особливостей зонної структури напівпровідників і тому більш чутлива до змін в їх енергетичному спектрі, які можуть відбуватися з різних причин. Серед арсеналу методів модуляційної спектроскопії провідне місце займає електровідбивання світла. Це пов'язано з тим, що спектральна залежність модуляційного ефекту електровідбивання відтворює зміни, які відбуваються під дією незначного модулюючого електричного поля, в похідній третього порядку по енергії фотона для оптичних констант досліджуваного напівпровідника (діелектричної проникності). Сигнал електровідбивання існує лише в сингулярних точках зони Бріллюена (особливості Ван-Хова), реєструється тільки в області прямих оптичних переходів і при віддаленні від них занулюється. Це відбувається тому, що ефект електровідбивання відтворює зміни в комбінованій густині електронних станів і віддзеркалює не лише оптичні, а також електронні процеси, які відбуваються в досліджуваному матеріалі.

Маючи великі потенційні можливості, прилади на основі напівпровідникових гетероструктур працюють далеко не так, як витікає з теорії. Інтерпретація фізичних явищ в них проводиться зазвичай на основі моделей ідеального гетеропереходу. При цьому не завжди враховується стан межі поділу, а саме граничні електронні стани, наявність внутрішніх механічних напружень і вбудованого електричного поля. Досконалість межі поділу також впливає на оптичні і електронні властивості реальних гетероструктур. Приповерхневі шари, так як і межа поділу в гетероструктурі, є основною робочою областю в приладах електронної техніки нового покоління. В порівнянні з об'ємом в них можуть відбуватися суттєві зміни фізичних процесів внаслідок зміни зонної структури, рухливості носіїв заряду та енергетичного часу їх релаксації, наявності поверхневого потенціалу та виникнення поверхневого квантово-розмірного ефекту. Саме вигин зон та рухливість носіїв заряду визначають функціональні можливості електронних приладів. Використання ефекту електровідбивання світла якраз дозволяє контролювати структурну досконалість, оптичні і електронні параметри приповерхневих шарів і межі поділу, а також їх зміни під впливом фізико-хімічних обробок гетеросистем.

За допомогою електровідбивання була виявлена можливість отримання якісних поверхонь GaAs і Si для гетероепітаксії лише поліруючим або анізотропним травленням підкладок після механічної різки кристалів, без використання операцій шліфування. Встановлено, що рельєфна гетероепітаксія дозволяє отримати досконалі шари Ge, GaAs,

GaP, CdTe і CdHgTe, які відтворюють рельєф поверхні підкладки і мають суттєво нижчі температури гетероепітаксійного росту в порівнянні з плоскими гетеросистемами. Показано, що в рельєфних гетеросистемах також зменшується величина внутрішніх механічних напружень. Анізотропне хімічне травлення поверхні плівок в плоских гетеросистемах не приводила до зниження рівня внутрішніх механічних напружень і покращання електронних параметрів плівки, змінювала лише їх оптичні властивості.

Спектральний розподіл ефекту електровідбивання, його полярність і форма сигналу, розщеплення піків або поява додаткового сигналу в спектрі чи знакозмінних осциляцій в високоенергетичній області переходу використовувались для встановлення типу провідності поверхні напівпровідникової плівки та межі поділу, визначення знаку і величини вигину зон в плівці і підкладці, ширини забороненої зони, величини і знаку внутрішніх механічних напружень в гетеросистемі, часу енергетичної релаксації збуджених світлом носіїв заряду, їх рухливості, виявлення наявності розщеплення валентної зони під дією механічних напружень в системі, а також квантово-розмірного ефекту з визначенням ширини квантової ями і енергії квантованих рівнів, величини вбудованого електричного поля і електрооптичної енергії, міжфазної взаємодії і наявності адсорбованих атомів на поверхні напівпровідника, розшарування твердого розчину $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$ на підкладках GaAs або Si, інтердифузії на межі поділу з підкладкою, визначення складу твердого розчину та його однорідності. Ефект електровідбивання був використаний також для встановлення зонної структури і енергетичної зонної діаграми поруватого світловипромінюючого кремнію, виготовленого різними методами (електрохімічним, анізотропним або барвлячи травленням, а також вакуумними методами). По результатам впливу умов виготовлення та зовнішніх дій на гетеросистеми були запропоновані механізми структурної релаксації в них, включаючи гібридні структури полімер-напівпровідник, фулерен-напівпровідник і гетероструктури з алмазоподібними плівками. При цьому були використані такі зовнішні чинники: термічний відпал, електричне поле, радіаційне опромінення (електронне, нейтронне, лазерне, гамма-кванти ^{60}Co , НВЧ, воднева і гелієва плазма).

Будова та жаротривкість наночастинок діоксиду титану

Миронюк І.Ф., Остафійчук Б.К., Коцюбинський В.О., Ільницький Р.В.,
Челядин В.Л., Гергель Т.В.

*Прикарпатський національний університет імені В. Стефаніка,
Івано-Франківськ, Україна*

Кристалічна будова, морфологія частинок діоксиду титану суттєво залежить від методу його одержання. Синтез пірогенного TiO_2 базується на

спалюванні тетрахлориду титану або іншої титановмісної речовини у воднево-повітряному полум'ї. Ріст частинок у полум'ї здійснюється в результаті їх зіткнення (коагуляції) та миттєвої коалесценції (спікання). Автори роботи [1] показали, що при такій моделі росту частинок основним фактором, що визначає розмір частинок є температура ядра полум'я.

Синтез пірогенного TiO_2 здійснюють при температурі полум'я 700-1100 °С. Із зростанням температури в зазначеному інтервалі питома поверхня TiO_2 відповідно зменшується з $110 \text{ м}^2 \cdot \text{г}^{-1}$ до $20 \text{ м}^2 \cdot \text{г}^{-1}$. Відношення анатаз : рутил в матеріалі знижується з 3,0 до 1,0.

Пірогенний TiO_2 , синтезований у полум'ї при температурі 800 °С, має питому поверхню $76 \text{ м}^2 \cdot \text{г}^{-1}$. Він містить 74 % анатазу та 25 % рутилу.

Миттєва коалесценція дрібних частинок у полум'ї вказує на можливість полікристалічної будови наночастинок TiO_2 .

Для з'ясування морфологічної будови наночастинок доцільно порівняти середній розмір первинних частинок із середнім розміром області когерентного розсіювання (ОКР) рентгенівського променя при дифрактометрії досліджуваного матеріалу. Розрахунок розміру ОКР анатазу та рутилу здійснювали за методом Шеррера.

Дослідження дозволили з'ясувати, що середній розмір первинних частинок TiO_2 , визначений за їх фотографією, одержаною з допомогою електронного трансмісійного мікроскопу, рівний $20 \div 60 \text{ нм}$, а середній розмір ОКР для анатазної та рутильної фаз відповідно складає 53 та 30 нм.

Ці дані дозволяють зробити висновок, що частинки пірогенного діоксиду титану є монокристалічними.

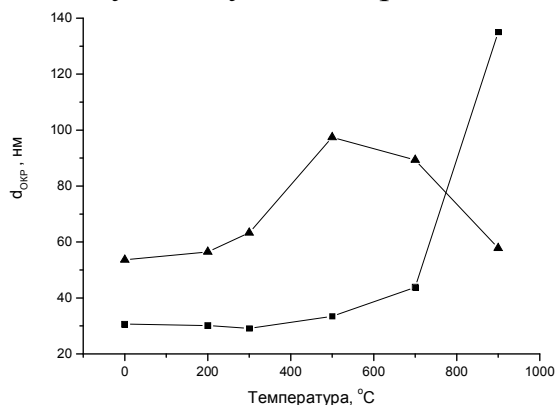


Рис.1. Зміна розміру області когерентного розсіювання γ -променів в анатазі (1) та рутилі (2) після відпалу TiO_2 при різних температурах.

фазовий перехід анатазу в рутил. У зразках TiO_2 розмір ОКР рутильних нанокристалів складає $\sim 140 \text{ нм}$, а анатазних $\sim 60 \text{ нм}$.

Цікавою є інформація щодо розміру ОКР окремих фаз TiO_2 , прожареного протягом 1 години при температурі 300; 500; 700 та 900 °С (рис.1).

Низька жаротривкість окремих частинок TiO_2 , що мають анатазну будову, спонукає їх до активного спікання вже при температурі $> 200 \text{ °С}$. Після відпалу порошкового матеріалу при температурі 500 °С розмір монокристалічних частинок анатазу зростає до $\sim 100 \text{ нм}$. Однак при температурі $\geq 500 \text{ °С}$ здійснюється відпалених при температурі 900 °С нанокристалів складає $\sim 140 \text{ нм}$, а анатазних $\sim 60 \text{ нм}$.

Наночастинки TiO_2 можуть бути полікристалічними під час відпалу

в інтервалі температур поліморфного перетворення анатазу в рутил.

Таким чином знання про фізико-хімічні процеси, що мають місце при пірогенному синтезі TiO_2 , а також підчас його відпалу при високих температурах, дозволяють одержувати матеріал з наперед заданими властивостями та цілеспрямовано його використовувати в якості фотокаталізатора, наповнювача полімерів або електродного матеріалу в електрохімічних джерелах енергії.

1. Миронюк І.Ф., Мандзюк В.І., Гергель Т.В. Розмірні ефекти в наночастинках пірогенного діоксиду кремнію // *ФХТТ*, 6(1) с. 31-35 (2005).

Особенности комбинационного рассеяния в тонких пленках

Овандер Л.Н., Шадур В.А.

Житомирский государственный технологический университет, Житомир, Україна

Обычно комбинационное рассеяние света происходит при углах рассеяния близких к $\frac{\pi}{2}$. В этом случае проявляется область колебательной ветви **A**, расположенная на платообразной части последней. Здесь частота рассеянного света сравнительно слабо зависит от угла рассеяния φ .

Положение меняется при переходе к малым углам рассеяния φ , когда $\varphi \approx \frac{\omega_1}{\omega_0}$, где ω_1 – колебательная частота, а ω_0 – частота первичного излучения или близкая к ней частота рассеянного излучения.

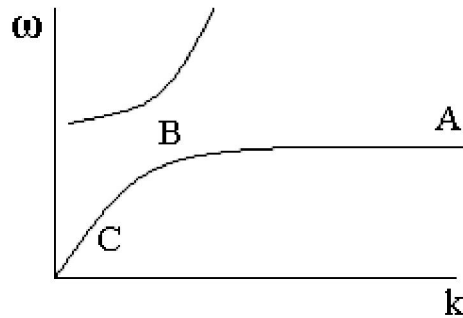
В этом случае в спектре проявляется область «бутылочного горлышка» **B**, а при дальнейшем уменьшении угла рассеяния можно исследовать область **C**.

Здесь должна наблюдаться осциллирующая зависимость интенсивности комбинационного рассеяния от толщины кристалла, описываемая формулой

$$\frac{\sin^2(\Delta k \cdot x)}{(\Delta k)^2}, \text{ где } x \text{ – толщина пластинки, } \Delta k = k_0 - k_1 - k_2, k_0 \text{ –}$$

волновой вектор первичного излучения, k_1 – рассеянного, k_2 – колебательного фонона.

Необходимо отметить, что здесь соблюдается закон сохранения энергии, но не соблюдается закон сохранения квазиимпульса (волнового вектора).



Зависимость частоты колебания фонона ω от волнового вектора k

Изучение упомянутой осциллирующей зависимости может оказаться полезным при исследовании тонких пленок, когда такая зависимость выступает наиболее ярко.

Насколько авторам известно эффект, описанный выше, экспериментально нигде не наблюдалась.

Капілярні властивості наноструктурних тонких плівок вуглецю

Островська Л.Ю.

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ, Україна

Створення вуглецевих тонких плівок з широким спектром капілярних властивостей (від повного змочування до незмочування) є актуальним з точки зору їх використання в хімічній індустрії, електрохімії, біомедицині, сенсориці та ін., в умовах, коли відбувається взаємодія плівки з рідким середовищем.

Розглянуті можливості досягнення необхідного рівня змочуваності вуглецевих плівок шляхом структурування поверхні на мікронній та нанощкалі.

Досліджено структуру (СЕМ) і змочування (метод лежачої краплі) тонких (1.5-3.0 мкм) плівок на Si підкладках мікро- та нанокристалічного алмазу, нанокластерного вуглецю; наноструктурного графіту, утвореного з вертикально орієнтованих пластинок завтовшки 50-70 нм; мікроціток з перпендикулярно розміщених вуглецевих нановолокон довжиною 100 Å; регулярно розміщених алмазних мікропірамідок різної висоти та періоду структурування.

Показано, що структурування на мікронній шкалі не дає значних результатів. Високі гідрофобні (ліофобні) властивості можуть бути досягнені виключно за рахунок анізотропії поверхневої наноморфології, яка маніпулює геометрією рідкої фази і створює неоднорідність (розрив) в трьохфазній контактній лінії.

Встановлені суттєві зміни гідрофобних властивостей монокристалічних алмазу (МКА) та графіту (МКГ) у разі, коли ці

матеріали створені в наноструктурованій формі – нанокристалічного алмазу (НКА) з розміром зерна < 10 нм, нанопластинчатого графіту (НПГ).

Контактний кут змочування водою МКА складає ($36^{\circ} \pm 2^{\circ}$), тоді як для НКА плівок він зростає удвічі ($72^{\circ} \pm 2^{\circ}$). Відповідно, для перерахованих гідрогенізованих поверхонь спостерігаються зміни від ($92^{\circ} \pm 2^{\circ}$) до ($106^{\circ} \pm 3^{\circ}$), (що вже порівняє з полімерами, наприклад, тефлоном). НПГ плівки проявляють надгідрофобні властивості з кутом змочування ($144^{\circ} \pm 3^{\circ}$), що в 1,8 перевищує кут змочування базисної площини МКГ. Так само збільшується кут змочування оловом в вакуумі як для НКА плівок ($158^{\circ} \pm 3^{\circ}$) в порівнянні з МКА ($130^{\circ} \pm 3^{\circ}$), так і для НПГ ($154^{\circ} \pm 3^{\circ}$) в порівнянні з МКГ ($140^{\circ} \pm 3^{\circ}$). Визначено, що поведінка рідини на поверхні наноструктурної плівки може бути описана рівнянням Кассі-Бакстера для гетерофазних поверхонь, зокрема, у випадку НПГ крапля розміщується виключно на торцях пластинок.

Таким чином, доведено, що наноструктурування поверхні дозволяє досягти таких капілярних властивостей (змочування /незмочування) які надто складно реалізувати в моно- або мікрокристалічному матеріалі.

Кремнієві р-п переходи як газові сенсори

Птащенко О.О.¹, Птащенко Ф.О.², Ємець О.В.¹

¹Одеський національний університет ім. І. І. Мечникова, Одеса, Україна

²Одеська національна морська академія, Одеса, Україна

Досліджено вплив парів води, етилену, ацетону та аміаку на вольт-амперні характеристики (ВАХ) прямого і зворотного струмів кремнієвих р-п переходів. Проведено вимірювання кінетики наростання та спаду поверхневого струму в р-п переходах при зміні газового середовища. В області струмів до 10мкА ВАХ прямого струму мали вигляд

$$I(V) = I_0 \exp(qV / n_t kT), \quad (1)$$

де коефіцієнт неідеальності $n_t \approx 2$ при $T=300\text{K}$. Аналіз вказаних ділянок ВАХ свідчить, що вони пов'язані з рекомбінацією носіїв заряду через глибокі рівні у збідненому шарі р-п переходу, а також з поверхневою рекомбінацією поблизу р-п переходу. Пари води, етилену і ацетону значно менше змінювали поверхневий струм р-п переходів, ніж аміак. Встановлено такі закономірності впливу парів аміаку на поверхневий струм р-п переходів: а) додатковий струм, обумовлений адсорбцією молекул NH_3 , нелінійно залежить від парціального тиску парів NH_3 у діапазоні 20–1000 Па; б) величина вказаного додаткового струму нелінійно залежить від напруги. Це свідчить, що вплив адсорбції молекул NH_3 на ВАХ кремнієвих р-п переходів, на відміну від аналогічних структур на основі напівпровідників A^3B^5 , не можна пояснити утворенням провідного поверхневого каналу, який “закорочує” р-п перехід. ВАХ прямого струму

p-n переходів, що знаходилися в парах аміаку, мали експоненціальні ділянки, що відповідають виразу (1). Це свідчить, що зростання прямого струму при адсорбції молекул NH_3 пов'язано зі зростанням інтенсивності поверхневої рекомбінації. При достатньо високих прикладених напругах величина додаткового зворотного поверхневого струму, зумовленого адсорбцією молекул аміаку, перевищувала максимальне значення додаткового прямого струму.

Кінетика зростання і спаду поверхневого струму після зміни тиску парів NH_3 була двохстадійною. Після швидкої зміни струму протягом 50-150с, в залежності від парціального тиску аміаку і прикладеної напруги, спостерігалось або повільне зростання, або повільне спадання струму. При повторному впуску парів аміаку кінетика зростання струму значно прискорювалася, що свідчить про перезарядку глибоких поверхневих рівнів при адсорбції молекул NH_3 .

Зміну ВАХ кремнієвих p-n переходів під дією парів аміаку можна використати для створення сенсора даних парів.

Получение силицированных покрытий в условиях СВС

Середа Б.П., Кругляк И.В.

Запорожская государственная инженерная академия, Запорожье, Украина

Новыми технологиями нанесения покрытий являются методы получения покрытий на основе самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), осуществляемые при нестационарных условиях. В зависимости от условий реализации СВС процесса можно получать диффузионные слои в режиме горения или теплового самовоспламенения при времени процесса от нескольких минут до 1,5 – 2 часов.

Покрытия получали в СВС-смеськах, состоящих из кремнистой, хромистой составляющей, инертной составляющей и газотранспортного агента (до 0,5 – 1,5 % NH_4Cl , NHCl , NH_4I , NaF , NH_4F). Покрытия наносились в режиме горения и теплового самовоспламенения. Исследования проводились на техническом железе, стали 20, стали 45 и стали У8А. Формирующиеся силицированные слои состоят из α' - фазы состава Fe_3Si , углерод вытесняется в аустенитный подслои.

СВС – силицирование проводилось в интервале температур 950-1100 °С. При этом получались толщины от 150 до 170 мкм. Испытание на коррозионную стойкость малопористых слоев проводилось в 10% растворах HCl , H_2SO_4 , H_3PO_4 , и в 5% растворах NaCl , NaOH , Na_2SO_4 .

Результаты измерения микротвердости показали, что на низкоуглеродистых материалах она равна 4000-5000 МПа, на высокоуглеродистых материалах достигает 6500-7500 МПа. В результате

СВС – силицирования увеличивается сопротивление окислению среднеуглеродистых сталей в 2 – 2,5 раза.

**Фазоутворення в плівковій композиції
Ti(200 нм)/Cu(200 нм)/Ti(100 нм)/SiO₂(370 нм)
на монокристалічному кремнії (001)**

Сидоренко С.І., Ту К.-Н.¹, Макогон Ю.М., Павлова О.П., Вербицька Т.І.,
Мохорт В.А., Нестеренко Ю.В., Тернавських А.Г.

*Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”,
Київ, Україна*

¹*Dept. of Materials Science and Engineering, University of California at Los Angeles, Los Angeles, USA*

Схильність міді до сильної взаємодії з кремнієм і її легка дифузія в діелектриках на основі SiO₂ під впливом термічного відпалу й електричного поля ведуть до виходу з ладу мікроприладів.

Мета даної роботи полягала у визначенні ролі титана як бар'єрного шару для дифузії міді в плівковій композиції Ti(200 нм)/Cu(200 нм)/Ti(100 нм)/SiO₂(370 нм) на монокристалічному кремнії орієнтації (001).

Плівкова система, що досліджувалась, була отримана послідовним електронно-променевим осадженням шарів елементів на кремнієву підкладку, вкриту шаром оксиду, у вакуумі не нижче 10⁻⁴ Па без розвакуумування. Термічна обробка зразків проводилася у вакуумі 1,3·10⁻³ Па в температурному інтервалі 770-1170К протягом 1 години. Твердотільні реакції в плівковій композиції досліджені методами рентгенівської дифракції, растрової електронної мікроскопії і резистометрії.

Встановлено, що інтенсивне руйнування проміжного шару титана починається після відпалу при температурі 770К. Титан вступає в реакцію з SiO₂ утворюючи оксид Ti₂O₃. Збільшення температури відпалу до 870К супроводжується утворенням інтерметалідів Cu₃Ti і Cu₄Ti. Після подальшого відпалу при 970К одночасно з інтерметалідними фазами з'являються рефлекси силіцидних фаз Ti₅Si₃ і TiSi внаслідок руйнування шару SiO₂. Перша силіцидна фаза міді Cu₁₅Si₄ реєструється після відпалу при температурі 970К. Відпал при 1070К супроводжується утворенням потрійної сполуки CuTiSi і дисиліциду TiSi₂. Морфологія поверхні зразка, відпаленого при температурі 1170К, показала наявність включень прямокутної і круглої форми розміром 13 і 7 мкм, що належать фазам Cu₁₅Si₄ і CuTiSi, відповідно. Різке підвищення поверхневого електроопору зразка після відпалу при 1270К пояснюється не латеральним, а колоноподібним ростом силіцидних фаз.

Підкладки для епітаксійного вирощування тонких плівок GaN

Сукач Г.О., Ревенко А.С.¹, Кідалов В.В.¹

Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, Київ, Україна

¹Бердянський державний педагогічний університет, Бердянськ, Україна

Основними факторами, що обумовлюють вибір матеріалу є: комерційна доступність якісної підкладки, відповідність параметрів ґратки між нітридом галію та матеріалом підкладки, відповідність між коефіцієнтами теплового розширення, ступінь технологічної „сприятливості” між матеріалами під час вирощування епітаксійного GaN та складність технологічного циклу в аспекті попередньої підготовки підкладки.

В роботі проведено порівняльний аналіз (огляд) впливу фізико-хімічних властивостей матеріалів різного типу підкладок на структурно-кристалографічні, морфологічні, електрофізичні, оптичні та інші параметри і характеристики тонких епітаксійних плівок GaN.

Крім широко використовуваних підкладок, таких, як сапфір, 6H-SiC, Si, GaAs, GaN та AlN, особливо увагу приділено поруватим підкладкам на основі Si та GaAs, які за останні роки стали перспективним матеріалом для отримання тонких шарів GaN підвищеної структурної досконалості як гексагональної, так і кубічної модифікацій. Аналіз переваг та недоліків основних підкладок, що використовуються на сьогодні, дозволяє спрямувати активність на удосконалення не тільки методик вирощування, а й підготовчої обробки матеріалів підкладок з метою реалізації їх переваг як підкладок для GaN за різними фізичними, хімічними, електричними та іншими характеристиками.

До теперішнього часу сапфір (Al_2O_3) залишається тим, матеріалом, що найбільш широко використовується для епітаксійного вирощування тонких плівок GaN. До переваг сапфірових підкладок можна віднести такі: механічна міцність; твердість; висока термічна та хімічна стабільність; комерційна доступність структурно досконалих підкладок. З іншого боку, значна невідповідність у параметрах ґраток та коефіцієнтах теплового розширення між Al_2O_3 та GaN призводить до появи значних механічних напружень у структурах GaN/ Al_2O_3 . Для вирішення даної проблеми застосовуються додаткові технологічні операції вирощування буферних шарів, що, однак, не знімає проблему достатньою мірою. Важливим недоліком є також невідповідність у площинах розколювання матеріалів Al_2O_3 та GaN ускладнює процес підготовки структур GaN/ Al_2O_3 для виробництва оптоелектронних приладів, зокрема, напівпровідникових лазерів. Крім того, сапфір є ізолятором, тому при виробництві приладів електронної техніки на основі структур GaN/ Al_2O_3 необхідно створення

додаткового електричного контакту, що взагалі ускладнює технологію процесу виробництва. Наявність кисню в підкладці Al_2O_3 може бути причиною автодифузії даних атомів в епітаксійну плівку GaN, що, в свою чергу, збільшує фонову концентрацію електронів.

Наявність у SiC вертикальної площини розколювання свідчить про певну перевагу механіко-технологічної обробки структур GaN/SiC над GaN/ Al_2O_3 . До переваг підкладок SiC над підкладками на основі Al_2O_3 можна віднести також більш високу теплопровідність перших, що є немаловажним фактором при застосуванні у електронних пристроях з високою потужністю, яка розсіюється, або режим експлуатації яких протікає за високих температур. З цієї точки зору приладові структури на основі SiC мають потенційні переваги над гетероструктурами GaN/ Al_2O_3 при формуванні ефективного тепловідводу від електронних пристроїв.

Середня величина біаксіального напруження у гетероепітаксійних плівках GaN отриманих на чужорідних підкладках дорівнює 1 ГПа. Одним із найперспективніших напрямків усунення подібних механічних напружень є використання поруватих підкладок. Першу вдалу спробу вирощування епітаксійних шарів GaN на поруватих підкладках GaAs було зроблено у роботі [1]. Автори продемонстрували можливість отримання метастабільної кубічної фази нітриду галію (β -GaN) на поруватих підкладках GaAs методом МВЕ. Електронно-мікроскопічні дослідження показали, що при товщинах близько 2000 Å на поруватих підкладках GaAs формується епітаксійний шар GaN.

Зменшення механічних напружень в епітаксійних плівках GaN, вирощених на Si, продемонстровано в роботі [2]. На підкладці Si був вирощений буферний шар GaAs товщиною 2 мкм. За рахунок нітридизації (в атмосфері NH_3 за температури 1000°C) була сформована частково порувата структура GaN. Природа пор у сформованому шарі GaN пояснюється, з одного боку, дифузією атомів миш'яку та галію (у результаті декомпозиції GaAs) і, з іншого боку, зустрічною дифузією атомів азоту під час нітридизації та вирощування епітаксійного GaN. Було продемонстрована можливість формування на підкладці Si монокристалічного GaN.

1. Мамутин В.В., Улин В.П., Третьяков В.В., Иванов С.В., Конников С.Г., Копьев П.С. Получение кубического GaN молекулярно-пучковой эпитаксией // *Письма в ЖТФ*. **25**(1), сс. 3-9 (1999).
2. Bablu K. Ghosh, Toru Tanikawaa, Akihiro Hashimotoa, Akio Yamamotoa, and Yoshifumi Ito. Reduced-stress GaN epitaxial layers grown on Si(1 1 1) by using a porous GaN interlayer converted from GaAs // *Journal of Crystal Growth.*, **249**(3-4), pp. 422-428 (2003).

Теоретичний опис інтеркальованих металами напівпровідникових кристалів

Стасюк І.В., Величко О.В., Мисакович Т.С.

Інститут фізики конденсованих систем НАН України, Львів, Україна

Проведені експериментальні дослідження [1,2] встановили, що інтеркаляція кристалів селеніду галію та індію нікелем викликає в них електричну поляризацію. Ефект має місце при малих концентраціях інтеркалянта. Температурні залежності діелектричної проникливості демонструють піки у тій самій області концентрації для обох кристалів. Припускається, що ефект є пов'язаний з упорядкуванням локальних квазідиполів, спричиненим перерозподілом атомів інтеркалянта між октаедричними та тетраедричними позиціями. Показано, що мікроскопічна чотиристанова модель здатна відтворити пікоподібну поведінку поляризації при зміні хімічного потенціалу (концентрації) інтеркалянта і особливості температурної поведінки поперечної діелектричної сприйнятливості.

Також, для опису інтеркаляції іонів літію в напівпровідники типу TiO_2 запропоновано псевдоспін-електронну модель з двома орбітальними станами на вузлі. Враховано взаємодію електронів з домішковими іонами, яка приводить до зсуву електронних зон при інтеркаляції. Термодинаміку моделі досліджено в наближенні середнього поля. Проаналізовано можливість виникнення в системі фазових переходів та розшарування на фази з різними концентраціями іонів.

1. Mintyanskii I.V., Grygorchak I.I., Kovalyuk Z.D., Gavrylyuk S.V. *Sov // Phys Solid State*, **28(4)**, pp. 1263 (1986).
2. Stasyuk I.V., Grygorchak I.I., Velychko O.V. *Ferroelectrics*, 2007 (submitted).

Балістичний перенос заряду в тонких плівках металів

Стасюк З.В.

Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів, Україна

Тонкі шари речовини є основними елементами багатьох пристроїв сучасної електронної техніки. Подальший розвиток електроніки неможливий без мікромініатюризації існуючих електронних систем з використанням нанотехнологій, зокрема без розробки методик формування стабільних покриттів субатомної товщини. Властивості надтонких покриттів можуть суттєво відрізнитись від властивостей відносно товстих шарів, які в даний час використовуються в техніці, що зумовлено домінуючим впливом поверхневих процесів на їх параметри.

У даній роботі проаналізовано сучасний стан теоретичних та експериментальних досліджень балістичного переносу заряду в дуже тонких суцільних плівках металів за умови реалізації нерівності $d < l$ (d – товщина плівки, l – середня довжина вільного пробігу носіїв струму в масивному матеріалі, структура якого аналогічна структурі плівки).

Створення суцільних металевих шарів товщиною $d \sim (1-10)$ нм є достатньо складною технологічною проблемою, оскільки зародки кристалізації металу звичайно інтенсивно коагулюють на діелектричній підкладці, створюючи при цьому плівку з острівцевою структурою. Для подолання впливу коагуляції використовують методики епітаксiального нарощування шару металу на поверхні монокристалічних підкладок або наносять металеві плівки на діелектричні підкладки, попередньо покриті підшарами субатомної товщини поверхнево активних речовин (напівметалів чи напівпровідників), які послаблюють коагуляцію шару металу. З літератури відомі експериментальні результати дослідження кінетичних явищ (провідність, ефект Холла) у плівках товщиною в декілька атомних шарів.

Кінетичні коефіцієнти відносно товстих плівок ($d > l$) залежать від товщини шару за рахунок залежного від d внеску поверхневого розсіювання у сумарний час релаксації носіїв струму – класичний розмірний ефект. Згадані експериментальні залежності достатньо добре описуються теоріями класичного розмірного ефекту, розвинутими для ідеального Зомерфельдівського електронного газу. В теоріях вважається, що внески всіх видів розсіювання носіїв струму адитивні. Зокрема, це стосується внесків розсіювання на статичних дефектах (об’ємне, домішкове, зерномежове, поверхневе), а тому виконується правило Матісена.

При переході до балістичного переносу заряду ($d < l$) домінуючу роль відіграє поверхневе розсіювання носіїв і правило Матісена найчастіше не виконується. При балістичному переносі заряду можлива також реалізація умов розмірного квантування k_z складової компоненти квазіімпульса електрона, перпендикулярної до поверхонь плівки, а тому ймовірна поява квантового розмірного ефекту явищ перенесення. Особливості розмірних залежностей кінетичних коефіцієнтів у режимі балістичного переносу заряду суттєво залежать від морфології поверхневих неоднорідностей плівки. При епітаксiальному рості плівки в режимі „шар за шаром” амплітуда поверхневих неоднорідностей сумірна довжині хвилі де-Бройля λ_F електрона провідності. Тому в цьому випадку, подібно як у плівках напівметалів і напівпровідників, можливе спостереження осциляцій в розмірних залежностях кінетичних коефіцієнтів з періодом, який дорівнює $\lambda_F / 2$.

У полікристалічних зразках осциляції кінетичних коефіцієнтів

звичайно не спостерігаються, однак хід розмірних залежностей подібний до згладжених кривих, що отримуються в теоріях квантового розмірного ефекту.

Теоретичному дослідженню балістичного переносу заряду в плівках металів присвячена значна кількість робіт. Абсолютна більшість з них базується на розгляді одночастинкового гамільтоніана електрона провідності, у якому вплив поверхні враховується шляхом введення в гамільтоніан поверхневого потенціалу. При відсутності об'ємного розсіювання провідність шару товщиною d може бути записана [1]:

$$\sigma = \frac{2e^2 d^2}{\hbar a^2} f(\lambda_F, d, R). \quad (1)$$

Тут a – середня амплітуда поверхневих неоднорідностей, R – кореляційний радіус (середній „розмір” неоднорідності в площині плівки). Вираз для функції f залежить від введеного у розгляд енергетичного спектра (потенціальний рельєф біля поверхні та зонна енергетична структура) і від вибору апроксимаційної функції, що описує геометрію поверхневих неоднорідностей (гаусіани, експоненти, степеневі функції і т. ін.).

Серед основних висновків проаналізованих у доповіді теоретичних робіт слід відзначити твердження про те, що відсутність осциляцій у розмірних залежностях кінетичних коефіцієнтів при балістичному переносі заряду обумовлена неузгодженістю фаз та напрямків поширення відбитих поверхнею електронних хвиль. Для кількісного опису розмірних залежностей залишкової провідності σ_{res} , зумовленої лише поверхневим розсіюванням, може бути корисним вираз типу [2]:

$$\sigma_{res} \propto d^\alpha, \quad (2)$$

де $2 \leq \alpha \leq 6$.

Спостереження квантового переносу заряду можливе в однорідних суцільних плівках металів товщиною $d < 10$ нм.

1. Meyerovich A., Stepaniants S. // *Phys.Rev.* **B65**(155413), pp.1-15 (2002). *Phys.Rev.* **B73**(85404), pp. 1-13 (2006).
2. Calecki D., Fishman G. // *Phys.Rev.Lett.* **62**, pp. 1302-1305 (1989).

Електрони, екситони і фонони у шестикутних нанотрубках

Ткач М., Маханець О., Грищук А.

Чернівецький національний університет ім. Ю.Федьковича, Чернівці, Україна

Квантові плівки, дроти і точки вже давно знаходяться у центрі уваги експериментаторів і теоретиків. Що ж стосується квантових нанотрубок, то вони експериментально були отримані зовсім недавно [1]. Загальні теоретичні підходи до вивчення особливостей спектра квазічастинок у

багатошарових наноситемах також були розроблені кілька років тому [2].

У пропонованій роботі вивчається спектр електронів, дірок, екситонів і фононів, а також взаємодія цих квазічастинок між собою у квантовій нанотрубці з шестикутною основою. Така трубка (InP/InAs/InP) була отримана у експериментальній роботі [1].

Спектр електронів, дірок і екситонів був розрахований у моделі ефективної маси з прямокутним потенціалом шляхом розв'язування рівняння Шредінгера.

Спектр обмежених та інтерфейсних фононів і гамільтоніан взаємодії квазічастинок з ними квантовій нанотрубці знаходився у моделі діелектричного континууму. При $T = 0^0\text{K}$ методом функції Гріна було розраховано перенормування електронного і екситонного спектрів. Виявилось, що основний внесок у величину зміщення екситонного спектра вносять обмежені фонони матеріалу трубки та інтерфейсні вітки фононів, що зумовлені наявністю меж між трубкою і її оточенням.

Розраховане положення екситонного рівня з урахуванням всіх взаємодій, непогано узгоджується з експериментом [1].

1. Mohan P., Motohisa J, and Fukui T. // *Appl. Phys. Lett.* **88**, 133105 (2006).
2. Ткач М. *Квазічастинки у наногетеросистемах. Квантові точки та доти.* Рута, Чернівці 312 с. (2003).

Особливості хімічного травлення монокристалів CdTe різної кристалографічної орієнтації розчинами на основі I_2 та H_2O_2 –HI

Тوماшик В.М.¹, Іваніцька В.Г.², Томашик З.Ф.¹, Фейчук П.І.²,
Моравец П.³, Франц Я.³

¹Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, Київ, Україна

²Чернівецький національний університет ім. Юрія Федьковича, Чернівці, Україна

³Карлів університет, Інститут фізики, Прага, Чехія

Поведінка поверхонь монокристалів напівпровідникових сполук типу $\text{A}^{\text{II}}\text{B}^{\text{VI}}$ та $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$ при травленні залежить від їх кристалографічної орієнтації. З літературних даних відомо, що при селективному травленні халькогенідів цинку, кадмію і ртуті на поверхнях (111)A та (111)B формуються різні фігури травлення, що дає можливість визначати за допомогою травлення ці поверхні. Було також встановлено, що в бромметанольному травнику швидкість травлення аніонної поверхні більша, ніж катіонної, причому із зменшенням долі іонного зв'язку в напівпровідникових сполуках типу $\text{A}^{\text{II}}\text{B}^{\text{VI}}$ різниця між швидкостями травлення аніонної та катіонної поверхонь зменшується. Проте, варто зауважити, що вплив орієнтації CdTe на його хімічне травлення в науковій літературі майже не висвітлений.

Метою даної роботи є дослідження хімічної взаємодії кадмій телуриду різної кристалографічної орієнтації з розчинами іоду в метанолі та диметилформаміді (ДМФА) (іодвмісні травники), а також з водними розчинами H_2O_2 — HI —органічна кислота (іодвиділяючі травники) для встановлення основних закономірностей хімічного травлення та розробки і оптимізації нових поліруючих травильних композицій для обробки різних поверхонь CdTe .

Експерименти проводили на монокристалах CdTe , вирощених методом Бріджмена, причому використовували монокристалічні зразки площею $0,5 \text{ см}^2$ та товщиною 1,5-2 мм вирізані з одного й того ж зливку в різних кристалографічних напрямках. Хімічне травлення досліджували шляхом вивчення залежності швидкості розчинення (v) від концентрації вихідних компонентів в складі травника, швидкості перемішування розчину і температури у відтворюваних гідродинамічних умовах з використанням методики диску, що обертається, на установці для хіміко-динамічного полірування (ХДП). Швидкість травлення полярних площин CdTe (111)А, (111)В, (110) та (100) вивчали за різницею товщини пластин до і після травлення як середнє арифметичне 3-4 вимірів в різних місцях поверхні. Мікроструктуру досліджували за допомогою мікроскопа Leitz/Laborlux 12HL, а вимірювання шорсткості поверхні здійснювали на безконтактному профілографі "New view 5022 S".

Для досліджень використовували розчини, що містили 3-14 мас. % іоду в метанолі та 2-25 мас. % I_2 в ДМФА, оскільки при більшому вмісті іоду розчини стають пересиченими і двофазними. У випадку водних розчинів H_2O_2 — HI —органічна кислота було вибрано концентраційний інтервал із співвідношенням вихідних компонентів (в об. %): (5-15) H_2O_2 : (85-95) HI : (0-55) органічна кислота. Концентраційну залежність v розчинення досліджуваних напівпровідникових матеріалів у водних розчинах H_2O_2 — HI —органічна кислота будували за експериментальними даними з використанням методу математичного планування експерименту на сімплексах.

Встановлено, що в іод-метанольних розчинах швидкість розчинення всіх досліджених зразків зростає в межах 0,4-3,8 мкм/хв при збільшенні вмісту I_2 від 3 до 14 мас. %. Різниця між швидкостями розчинення поверхонь CdTe різної орієнтації незначна, проте для всіх досліджуваних розчинів спостерігається однакова закономірність в збільшенні швидкості хімічного травлення: найповільніше травиться площина (110), а найшвидше – площина (100), причому катіонна сторона (111)А травиться трохи повільніше, ніж аніонна сторона (111)В. В концентрованих розчинах різниця між швидкостями травлення різних площин стає менш помітною.

У випадку розчинів іоду в ДМФА швидкість травлення різних площин CdTe зростає від 0,8-1,3 до 9,9-15,3 мкм/хв із збільшенням масової долі іоду в розчині. В розведених розчинах (2-5 мас. % I_2) швидкість

травлення різних кристалографічних площин незначно зменшується в такому порядку: $v(100) > v(110) > v(111)B$. При збільшенні концентрації окисника в травильному розчині спостерігається зміна цієї залежності, і в достатньо концентрованих розчинах при вмісті 20-25 мас. I_2 в ДМФА порядок зменшення швидкостей травлення буде наступним: $v(111)B > v(110) > v(100)$. Можна зробити висновок, що швидкість розчинення кристалу телуриду кадмію залежить не тільки від кристалографічної орієнтації його площин, але й від концентрації активних компонентів травника.

Аналіз отриманих концентраційних залежностей (діаграм Гіббса) швидкості розчинення CdTe, орієнтованого в напрямках [111]A, [111]B, [110], [100], у водних розчинах H_2O_2 —HI—органічна кислота показує, що для кожної з використаних органічних кислот діаграми Гіббса подібні між собою, що свідчить про протікання реакції розчинення вказаних площин за однотипним механізмом. Очевидно, швидкість травлення всіх площин лімітується розчиненням підґратки телуру. Введення в склад травника органічної кислоти призводить до зниження швидкості травлення, тобто мінімальні v спостерігаються в розчинах, збагачених органічною кислотою, а максимальні – в травильних композиціях, збагачених одночасно H_2O_2 та HI. Методом мікроструктурного аналізу проведено дослідження якості поверхні зразків та виділені концентраційні області травників з поліруючими властивостями, які займають переважну частину концентраційних трикутників, селективні та неполіруючі розчини.

Практично у всьому концентраційному інтервалі водних розчинів H_2O_2 —HI—органічна кислота аніонна площина полярної орієнтації CdTe розчиняється швидше, ніж катіонна. Наприклад, при використанні цитратної кислоти отримана наступна залежність швидкостей розчинення орієнтованих площин CdTe: $v(111)B > v(110) > v(111)A > v(100)$. Така послідовність не є строгою і в деяких випадках може змінюватися із зміною складу травника та умов проведення процесу травлення (це ж стосується і інших застосованих органічних кислот). Вивченням залежності v від швидкості перемішування розчину та температури встановлено, що процес розчинення CdTe проходить за дифузійним механізмом, оскільки уявна енергія активації в усіх випадках не перевищує 40 кДж/моль.

Досліджені іодвмісні ті іодвиділяючі травильні композиції характеризуються невеликими швидкостями травлення, стабільністю в часі, є більш екологічними порівняно з іншими галогенвмісними та галогенвиділяючими розчинами, які традиційно використовуються для обробки поверхні напівпровідникових сполук типу $A^{II}B^{VI}$, дають можливість видаляти з поверхні монокристалів тонкі шари та здійснювати хімічну обробку плівкових матеріалів, а також отримувати високоякісні поліровані поверхні кадмій телуриду різної кристалографічної орієнтації.

Алмазоподобные углеродные пленки полученные из импульсных потоков катодно дуговой плазмы: структура, свойства, применение

Точицкий Э.И.

Научно инженерный центр "Плазматек" ФТИ Национальной академии наук Беларуси

В последние годы большое внимание ученых и производителей привлечено к исследованиям углеродных пленок и покрытий, так как они обладают уникальными физико – химическими свойствами, которые существенным образом определяются условиями осаждения пленок.

Нами разработан метод и устройство получения алмазоподобных углеродных тонких пленок в вакууме осаждением ускоренных потоков импульсной катодно-дуговой плазмы. Высокая ионизация плазмы, достигающая 98%, и энергия ионов в плазменном потоке равная 60 ÷ 80 эВ обеспечивают высокую адгезию осажденных пленок к подложкам из металлов, полупроводников и диэлектриков, а так же формирование химических связей алмазного типа между атомами осажденного углерода. Осаждение ионов потока плазмы обуславливает возникновения большого количества центров конденсации и зародышеобразования, что в сочетании с большой мгновенной скоростью осаждения способствует формированию сплошных пленок на ранних стадиях кристаллизации, при толщинах 30 ÷ 50 нм. Изменяя параметры процесса осаждения, можно в широком диапазоне варьировать соотношение алмазных и графитовых межатомных связей и получать пленки, обладающие различными физическими свойствами. Возможно конденсировать алмазоподобные углеродные пленки твердость которых достигает твердости природных алмазов до 10^4 кг/мм².

Методом осаждения импульсных потоков ускоренной катодно дуговой углеродной плазмы были получены алмазоподобные пленки с микротвердостью от 3×10^3 до 10^4 кг/мм², модулем упругости равным 250 ÷ 300 МПа, износостойкостью равной 10^{-7} ÷ 10^{-8} мм³/Нм, коэффициентом трения в паре со сталью 0,15; в паре с нитридтитановым покрытием 0,08 и менее. Удельное электросопротивление варьировалось в широком диапазоне 10^4 ÷ 10^9 Ом см.

Разработаны технологии нанесения алмазоподобных углеродных покрытий (АПУП) на различные промышленные изделия. Нанесение АПУП на режущие инструменты для обработки древесины и пластмасс увеличивает их срок службы в 3÷5 раз. Значительный эффект достигнут при упрочнении мелкогабаритных сверл (0,8 – 1,5 мм диаметром), а также измерительного инструмента, у которого срок службы возрастает в 5÷ 10 раз.

Однако наибольшая эффективность применения АПУП получена

при использовании их в медицинской технике. АПУП обладают высокой биосовместимостью с тканями человеческого организма и высоким сопротивлением к образованию тромбов крови. Нами применены АПУП для защиты металлических деталей искусственных клапанов сердца, которые в настоящее время вживляются больным при операциях на сердце. Проводятся работы по нанесению АПУП на ортопедические имплантаты.

Особенности двух- и многоволновой дифракции рентгеновских лучей в наноразмерных многослойных системах

Фодчук И.М.

Черновицкий национальный университет им. Ю. Федьковича, Черновцы, Украина

Современная рентгеновская дифрактометрия эффективно используется для определения структурных параметров многослойных систем, к которым относятся прежде всего состав и толщина отдельных слоев и последовательность их расположения. Кроме этого, в дифракционных кривых содержится информация о резкости гетерограниц (наличии переходных слоев) и степени деформации слоев.

В данной работе с помощью высокоразрешающей многокристалльной двух- и многоволновой рентгеновской дифрактометрии проведено исследование анизотропии остаточных деформаций в многослойных (In,Ga)As/GaAs - структурах с квантовыми точками и нитями, подверженных быстрому термическому отжигу. Многослойные системы получены на подложках GaAs (001) с помощью технологии молекулярно-лучевой эпитаксии.

Проведен поиск диагностически важных параметров, которые связывают степень совершенства многослойных систем, их угловую разориентацию, атомную шероховатость границ раздела с особенностями формирования кривых дифракционного отражения рентгеновских лучей, полученных в схеме азимутного сканирования за Ренингером. Исследовано структуры с латеральными модуляциями состава с помощью двумерных карт рассеяния рентгеновских лучей в обратном пространстве.

Проведено исследование влияния формы гетероинтерфейса (разного градиента состава на границах слоев в многослойных структурах), а также сложных структур с квантовыми точками и нитями на дифракционные спектры многоволновой дифракции. Проанализированы принципы формирования спектров многоволновой дифракции в таких структурах.

Демонстрируются новые возможности теоретического моделирования карт обратного пространства и отдельных сечений распределения интенсивности вокруг узлов обратной решетки.

В целом это дало возможность получить новые данные о деформационном состоянии, распределении компонентов за высотой квантовых точек, информацию о форме и симметрии их граней в многослойных (In,Ga) As/GaAs - структурах.

Особливості явищ переносу в тонких напівпровідникових плівках $A^{IV}B^{VI}$

Фреїк Д.М.

Фізико-хімічний інститут, Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, Івано-Франківськ, Україна

У зв'язку з тим, що площа поверхонь тонких плівок на декілька порядків перевищує площу об'ємних монокристалів, при розрахунках механізмів розсіювання носіїв струму слід враховувати міжфазні і міжкристалічні межі. У першому випадку важливим параметром є товщина (h) плівок, а в другому – розмір кристалітів (L). За умови, що $L \gg h$, вплив міжзеренних меж незначний, а при $h \gg L$ можна знехтувати розсіюванням на міжфазній поверхні [1].

Роль поверхні у явищах переносу слід пов'язувати із характеристичними довжинами: рекомбінаційна, дебаївська, середня довжина вільного пробігу, дебройлівська, параметр ґратки. Для плівок халькогенідів свинцю в області товщин $h > 0,1 \mu\text{м}$ важливою є середня довжина вільного пробігу вільних носіїв (λ), яка визначає роль процесів розсіювання у механізмах явищ переносу.

Зауважимо, що у тонких (менше $0,1 \mu\text{м}$) плівках при високих концентраціях носіїв ($n \geq 10^{18} \text{см}^{-3}$) дебройлівська довжина хвилі може стати порівнянною з дебаївською довжиною і навіть із товщиною плівок. Тому може мати місце спотворення області просторового заряду, зумовлене ефектами просторового квантування.

У роботі проаналізовано вплив класичних розмірних ефектів на кінетичні коефіцієнти епітаксійних, мозаїчних і полікристалічних плівок халькогенідів свинцю, а також двошарових гетероструктурах на їх основі.

Встановлено, що якщо для монокристалічних епітаксійних структур PbX ($X=S, Se, Te$) на сколах (111) кристалів BaF_2 домінує дзеркальний механізм, то для мозаїчних і полікристалічних плівок на сколах слюди і склі відповідно – дифузний механізм розсіювання. У першому випадку на розмірній залежності холлівської рухливості після деякого її спадання із зменшенням товщини плівок ($h \approx 1,2 \mu\text{м}$) має місце подальше різке зростання [2]. Для другого випадку, особливо для товщин плівок $h \approx 1,0 \mu\text{м}$, холлівська рухливість спадає [3].

За умови, що концентрація носіїв і ефективна маса стала у всіх областях і реалізації правила Маттісена, розраховані рухливості носіїв на

поверхні (μ_n), у середині кристалітів (μ_L) і міжзеренних межах – залишкова рухливість (μ_3). Визначено температурну залежність $\mu_3(T, h) = \mu_0(h)T^{-n(h)}$ і за значенням $n(h)$ уточнено механізми розсіювання носіїв струму для плівок різних товщин.

В рамках двошарової моделі Петріца [5] і бар'єрної теорії визначено вплив поверхні і міжкристалічних меж на транспортні властивості мозаїчних плівок.

Наявність межі поділу у двошарових епітаксійних структурах є причиною утворення дислокацій невідповідності внаслідок різниці періодів ґраток. Зроблено аналіз рухливості для двошарової структури р-PbTe / n-PbTe на підкладках (111) BaF₂ у припущенні розсіювання носіїв заряду на поверхні і дислокаціях, що утворюються на гетерограниці [5]. Встановлено, що при загальній товщині структури $h = h_1 + h_2 \leq 0,5$ мкм ($h_1 = h_2$) домінує розсіювання на поверхні, а при $d \geq 0,7$ мкм істотну роль відіграє розсіювання на дислокаціях. Для структур із різною товщиною гетерошарів h_1 / h_2 ($h = const$) розсіювання на дислокаціях невідповідності є істотним до малих товщин будь-яких із плівок. Встановлено, що як із збільшенням густини дислокацій, так і концентрації вільних носіїв величина рухливості носіїв гетероструктури має чітко виражену тенденцію до зменшення.

Робота частково фінансується МОН України (державний реєстраційний номер 0106U000220), а також ДФФД МОН України (проект № 14.1/028)

Можливість застосування моделі Кілдал для «товстих» плівок

Чуйко Г.П., Мартинюк В.В.

Херсонський національний технічний університет, лабораторія теорії твердого тіла при кафедрі загальної та прикладної фізики, Херсон, Україна

Квантово-розмірний підхід до властивостей тонких, або «нано-розмірних» плівок, дещо «затуляє собою» останніми часами проблематику більш «товстих» плівок (у діапазоні товщин приблизно від 10^{-6} м до 10^{-8} м). Такі плівки являють собою, принаймні за макросиметрією, типовий «одновісний матеріал»: координатна вісь (припустимо Oz) перпендикулярна до шару плівки з різних причин є виділеною відносно до координатних осей (Ox, Oy), які лежать в площині плівки. За таких умов адекватною енергетичною зонною моделлю для «товстих» плівок може бути відома зонна модель Кілдал [1]. Вона особливо придатна для матеріалів з малим спіновим розщепленням, та/або вузько-щілинних, коли параметр Кілдал є порівняльним за величиною з енергетичною щільною та

спін-орбітальною взаємодією: $\delta \sim (\varepsilon_g, \Delta)$.

Гамільтоніан Кілдал у іншому базисі функцій ($m=1/\sqrt{2}$; α, β - спінові індекси):

$$\{(iS_\beta, m(X - iY)_\alpha, Z_\beta, m(X + iY)_\alpha), (iS_\alpha, m(-X - iY)_\beta, Z_\alpha, m(X - iY)_\beta)\} \quad (1)$$

можна записати у вигляді:

$$H = \begin{pmatrix} H_1 & H_2 \\ H_2^+ & H_1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

Субматриці H_1, H_2 мають наступний вигляд у сферичній системі координат (k, θ, φ) з полярною віссю Oz :

$$H_1 = \begin{pmatrix} \varepsilon_g & 0 & kP \cos(\theta) & 0 \\ 0 & -\frac{2\Delta}{3} & \frac{\Delta\sqrt{2}}{3} & 0 \\ kP \cos(\theta) & \frac{\Delta\sqrt{2}}{3} & -\frac{\Delta}{3} - \delta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$H_2 = \frac{kP \sin(\theta)}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 & -e^{i\varphi} & 0 & e^{-i\varphi} \\ e^{i\varphi} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ e^{-i\varphi} & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (4)$$

де $(\varepsilon_g, P, \Delta, \delta)$ - добре відомі параметри моделі [1], відмінні від ще більш знаних параметрів Кейна лише фактором δ .

Техніка блочної діагоналізації (приведення до форми Фробеніуса у комп'ютерному математичному середовищі) була застосована для отримання закону дисперсії у вигляді монічного поліному четвертого порядку стосовно енергії носіїв. Його прямі рішення (у радикалах) є надзвичайно громіздкі. Тому зручніше користатися непрямим законом дисперсії у вигляді $k = k(\varepsilon)$, який було отримано в адекватному роботі [1], але більш простому вигляді:

$$k^2(\varepsilon) = \frac{\varepsilon(\varepsilon - \varepsilon_g) \left(\varepsilon^2 + (\Delta + \delta)\varepsilon + \frac{2\Delta\delta}{3} \right)}{P^2 \left(\varepsilon^2 + \left(\delta \sin(\theta)^2 + \frac{2\Delta}{3} \right) \varepsilon + \delta \Delta \sin(\theta)^2 \right)} \quad (5)$$

У точці $k = 0$ існують точні рішення для енергій чотирьох зон:

$$\varepsilon_c = \varepsilon_g; \quad \varepsilon_{v1} = 0; \quad \varepsilon_{v2, v3} = -\frac{(\Delta + \delta)}{2} \mp \frac{\sqrt{\Delta^2 - \frac{2\Delta\delta}{3} + \delta^2}}{2} \quad (6)$$

Останні два рішення легко розкласти в серії по малому параметру

$$\frac{\delta}{\Delta} < 1 :$$

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{v_2} &\approx -\frac{2\delta}{3} \left(1 - \frac{2\delta}{9\Delta} - \frac{2\delta^2}{27\Delta^2} + \frac{2\delta^3}{81\Delta^3} \right) \\ \varepsilon_{v_3} &\approx -\Delta - \frac{\delta}{3} \left(1 + \frac{2\delta}{9\Delta} + \frac{2\delta^2}{27\Delta^2} - \frac{2\delta^3}{81\Delta^3} \right) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Звісно, що параметр δ у наведених вище виразах має походження, абсолютно відмінне від його генези для об'ємних матеріалів, де він характеризує анізотропію кристалічного поля. У розглянутому прикладі «товстих» плівок походження вказаного параметру зумовлене швидше анізотропією розподілу механічних напружень та деформацій за напрямками у плівці. Отже, величина такого параметру може бути помітно меншою, ніж для одновісних кристалів. Тому у виразах (7), можливо, достатньо обмежуватися врахуванням лише першої одиниці, або максимум перших двох факторів у круглих дужках. Однак, існують також і способи підсилити обговорюваний тип анізотропії властивостей «товстих» плівок.

Варто зауважити, що фізичні наслідки (наприклад часткове розщеплення вироджених за симетрією енергетичних рівнів матеріалів з кубічною симетрією) мають бути такі самі, як і у випадку зниження такої симетрії за рахунок одновісних деформацій.

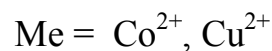
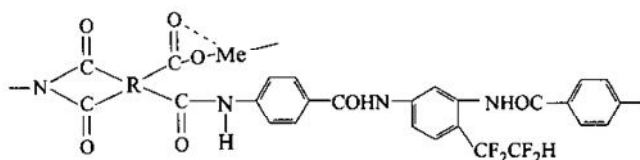
1. Kildal H. Band structure of CdGeAs₂ near $\mathbf{k}=0$ // *Phys. Rev.* **10**(12), pp.5082-5087 (1974)

Синтез и исследование фторсодержащих плёнок Ленгмюра – Блоджетт на основе полиимидов и полиамидоимидов

Шелудько Е.В., Ковтун Г.А., Цыпина О.Н.

Институт биоорганической химии и нефтехимии НАНУ, Киев, Украина

Полимерные плёнки, полученные по методу Ленгмюра – Блоджетт (ЛБ), рассматриваются как перспективные электроизоляционные, термостойкие и износостойкие покрытия [1]. В работе представлен синтез и исследование свойств моно– и мультислоевых плёнок ЛБ на основе фторированных полиамидокислот (ПАК), полиимидов и металлсодержащих полиамидоимидов. Амфифильные соли и соответствующие полиимиды были получены по 3-х стадийной схеме: полиамидокислота (ПАК) – соль ПАК – полиимид. Из “ $\pi - A$ ” диаграмм определены площади, приходящиеся на одну молекулу в сжатом и свободном состоянии слоя. Показано, что наличие двух гидрофобных радикалов на звено является достаточным для слоевого упорядочения без предварительного формирования упорядоченных монослоёв.



На рисунке представлена общая формула допированного полиамидоимида. Полислойные (30 слоёв) плёнки на Ti подложке получали переносом мономолекулярных слоёв по Z – типу. Из “π – A” диаграмм определены поверхностное давление и значения удельной поверхности на элементарное звено в свободном состоянии в зависимости от % концентрации допанта.

1. Tieke B. Langmuir – Blodgett films for electronic applications // *Advanced Materials*. 2(5), pp. 222–231 (1990)

Фуллерены и углеродные нанотрубки в плёночных структурах

Шпилевский Э.М.

Институт тепло - и массообмена им. А. В. Лыкова НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Молекулы фуллеренов C₆₀ вследствие высокой симметрии и замкнутости всех сигма–связей имеют высокую устойчивость (в инертной среде сохраняют стабильность до 1700 К), способны присоединять до шести свободных электронов. Кроме образования химических соединений при внешнем взаимодействии возможно внедрение в полость молекулы различных атомов (создание эндоэдральных комплексов) [1]. Особый интерес для ученых представляют УНТ. В зависимости от геометрии УНТ их электрические свойства могут меняться от диэлектрических до металлических без введения дополнительной примеси. Механическая прочность УНТ превышает прочность стали в десятки раз. В настоящее время фуллерены и углеродные нанотрубки получают в результате каталитических химических реакций путём высокотемпературной деструкции графита, а также из метана, бутана, циклогексана и других углеводородов [2,3].

Исследованы структура, внутренние механические напряжения, электрические, адгезионные и коррозионные свойства плёнок, полученных при совместной конденсации различных металлов и фуллеренов.

Объём молекулы C₆₀ превышает атомный объём металлов в 12 - 14 раз. С другой стороны, размеры октаэдрических и тетраэдрических пор в решетке фуллерита соизмеримы с диаметром атомов металлов, поэтому атомы металлов могут располагаться в этих порах, не деформируя исходную матрицу C₆₀. Для ряда элементов установлено, что при определенных соотношениях концентраций образуются упорядоченные

фазы Me_xC_{60} или $Me_xO_yC_{60}$. При невысоких концентрациях молекул фуллерена C_{60} в матрицах других элементов решающую роль играют концентрационные напряжения, вызванные существенным различием размеров атомов металла и молекул фуллерена.

Тонкие пленки, содержащие углеродные нанотрубки, даже в небольших количествах (менее 1%), существенно меняют их свойства. Установлено, что углеродные нанотрубки выполняют структурирующие и армирующие функции. Разработаны новые композиционные материалы, содержащие углеродные нанотрубки, обладающие повышенными механической прочностью и износостойкостью.

К настоящему времени определился ряд направлений, в которых содержащие УНЧ материалы уже сегодня могут выдерживать конкуренцию не только по качеству, а и по стоимости. Это активные элементы сенсоров, устройства нанoeлектроники, нано- и микромеханики (и электромеханики), покрытия (в том числе, биомедицинского назначения).

В докладе делается акцент на физические и химико-физические свойства пленок, содержащих углеродные наночастицы, которые своей уникальностью дают основания для их использования в различных областях науки и техники.

1. Сидоров Л.Н., Юровская М.А. Фуллерены. М.: МГУ 688 с. (2004).
2. Витязь П.А., Жданок С.А., Шпилевский Э.М. Вещества и материалы на основе углеродных наночастиц // *Фуллерены и фуллереноподобные структуры. Сб. науч. статей.* Минск: ИТМО НАН Беларуси, сс 3-14. 2005.
3. Шпилевский Э.М. Фуллерены – новые молекулы для новых материалов // *Инженер – механик*, 3, сс. 1-8 (2006).

Квантове тунелювання лінії блоха в тонких магнітних плівках з одноосною магнітною анізотропією

А.П. Шпак¹, А.Б. Шевченко¹, Ю.А. Куницький²

¹*Інститут металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України, Київ, Україна*

²*Технічний центр НАН України, Київ, Україна*

Вивчення субструктурних мікро- та наноутворень доменної стінки (ДС) в тонких одноосних магнітних плівках з сильною магнітною анізотропією являє собою одну із актуальних задач сучасної нанофізики. Інтерес до цієї тематики обумовлено як необхідністю подальшого розвитку теорії ДС зі складною внутрішньою структурою так і принциповою можливістю використання субструктурних неоднорідностей ДС в якості носіїв інформації в запам'ятовуючих пристроях з надвеликою густиною магнітної пам'яті та високими службовими характеристиками (механічна

та радіаційна стійкість, енергонезалежність). У цьому контексті особливе місце займає дослідження локалізованих областей ДС, які розділяють ділянки ДС з протилежними напрямками намагніченості, котрі називають блохівськими лініями (БЛ). Останні в свою чергу, в силу досить малих розмірів ($\sim 10^2 \text{nm}$) та “квазічастинкових” властивостей являють собою мезоскопічні об’єкти, що потребують врахування квантових ефектів при їх дослідженні. Одним із таких ефектів, який характеризує взаємодію БЛ з зовнішніми магнітними полями та неоднорідностями плівки, виступає тунелювання БЛ, зокрема тунелювання БЛ через дефект, що обумовлює поле в площині плівки. Розгляд цієї задачі доцільно провести для БЛ в ДС циліндричного магнітного домену, оскільки саме такі домени, разом з полосовими збираються використовувати в перспективних запам’ятовуючих пристроях. Виходячи з Лагранжевого формалізму для опису динаміки БЛ в доменній стінці ЦМД, на базі ВКБ методу, можна отримати, що ймовірність тунелювання БЛ визначається спектром коливань домену. При цьому показник експоненти тунелювання $V \leq 30$, що свідчить про можливість здійснення даного квантового ефекту [1]. Зазначимо, що сам процес тунелювання відбувається за рахунок квантових флуктуаційних переміщень малих ділянок БЛ. Температура T_{cr} (температура кросовера) переходу від термоактивованого до квантового режиму руху БЛ для домену, стан якого близький до стану еліптичної нестійкості, для типових феріт-гранатових плівок складає $10^{-3}-10^{-2} \text{K}$ (субгелієвий діапазон температур). Врахування в процесі тунелювання взаємодії БЛ з системою теплових збуджень кристала призводить до збільшення T_{cr} .

1. Chudnovsky E.M., Iglesias O., Stamp P.C.E. // *Phys.Rev.* В. **46(9)**, pp. 5392-5404 (1992).

Особливості ВАХ структури Al -наноплівка CeO_2 -Al

Ющенко А.В.¹, Рибак В.В.¹, Ільченко В.В.²

¹Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна

²Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, Київ, Україна

В останній час спостерігається підвищена цікавість до дослідження наноструктурованих плівок оксидів металів, що пояснюється перспективністю їх застосування в газочутливих сенсорах. Також важливо, що результати цих досліджень сприятимуть розвитку теорії відгуку переносу зарядів по наноплівках і через контакти метал – наноплівка на зміну газового середовища в якому знаходиться наноплівка [1].

Дана робота присвячена вивченню електропровідності наноплівок CeO_2 і проходженню основних носіїв заряду через контакт Al –наноплівка. Об’єктами дослідження були наноплівки і металеві контакти. Наноплівки

одержували методом вибухового випаровування дрібнодисперсного порошку CeO_2 на пластини електротехнічного кремнію, а металеві контакти – методом термічного випаровування. Механізми переносу заряду по структурі вивчалися методом ВАХ.

Встановлено, що ВАХ структури Al – наноплівка CeO_2 – Al мають нелінійний характер і утворюють петлю коли величина струму через контакт перевищує деяке граничне значення струму. При зменшенні величини напруги, прикладеної до структури Al – наноплівка CeO_2 – Al, крива ВАХ носить стабільний характер і не залежить від часу вимірювання влюбій точці залежності. При збільшенні величини напруги на структурі від нуля до граничного струму гілка ВАХ повторює ВАХ, яку одержали при зменшенні величини напруги, і йде вище при струмах, що перевищують величину граничного струму. При збільшенні величини напруги на структурі, що вивчається, ВАХ має нестабільний в часі характер і наближається до гілки ВАХ, яку одержали при зменшенні величини напруги. Це наближення спостерігається при збільшенні часу вимірювання в кожній точці.

Результати дослідження вказують на те що по наноплівці CeO_2 протікають Пул–Френкелевські струми і перенос заряду через бар'єр Шоткі відбувається як завдяки тунелюванню через ОПЗ наноплівки, так і завдяки надбар'єрному переносу. Зменшення площі петлі ВАХ при збільшенні часу вимірювання ми пояснюємо рекомбінацією вільних електронів, які інжектуються із катода в наноплівку.

1. Yushchenko A.V., Ilchenko V.V., Shmyryeva A.N. *The response of the heterostructure nanoscale layer CeO_2 - p - Si to the gas ammonia environment "Electronics and Applied Physics"* Kiev, Ukrainian.-P. 100-101 (2005).

Thermal-Stress Effects on Nonlinear Thin Film Waveguide Sensors

Abu Tair G.¹, Sahabt M.M.^{2,1}, Abadla M.M.³, El-Khozondar H.H.J.⁴

¹Physics Department, IUG University, Gaza, Palestinian Authority

²Max Planck Institute for the Physics of Complex Systems, Dresden, Germany

³Physics Department, Al-Aqsa University, Gaza, Palestinian Authority

⁴Department of Electrical and computer Engineering, IUG University, Gaza, Gaza Strip, Palestinian Authority

Optical thin films waveguides exhibit a number of interesting properties which have been investigated over the last years due to their application in Nano-technologies [1-6]. A great attention is nowadays paid to optical waveguide sensors because they offer many advantages such as: small size and capability of performing multi-functional [1-6]. Optical sensors are also very

important components for the measurement of biological, physical and chemical quantity as detecting the concentration of certain chemical blood. Since then, varieties of sensors have been developed and theoretical analysis of novel devices has been proposed. Most of the studies has focused on such waveguide sensors, that have three layers in which all layers are linear media. Abadla, Shabat et al. [4,5] have investigated the properties of nonlinear waveguides. Huang [6] studied the effect of thermal-stress on three layers linear waveguide sensors. He introduced temperature sensitivity and studied the effect of various kinds of stresses on performance [6]. In the present work we extend the previous work to investigate the thermal and stress effects on the nonlinear waveguide sensors consisting of linear dielectric film, bounded by nonlinear cover and substrate. The dispersion relation of proposed waveguide thin film structure has been derived and the numerical calculation is carried out. The effect of thermal-stress and stress has been studied, then the temperature sensitivity is measured. The results were simulated and presented in graphical form. The temperature sensitivity of optical waveguide structure could be controlled by thermal-stress and by stress.

1. Pigeon F., Jourlin Y., Parriaux O. // *Thin Solid Films*, 394, cc. 237-241 (2001).
2. Horvath R., Pedersen H.C., Skivesen N. // *App. Phys. Lett.* 81, 12, 2166, (2002).
3. Veldhuis G.J., Parriaux O., Lambeck P.V. // *Optical comm.*, 163, pp. 278-284 (1999).
4. Abadla M., Shabat M.M., Jäger D. // *J.Laser Phys.* 14(12) pp. 1524-1528 (2004)
5. Abadla M., Shabat M.M., Jäger D. // *J.Laser Phys.* 14(12) pp. 1539-1543 (2004)
6. Hung M., Yan X. // “*J.Opt.Soc.Am.B*”, 20(6), pp. 1326 – 1333 (2003).

Optical properties of CdS- AND ZnS-passivated CdSe quantum dots in gelatin films

Dzhagan V.M.¹, Valakh M.Ya.¹, Raevskaya A.E.², Stroyuk A.L.²,
Kuchmiy S.Ya.², Zahn D.R.T.³, Schulze S.³

¹*Lashkarev Institute of Semiconductor Physics of Nat. Acad. Sci. of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

²*Pysarzhevski Institute of Physical Chemistry of Nat. Acad. Sci. of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

³*Institut für Physik, Technische Universität Chemnitz, Chemnitz, Germany*

Optical properties of gelatin films hosting 3 ± 0.5 nm CdSe nanocrystals (NCs), CdSe/ZnS and CdSe/CdS “core-shell” nanostructures have been investigated. The polymer-embedded CdSe NCs reveal narrow excitonic photoluminescence (PL) band at 2.26 eV and broadened “defect” PL band centered at about 1.8 eV originating from the radiative recombination with the participation

of NCs surface states. It has been found that the passivation of the CdSe NCs surface with a cadmium or zinc sulfide layer results in a “red” shift of both the absorption threshold and the excitonic PL band, substantial quenching of the “defect” emission, and growth of the excitonic PL intensity by a factor of 1.5-5. Effects of the nature of a passivating layer, its thickness and deposition sequence on the parameters of the excitonic PL band of CdSe NCs have been discussed.

Raman spectra of gelatin-embedded CdSe, CdSe/ZnS and CdSe/CdS NCs have been analyzed. Non-passivated CdSe NCs reveal LO vibration band at 206.6 cm^{-1} while a new peak at 280 cm^{-1} arises in the Raman spectra of CdSe/CdS nanostructures reflecting the formation of a CdS layer. A deviation of these peak positions from the values well-known for bulk CdSe (210 cm^{-1}) and CdS (305 cm^{-1}) has been interpreted in terms of the phonon confinement both in CdSe NC and in a thin passivant layer. An influence of the elastic interaction between the CdSe “core” and CdS shell with different lattice constants as well as the interdiffusion on the “core”-“shell” interface upon the frequency of the phonon peaks has been discussed.

Laser pulse irradiation of amorphous diamond-like carbon films

Grigonis A.¹, Medvid A.², Rutkūniene Ž.¹, Tribandis D.¹, Laurikaitiene J.¹

¹*Physics Department, Kaunas University of Technology, Kaunas, Lithuania*

²*Riga Technical University, Riga, Latvia*

Amorphous hydrogenated carbon films *a*-C:H of a thickness up to 250 nm were formed on Si (100) and (111) wafers by a direct ion beam deposition method. Before deposition, the substrates were cleaned for 1 to 10 min by hydrogen plasma. The films were formed from acetylene and hexane or a gas mixture of acetylene and hydrogen, hexane and hydrogen. The following deposition conditions were used: ion energy 1000 eV, ion current density $\sim 0.12\text{ mA/cm}^2$, pressure below 10^{-2} Pa , deposition duration 30 min. The samples were irradiated in a scanning mode with the step $25\text{ }\mu\text{m}$ by second harmonic ($\lambda = 532\text{ nm}$) of a Q-switched YAG:Nd laser with pulses of duration $\tau = 10\text{ ns}$ and repetition rate 12.5 Hz. Diameter of the laser beam spot was 2.5 mm at height $1/e^2$. The intensity of laser pulse was varied in the range $1.8 - 10.2\text{ MW/cm}^2$.

The depth distribution of C and impurities were measured by Rutherford backscattering (RBS) technique, the hydrogen concentration was determined by elastic-recoil detection (ERD). The optical properties *a*-C:H films were studied by Raman scattering (RS), infrared (IR) spectroscopy, null- and spectroscopic ellipsometry (SE). Morphology was determined by scanning electron microscopy (SEM).

The structural and optical investigations of laser-irradiated silica-coated *a*-C:H films formed on Si substrates have shown that the films containing a higher hydrogen content were more sensitive to irradiation of nanosecond laser pulses. The laser irradiation leads to graphitization of *a*-C:H films and formation

of glassy carbon. Glassy carbon did not occur in *a*-C:H films with a higher amount of sp³-type C-C bonds. As a result of laser irradiation, SiC and diamond-like nanocrystals were also formed.

Excess of nonequilibrium charge carriers due to heating by electric fields in thin films.

Gurevich Yu.G.¹, Logvinov G.N.², Titov O.Yu.¹

¹*Departamento de Física, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, México, DF, México*

²*Instituto Politecnico Nacional, Sección de Investigación y Posgrado (Unidad Culhuacán), México D.F., México.*

It is shown how the total electric current in a semiconductor thin films is modified due to heating of the carrier systems by a dc electric field. The change of the carrier concentration in the conduction and valence bands due to heating plays an important role in the transport of the electron and hole systems. The dependence of the capture factor on hot electron temperature leads to extra nonlinearity of the kinetic coefficient in the current–voltage characteristic curve even when the electron mobility is independent of the electron temperature. This additional nonlinear term in current density has never been considered in standard classical theory of hot electron transport. This extra nonlinear term is of the same order as those of the nonequilibrium energy of carrier contribution.

Properties of InAs Nanoclusters Formed in Si by High-Fluence Ion Implantation

Komarov F.¹, Vlasukova L.¹, Milchanin O.¹, Wesch W.², Kamarou A.², Grechnyi S.¹, Mudryi A.³, Ivaniukovich A.³

¹*Belarusian State University, Minsk, Belarus*

²*Institut für Festkörperphysik, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Jena, Germany*

³*Solid and Semiconductor Physics Institute of National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus*

The synthesis of InAs nano-sized crystalline precipitates in silicon by means of the high-temperature implantation of As⁺ (245 keV, 5x10¹⁶ cm⁻²) and In⁺ (350 keV, 4.5x10¹⁶ cm⁻²) and effects of post-implantation annealing were investigated. RBS, SIMS, TEM/TED, RS and PL techniques were used to characterize the implanted layers. The areal density of the precipitates equals about of 1.2x10¹¹ cm⁻². Most of the crystallites are from 2 nm to 8 nm large.

The annealing of the implanted samples causes the formation of several layers separated from each other at subsurface area of Si. The layer of microtwins is located in the depth range of 50-100 nm. The layer of precipitates is situated beneath the microtwins layer at the depths range from 100 to 350 nm.

Under the layer of precipitates the region without any structural defects and clusters is located. The second defect layer with the dislocation type defects is disposed at the depth of about 500 nm.

A broad line at 1.3 μm is found in low-temperature PL spectra of (As+In) implanted and annealed silicon crystals. This line may be attributed to the InAs nanocrystals and DAP recombination between In and As which occupied substitutional sites in Si lattice. It is necessary an additional study to clear the nature of this signal.

We have not registered any significant effect of swift Au^+ ion irradiation (593 MeV, 1×10^{11} and 1×10^{12} cm^{-2}) on a precipitation in (As+In)-implanted crystalline Si.

Physical and Technological Properties of The Sensor Materials Based on Conjugated Polyaminoarenes

Konopelnyk O.I.¹, Aksimentyeva O.¹, Tsizh B.R.^{2,3}, Chokhan M.I.²

¹*Ivan Franko Lviv National University, Lviv, Ukraine*

²*Stepan Gzytsky Lviv National Academy of Veterinary Medicine, Lviv, Ukraine*

³*Kazimier Wielki University in Bydgoszcz, Bydgoszcz, Poland*

Conjugated polyaminoarenes such as polyaniline and its derivatives have a potential technological application in chemical power sources, electrochromic displays and recently attract a great attention as sensor materials [1,2]. The rate and mechanism of charge-transport in sensor materials based on polyaniline and its derivatives are connected with their functions, particularly, sensitivity to certain type of physical and chemical influence.

The physical and technological properties (temperature dependence of conductivity, thermal stability, optical spectra and structure) of the new sensor materials based on conjugated polyaminoarenes such as polyaniline and its derivatives have been studied in temperature interval 273-773 K. The temperature dependence of specific volume resistance demonstrate the behavior typical for organic semiconductors, however the molecular structure of polymer has a strong effect on the activation energy of conductivity (1,5-1,6 eV for polyaminohenols, 0,49 eV for polyaniline and 0,88 eV for poly-*o*-toluidine). Change of inclination in temperature dependence in compared with main extrema of thermogravimetric curves possible entailed by transformation of molecular structure and beginning of polymer thermal decomposition. The optical spectra of polymer films exhibit an interesting temperature behavior in the range 293- 473 K [3] connected with thermochromic transitions.

By the X-ray powder diffraction it has been found that polyaminoarenes are amorphously crystalline materials with content of crystalline phase from 20-22 (undoped polyaniline, poly-*meta*-aminophenol) to 40-44 % (poly-*ortho*-aminophenol, doped polyaniline). Dimensions of crystallites are 15-25 Å. The character of temperature dependence of conductivity, optical spectra and thermal

stability are determined by molecular structure of polymer chain and kind of acid used for polymer doping.

1. Heeger A. // *Synth.Metals*. **125**, pp. 23-42 (2002).
2. Aksimentyeva O., Konopelnyk O., Grytsiv M., Stakhira P., Cherpak V., Fechan A. // *Sensors & their Application XII: 2-4 September*. Limerick, Ireland. P.24 (2003).
3. Konopelnik O.I., Aksimentyeva O.I., Martynyuk G.V. // *Molec.Cryst.Liq.Cryst.* **427**, pp. 37-46 (2005).

Nanostructured Thin Films based on $A^{II}B^{VI}$, $A^{III}B^{VI}$ and $A^{IV}B^{VI}$ Semiconductors

Lashkarev G.V.

Institute for Problems of Material Science, Kyiv, Ukraine

Zinc oxide is a prominent wide gap direct band semiconductor for UV and blue lasers, light-emitting diodes, UV detectors, solar cells, electron field emitters and transparent thin film transistors. ZnO nanostructured films were deposited by PEMOCVD, magnetron sputtering (MS) and reactive thermal evaporation on sapphire (0001) and SiN_x/Si . ZnO nanostructures were grown on Si substrates out of gas phase. The photoluminescence (PL) of ZnO films deposited by PEMOCVD and MS were studied. Optical excitation was carried out by femtosecond laser $Al_2O_3:Ti$.

Influence of film texture on PL spectra of ZnO film deposited on sapphire substrate was revealed. For ZnO (110) film grown on the c-plane $Al_2O_3(0001)$ the misfit between identity periods of a film and a substrate is small (0.08 %), what leads to good interface and crystal quality of ZnO film in this case and thus to strong UV PL. In opposite case for ZnO (002) film grown on the same c-plane of $Al_2O_3(0001)$ the large misfit (18 %) deteriorate crystal quality leading to low UV PL. The film $ZnO/SiN_x/Si$, revealed the most intensive near band emission (symmetric peak at 3.27 eV) due to the recombination of free excitons without any PL related to defects (DLE). It proves the high crystal quality of ZnO films. However, ZnO on Si (100), Si (111), grown within the same experimental conditions display weak UV PL and intense broad DLE. The annealing, in most cases leading to improvement of UV PL, in our case degrade the UV PL and leads to DLE. This can be explained by diffusion mechanism which eventually impair stoichiometry of films. As-grown ZnO films deposited by reactive thermal evaporation and from the gas phase by carbothermal reduction process demonstrate DLE due to interstitials zinc and oxygen ions. Post-grown annealing of this films improves UV PL but do not suppress DLE. Thus high quality films for optoelectronic applications can be deposited on sapphire and SiN_x/Si substrate at certain conditions.

Volt-Ampere characteristics of emission current were undergone to Fauler-Nordgeim law. Two parts of curve with different slopes are observed for nanostructures grown from gas phase. Repetition of measurements led to lowering of threshold emitter electrical field E_{th} from $9.3 \cdot 10^5$ V/cm to $6 \cdot 10^4$ V/cm. It testifies to additional forming of nanoemitters during their study. E_{th} is close to ones of diamond and diamond-like films. Improvement of electron emission from Si tips covered by ZnO films was confirmed and is due to lowering of work function (from 4.15 eV for Si tips to 2.9 for Si coated tips). The improving of the emission current stability for the Si structures after ZnO coating is also observed. Density of emission current from ZnO nanostructures achieves 0.6 mA/cm^2 at electric field $E=2.1 \cdot 10^5$ V/cm testifying the ability of ZnO to be used in panel displays as effective cold cathodes.

The use of Hot Wall Epitaxy technology for $A^{IV}B^{VI}$ QDs growth was proposed by us for the first time in 2003 (G.Lashkarev et al. Proc. of the E-MRS Spring Meeting, Strasbourg, 2003). This method allows to grow semiconductor layers in the conditions close to thermodynamic equilibrium at low supersaturation of vapor phase and to realize the independent control of growth temperature and supersaturation at the condensation area. The analysis of mass transfer processes has shown that QDs growth occurs by Volmer-Weber mechanism without formation of wetting layer. The growth rate out of the molecular flow is $(0,01 \div 0,1)$ ML/s what is comparable with parameters of MBE growth $(0,05 \div 0,15)$ ML/s. The effect of substrate deformation on parameters of PbTe/BaF₂ QDs ensemble was studied.

It was supposed that dislocations appear on BaF₂ side opposite to the loaded side. Then single atom steps (\sim several Å) are created in the places of intersection of sliding planes (100) with the surface of BaF₂ (111). The volume of PbTe QDs deposited on the nondeformed substrate exceeds ~ 5 times the volume of PbTe, deposited in the case of deformation. The latter increases the barrier for surface diffusion.

In the conditions of low vapor supersaturation in the area of condensation and under plastic deformation of substrate the dense ($\sim 10^{11} \text{ cm}^{-2}$) uniform QDs population was formed. It relates to a creation of sliding steps and to an effect of deformation on kinetic processes on substrate's surface.

At the study of single crystal surface of InSe by AFM contact mode in an air the formation of a new phase was observed in the form of hillocks. The repetition of scanning by the probe has resulted in an appearance of new structures. Then the scanning field, which includes the previous one, was increased. The earlier scanning field has considerably more large density of new phase. An altitude of hillocks achieved 0,7 nm. The further scanning increases density of hillocks, without increase of their altitude. The similar phenomena were observed on GaSe samples. The differences consist only in the more sharp form of hillocks, instead of smoothed form for InSe. The hillocks altitude achieve a size of 1,4 nm. The results can be connected with layer lattice

structure of InSe and GaSe. A surface atomic layer in both materials is selenium one. It is possible to assume, that the selenium vacancies, formed owing to disturbance of a surface layer by the probe, are nucleus of formation for oxygen complexes. The principal possibility of quantum structure growth by the help of Atomic Force Microscope is shown.

Nonlinear Electrical Properties of p - n Heterostructures Based on Ferromagnetic Fe_3O_4

Lisauskas V., Vengalis B., Šliužienė K., Butkutė R.

Semiconductor Physics Institute, A. Goštauto 11, LT-01108, Vilnius, Lithuania

In this work, we report the results of preparation and investigation of p - n structures consisting of p -type Fe_3O_4 layers grown on and n -type conducting ITO layers, n -type $\text{SrTiO}_3\langle\text{Nb}\rangle$ and Si substrates.

High crystalline quality Fe_3O_4 thin films were deposited *in-situ* by a reactive dc magnetron sputtering from metallic Fe target at $T = 350\div 450$ °C. The growth was performed at a fixed Ar : O_2 gas mixture, keeping partial oxygen pressure of 0.16 Pa. The thickness of films varied from 30 to 600 nm.

ITO thin films with thickness ranging from 200 to 500 nm were prepared on YSZ(100) substrates by sputtering of In-Sn (91:9 alloy) target. Temperature of the substrates during film growth was kept at $250\div 600$ °C. Sputtering was performed in Ar : O_2 gas mixture (4:1) at pressure of about 5 Pa.

Crystalline structure and surface quality of the films were studied by X-ray diffraction (XRD), high-energy electron diffraction (RHEED), scanning electron microscopy (SEM) and atomic force microscopy (AFM). Transport properties of the heterostructures were investigated in a wide range of temperatures by applying four point-probe method. Three point-probe method (current perpendicular to plane geometry) was applied to investigate the interface resistance and the I - V dependencies. The method enabled one to study electrical transport through the p - n interface between p - and n -type layers. The heterostructures exhibited nonlinear current-voltage characteristics at 78 K. A model based on built-in electrical field and redistribution of carriers at the interface was undertaken to explain rectifying behavior and nonlinear I - V characteristics of the heterostructures.

Stimulated self-aligned technology fabrication of the thin films with imbedded semiconductor nanocrystals.

Litovchenko V.G.

Semiconductor Physics, National Academy of Science of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Preparation of the semiconductor nanocluster embedded in insulator media, including nano-SOI structures, becomes during last time very popular

approach as flexible and economy technology in spite of vacuum (molecular beam, plasma deposition etc.) expensive procedures. Nevertheless principal disadvantage of the mention technology is size scattering of prepared nanostructures, which lead to homogeneous parameters and definite no reversibility of technique. We present economy method of preparation nano-SOI structures with reproducible parameters. The main point of that approach is introducing (by regular way) the centers of nucleation of semiconductor cluster into metastable semi nucleation phase (in particular, SiO_x , $x>1$), and applies subsequent heating procedure (by rapid-thermal or ordinary annealing). Last lead to decomposition of SiO_x composite:

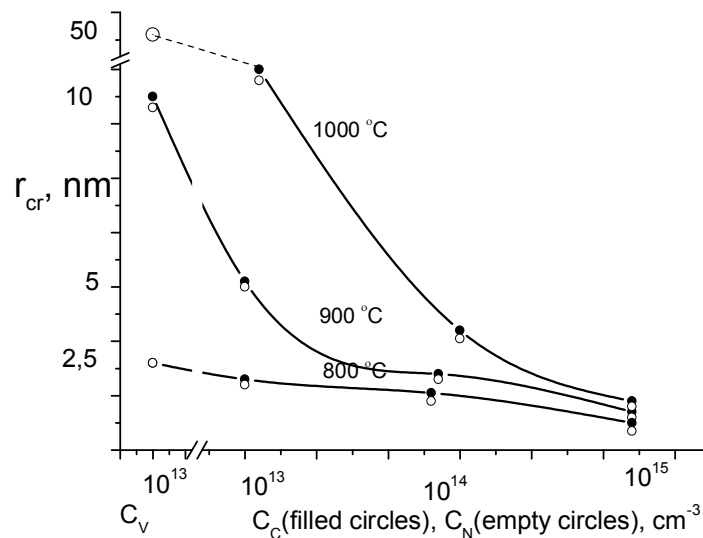
In particular, vacancies or small size atoms act as center of nucleation of Si, SiC or other semiconductor nanoclusters. These nano-SOI structures demonstrate good luminescence, effective field emission and nonvolatile memory parameters. $\text{SiO}_x + nV(+C^+; N^+; Ar^+) \rightarrow m \text{SiO}_2 + N\text{Si}$

The theoretical estimation of the size of nanoclusters r_{cr} in dependence of the implementation introduced by small atoms C, N, H, (or vacancies C_V) indicate the interval of possible obtained size of nanoclusters in SiO_2 deposited on Si substrate in frame 1 to 10^2 nm when change NV from 10^{13} to 10^{16} cm^{-3} (Fig. 1.) in accordance with theory Claes-Van Hellemont:

$$r_{cr} = 2\tau_s / (\Delta G_{ch} - \Delta G_{elast}) \sim \ln \left(\frac{C_V^0}{C_V} \right)^\beta$$

$$\Delta G_{ch} = ((1-\varepsilon)^{-3} xkT / \Omega_{Si}) \cdot \left[\ln \cdot \frac{C_{Si}}{C_{Si}^0} \cdot \left(\frac{C_V}{C_V^0} \right)^\beta \cdot \left(\frac{C_I}{C_I} \right) \right]$$

The initial stage of nanostructure creation was considered within kinetic quasichemical reactions.



The theory was compared with experimental data obtained under implantation Si^+ and C^+ ions into SiO_2 films.

Hyper Sensibility of The Dissipative Structures and Self-Organizing Processes in Non-Crystalline Materials

Mar'yan M.I., Szasz A.¹

Uzhgorod National University, Uzhgorod, Ukraine

¹*St. Istvan University, Godollo, Budapest, Hungary*

The investigation of the hyper sensibility and self-organizing processes at transition to the non-crystalline state and under the influence of external fields (electromagnetic radiation, temperature field) in non-crystalline materials of $As-S(Se)$, $Ge-As-Te$ systems is devoted. It was shown that such a dissipative structure with the hyper sensibility is formed under influence of electromagnetic radiation ($\Lambda = 0.63 \mu m$) at density $P \geq P_{min} = 1 \text{ mW} / \text{sm}^2$ in amorphous materials of $As-S(Se)$ systems. That can be used for creation of sensor controls on the basis of self-organizing processes: dissipative structures with the period of spatially inhomogeneous $L_c \approx (10^{-2} \div 5) \mu m$, the time of life $\tau_{life} \approx (10^{-5} \div 10^2) s$ are found out [1]. Computer modeling of the dynamics of distribution function for clusters dimensions of the soft atomic configurations in non-crystalline materials is performed. The formation of the clusters with number of atoms in soft configurations $x_{max} \approx 15 \div 30$ and their spatial arrangement in appearance of linear or radial-annular structure in dependence on geometry of the beam of electromagnetic radiation is predicted. Shown a possibility of the change parameters of dissipative structures both by chemical composition and by parameters of electromagnetic radiation. The deposit of dissipative structures in dynamic constituent of optical record, associated with forming of heterogeneous structure of clusters distribution of soft configurations at the time of life $\tau_{life} \approx (10^{-5} \div 10^{-1}) s$ and by modulation of absorption coefficient $\delta\gamma \approx (10^{-3} \div 4 \cdot 10^{-2}) \gamma_0$, where γ_0 is absorption coefficient to irradiation, are determined.

The nature of the bifurcation process of transition to a non-crystalline state on the basis of the theory of neural networks are analysed at influence of velocity cooling. The structure bifurcation process of transition and functional dependence of structural-sensitive parameters f on velocity of cooling q in the form $f \approx q^{d_f}$ ($d_f = 0.631$ is fractal dimension) are identified.

1. Mar'yan M., Szasz A., Szendro P., Kikineshy A. Synergetic model of the formation of non-crystalline structures // *Journal of Non-Crystalline Solids.* – **351**(2), pp. 189-193 (2005).

Investigation of Physical Properties of Polymer Composition Layers on The Base of Aminostirole

Palistrant N.¹, Bivol V.¹, Robu S.¹, Barbu N.¹

Institute of Applied Physics, Academy of Sciences of Moldova, Chisinau, Moldova

New polymer compositions on the base of aminostirole (styrole: buthilmethacrylate:amynostyrole (ST:BMA:AST)) were obtained by us using the method of radical polymerization. ST:BMA:AST materials can be used as information storage media in the photonics, photolithography and holography. Irradiation improves the surface properties of polymers, such as mechanical, adhesive, chemical, optical [1-2].

In the present communication the light and γ -quantum induced modification of the mechanical, optical properties of several aminostirole-containing polymers and their dependences on radiation type and dose, filler content, thickness, ageing are investigated. The hardness and elastic modulus were determined using nano- and microindentation. Nano- and micro-hardness measurement of polymer compositions was complicated by the fact that the hardness of the material varies as a function of depth within the modified layers. The differential approach was used for analysis of hardness-load dependences. The radiation-induced structural changes result in an increase of the hardness and elastic modulus of the polymer layers up to 5 and 3 times, respectively. It was also shown that the influence of filler content, additives and thickness is essential. The conditions for improvement, degradation and stabilization of physical properties by different type of irradiation were established. Load and depth sensing indentation has shown itself as a powerful tool for an accurate estimation of mechanical properties of cross-linked amynostyrol-containing compositions on hard and soft substrates.

The special attention has been given to the investigations of forms and structures of imprints. For these investigations the scanned, optical and atomic force microscopy (AFM) images of the indentations were examined. It was obtained that prints remain plastic to the big loading. The hypothesis about the deformation mechanism of polymer composition is suggested.

1. Venkatesan T., Forrest S.R., Kaplan M.L., Murray C.A., Schmidt P.H., and Wilkens B.J. // *J. Appl. Phys.* 54 p. 3150 (1983).
2. Palistrant N., Meinhard H., Grau P., Bivol V., Robu S. SPIE Proceeding, Canada, 5581, Session 3, pp. 614-622 (2004).

Effect of near-surface oxidation on transport properties of IV-VI thin films

Rogacheva E.I.¹, Dresselhaus M.S.²

¹National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute", Kharkov, Ukraine

²Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA

This report reviews the present status of our studies on the effect of the near-surface oxidation on the transport properties of IV-VI (PbTe, PbSe, PbS, SnTe) epitaxial thin films exposed to air at room temperature.

It is known that oxidation affects the transport properties of lead chalcogenides because oxygen acts as an acceptor. Changing the film thickness d makes it possible to vary the contribution by the oxidized surface layer to the transport coefficients in a controlled way. By conducting measurements on freshly prepared epitaxial films at room temperature, one can exclude the role of diffusion processes considering oxidation as a near surface effect only and exclude effects associated with oxidation of the grain boundary regions.

The dependences of the electrical conductivity, Hall coefficient, carrier mobility, Seebeck coefficient, and thermoelectric power factor on the thickness ($d=2$ -500 nm) of IV-VI epitaxial thin films prepared by the thermal evaporation in vacuum and the deposition onto KCl or mica substrates were obtained.

Our studies showed dramatic property changes of the PbTe, PbSe, and PbS thin films depending on d , including a change in the sign of the dominant carrier type from n - to p -type for d below some critical value depending on the compound species and carrier concentration in the target material. A distinct similarity is observed in the behavior of the d - dependences for all compounds.

The experimental d - dependences were interpreted in terms of the acceptor states created by oxygen on the film surface and were calculated theoretically taking into account the existence of two types of carriers (electrons and holes) and using a two-carrier or a two-layer model. Models were based on the following assumptions: n -type carriers are present in the film before oxidation occurs; oxygen is concentrated near the surface and forms acceptor states; the contribution by holes to the conductivity is determined by the relative thicknesses of the oxidized layer and the total film d . The comparison of the theoretical calculations with the experimental data showed that at small d , the experimental results are in good agreement with a two-carrier model, while at larger d , they are better explained by a model which considers an oxidized film as a sandwich consisting of two layers with n - and p - types of dominant carriers.

Properties of SnTe thin films exposed to air at room temperature practically did not change. To all appearances, the existence in SnTe of high concentrations of non-stoichiometric cation vacancies and p -type charge carriers suppresses the oxidation processes, making thin films less susceptible to these processes.

New Progress in Laser Technologies FOR DESIGNING Semiconductor Nanostructures

Savchuk V.¹, Kotlyarchuk B.¹, Lesyuk R.²

¹*Lab. of Laser Technology in Material Science at the Institute for Applied Problems of
Mechanics and Mathematics, Lviv, Ukraine*

²*National University “L’vivska Politehnika”, Lviv Ukraine*

Semiconductor heterostructures will constitute the basic for nanoelectronic devices in the nearest future. However, as the microelectronic industry advances toward ever smaller devices, obviously that both physical and economic factors of current top-down semiconductor technologies will soon limit for further advancing. The designing of new types of nanostructures, the overcoming some principal limitations of existent technologies in the framework of manufacturing nanostructures and the developing of novel technological methods of their manufacturing are questions of vital importance now. But, the ratio “cost/efficiency” is the main technological impediment to progress in the development of nanotechnological methods, in the creation of future generations of the elemental base for nanoelectronics, and in the production of atom/molecule scale components. We made an attempt to develop effective, low-cost and competitive technology, which can enable to produce nanostructures on the basis of II-VI semiconductor thin films. At present, the Pulsed Laser Deposition (PLD) is a technology that is used in laboratory only and is largely forced the MBE and the MOCVD out of the industrial production.

In this article, we present main results and problems related to growth of nanostructures on the basis of II-VI semiconductor thin films, which were grown by PLD method. We determined that only PLD method can provide good preparation of nanostructures with following parameters: the stoichiometric relation of chemical components in individual thin films and the perfect crystal structure of individual thin films that are used at designing nanostructures; the smallest lattice mismatch ratio between of single films that can provide the strong defined borders between them with minimum quantity of growth defects; the possibility of choosing material with necessary physic parameters (bandgap, refraction index, electric conductivity value) and of regulating film thickness during the growth process of nanostructures. The main structural, optical and morphological properties of grown films and structures are described in functional depending on growth conditions, matter film and film thickness. The optimization of growth process for single thin films was carried out. The promising features of such objects for designing electronic and optoelectronic devices are discussed. Our results were compared to results that were obtained by both another authors and methods.

Amorphous Chalcogenide Nanomultilayers for Photonics

Shiptyak M.¹, Kikineshi A.², Beke D.², Sangunni K.³

¹*Institute of Solid State Physics&Chemistry, Uzhgorod National University, Uzhgorod, Ukraine*

²*Institute of Physics, University of Debrecen, Debrecen, Hungary*

³*Institute of Physics, Indian Institute of Science, Bangalore, India*

Amorphous chalcogenide semiconductors are widely investigated and applied in optics and photonics due to the number of unique characteristics and peculiar effects: wide range of optical transparency, especially in the infrared, high optical nonlinearity, photoinduced changes of optical parameters, phase change memory. Besides the versatile functional properties these materials are relative cheap, can be produced by comparatively simple technology. Further enhancement of certain characteristics and new applications are expected due to the development of nanostructures, based on As(Ge,Sb,Bi)-S(Se,Te) materials and their combination with metals and dielectrics.

We have developed a number of nanolayered structures from the above mentioned materials, which consists of stacks 2-10 nm thick sub-layers with alternating compositions, deposited by vacuum thermal evaporation on special glass, sapphire, silicon substrata. Efficient interdiffusion in an acceptable time domains can be stimulated in these structures by laser irradiation, ion beams, current pulses, while the initial structures are stable in a normal environment conditions. The main result of these stimulated solid state processes is the well localised change of optical and electrical parameters (transmittance, refractive index, conductivity, permittivity) which in turn can be used for optical recording, surface pattern formation, memory devices. Special attention is focused on stimulated or self-organized process of surface transformations (special patterns, nano-dots, quantum structures). Since the nanomultilayers can be treated as nanocomposite media with changing effective dielectric constants and refractive index, they can be used for one-step fabrication of micro-lense arrays, waveguide structures, all optical switches.

Our investigations of optical transparency, refractive index, volume expansion, luminescence, non-linear effects in a number of Se/As₂S₃, Sb/As₂S₃, GeS/GeSe - type nanomultilayers support the applicability of such structures in photonics.

The Optical Parameters of The Organic Thin Films for The Xanthate Adsorption at The Surface of Some Natural Semiconductor Mineral

Todoran R., Todoran D.

North University of Baia Mare, Baia Mare, Romania

The paper presents the determinations of some kinetic parameters for the kinetics of the adsorption phenomenon of some organic xanthate molecule on the surface of some natural semiconductor mineral (galena, sphalerite) in order to understand the inward mechanism of this phenomenon.

Using the Kramers-Kronig formalism and with the aid of optical reflection spectra UV-VIS, we could calculate the following optical functions for the adsorption layers: the optical adsorption coefficient α ; the refraction index n ; the adsorption index k ; the effective valence number n_{ef} ; the real part ϵ_1 of the dielectric constant; the imaginary part ϵ_2 of the dielectric constant; the functions of the characteristic losses of the electrons $-\text{Im}\epsilon^{-1}$ and $-\text{Im}(1+\epsilon)^{-1}$; the effective dielectric constant ϵ_{ef} ; the function $\epsilon_2 E^2$. The experimental results allow us to get some information on the mineral-solution of xanthate, as well allow us to get some information on the parameters which, in correlation with other proportions experimentally determined – could have us to estimations of the dynamic of the surface of a semiconductor solid body.

1. Ace M. Baty, Peter A. Suci, Bonnie J. Tyler, and Gill G. Geesey J. of *Coll. and Interface Science*, 177, pp. 307-315 (1996).
2. D.E. Aspnes, *Optical Properties of Solids: New Developments*, B.O. Seraphin (North Holland, Amsterdam), 799 c. (1976).

**СЕКЦІЯ 1 (усні доповіді)
ТЕХНОЛОГІЯ ТОНКИХ ПЛІВОК (МЕТАЛИ,
НАПІВПРОВІДНИКИ, ДІЕЛЕКТРИКИ, ПРОВІДНІ
ПОЛІМЕРИ) І МЕТОДИ ЇХ ДОСЛІДЖЕННЯ**
8-11 травня 2007 р.

**SESSION 1 (oral)
THIN FILMS TECHNOLOGY (METALS,
SEMICONDUCTORS, DIELECTRICS, CONDUCTIVE
POLYMERS) AND THEIR RESEARCH METHODS**
May, 8-11, 2007

Деякі властивості наноплівки KNbO_3

Андреєва А.Ф., Касумов А.М.

*Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, Київ,
Україна*

Сегнетоелектричні плівки KNbO_3 перспективні для використання в електроніці, нелінійній оптиці, фоторефракційних приладах, тощо [1, 2].

В даній роботі представлені результати дослідження структури, електричних та оптичних властивостей наноплівки ніобату калію в залежності від її товщини h . При зменшенні h в плівках KNbO_3 зменшується розмір блоків когерентного розсіювання і спостерігаються такі фазові переходи: орторомбічна структура при $h \leq 80$ нм переходить в тетрагональну, а при $h \sim 26$ нм – в кубічну з періодом ґратки $a = 4.03$ нм. При цьому в плівках збільшується ширина забороненої зони E_g та зменшуються коефіцієнт заломлення n , діелектрична проникність ϵ та провідність σ (рис.1- 2).

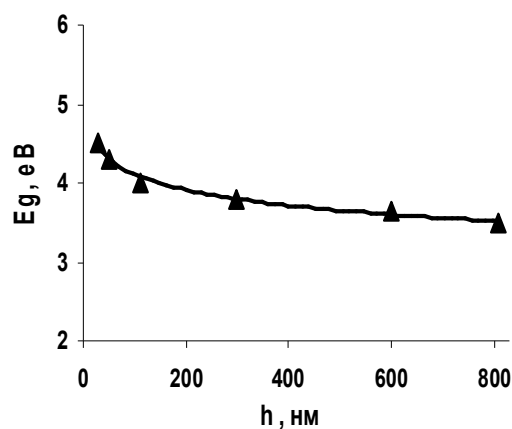
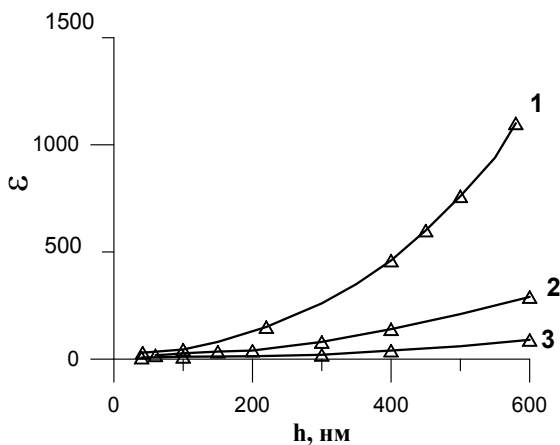


Рис. 1 Залежність ϵ від h плівок KNbO_3 (1-1 кГц; 2-10 кГц; 3-100 кГц)

Рис. 2 Залежність E_g від h плівок KNbO_3 .

Температурна залежність ε і σ плівок KNbO_3 в точках фазових перетворень характеризується наявністю максимумів при 435 і 220⁰С. Зі зменшенням h плівок висота максимумів знижується і при $h \sim 25$ нм максимум ε в точці Кюрі щезає. Таким чином, гранична товщина збереження доменної структури і сегнетоелектричних властивостей в плівках KNbO_3 , близька до 25 нм.

При зростанні E_g зі зменшенням h плівок KNbO_3 зберігається квадратична залежність коефіцієнту поглинання від енергії квантів падаючого світла, тобто оптичні внутризонні переходи залишаються прямими зі зменшенням товщини плівок KNbO_3 .

1. Кузьминов Ю.С. *Сегнетоелектрические кристаллы для управления лазерным излучением*. Наука. М. 400 с. (1982).
2. Андреева А.Ф., Касумов А.М. Диэлектрические свойства пленок KNbO_3 /Сб. Электронное строение и свойства тугоплавких соединений, сплавов, наносистем и их роль в физическом материаловедении, ИПМ НАН Украины. сс. 219-222 (2004).

Использование искусственных нейронных сетей для определения параметров нанорельефа поверхности полупроводников за данными метода полного внешнего отражения рентгеновских лучей

Баловсяк С.В., Фодчук И.М.

*Черновицкий национальный университет им. Ю. Федьковича
Черновцы, Украина*

Информация о параметрах нанорельефа поверхности при исследовании поверхности твердого тела методами рентгеновской рефлектометрии (методами полного внешнего отражения (ПВО) рентгеновских лучей) содержится в форме распределения интенсивности экспериментальных кривых. Трудности определения параметров рельефа заключаются в сложной зависимости распределения интенсивности экспериментальных кривых от микрогеометрии поверхности.

В данной работе проведена попытка определения параметров нанорельефа поверхности твердого тела из формы распределения интенсивности экспериментальных кривых ПВО с помощью искусственных нейронных сетей. Использовано трехслойную нейронную сеть, поскольку при меньшем числе слоев возможности сети существенно ограничены, а при большем числе слоев значительно увеличивается время расчетов. Для обучения сети применялся алгоритм обратного распространения ошибки. В качестве исходных данных для сети использованы экспериментальные значения интенсивности кривых ПВО

рентгеновских лучей в M точках (M нейронов первого слоя), полученные для нескольких образцов GaAs и SiO₂ при десяти значениях угла поворота образца относительно направления первичного пучка. Параметры микрогеометрии для данных образцов предварительно определены с помощью метода атомно-силовой микроскопии.

Проверка точности определения параметров нанорельефа тех же образцов проведена с помощью искусственных нейронных сетей для контрольной серии кривых ПВО.

Программа для моделирования нейронной сети создана в Delphi 6, обеспечивающая также нормализацию входных и выходных данных. Для количества точек на кривой $M \geq 200$ время обучения сети является достаточно большим. В таких случаях рекомендуется использовать динамическое добавление нейронов в слои 1 и 2. В начале обучения первый слой состоял из 8 нейронов, которые описывали 8 фрагментов кривой ПВО. В процессе обучения на каждом последующем этапе количество нейронов удваивалось, а на последнем этапе один нейрон соответствовал одной точке кривой. Последовательное увеличение количества нейронов значительно ускорило обучение сети. Определенные с помощью нейронной сети значения параметров (среднеарифметическая высота неровностей R_a , период неровностей T_m , спектр пространственных частот) находятся в диапазонах: $0,3 \text{ нм} < R_a < 4,4 \text{ нм}$ и $0,4 \text{ мкм} < T_m < 11,9 \text{ мкм}$.

Получение и исследование нанокристаллических и аморфных борсодержащих пленок на основе никеля

Бекиш Ю.Н., Цыбульская Л.С., Гаевская Т.В.

*НИИ физико-химических проблем Белорусского государственного университета,
Минск, Беларусь*

Нанокристаллические и аморфные пленки никель-бор с различным содержанием неметаллического компонента и толщиной от 1 до 50 мкм были получены методом электрохимического осаждения из водных растворов. В качестве поставщика бора были использованы соединения из классов высших борводородов и амин-боранов.

Результаты исследования показали, что природа и концентрация борсодержащих соединений оказывает существенное влияние на процесс формирования пленок, их химический и фазовый состав, структуру и морфологию, а также на физико-механические свойства. В случае высших борводородов параметром, характеризующим способность соединения выступать в качестве источника бора, является кинетическая устойчивость, то есть симметричность аниона, в случае нейтральных комплексов борана – прочность связи бор-азот.

Включение бора в никелевые пленки приводит к уменьшению

размеров кристаллитов от 30-40 до 4-7 нм, что свидетельствует о диспергировании структуры «металл-неметалл». Постоянство параметра кристаллической решетки никеля позволяет предположить, что бор сегрегирует на поверхности зерен металла, либо по границам зерен. Присутствие в электролите никелирования борсодержащего соединения оказывает влияние на начальные стадии формирования металлических пленок и морфологию поверхности. Никель кристаллизуется в виде четырехгранных пирамид. Поверхность нанокристаллических пленок никель-бор состоит из полусферических скоплений, т.е. отсутствуют элементы кристаллической структуры. При содержании бора более 14 ат.% пленки рентгеноаморфны, поверхность их более сглажена, границы раздела зерен менее четко выражены. Микрошлифы поперечного среза поверхности пленок никель-бор показывают, что с увеличением содержания в них бора структура от слоисто-столбчатой переходит к слоистой.

Проведенное исследование показало, что введение бора в никелевую пленку в концентрации 4-8 ат.% приводит к увеличению микротвердости от 2,4 ГПа для никеля до 5,5- 8,5 ГПа для нанокристаллических пленок и до 7,6 ГПа для рентгеноаморфных. Интенсивность весового изнашивания в условиях сухого трения уменьшается от 0,4 мг/м для никеля до 0,006-0,008 мг/м для пленок никель-бор.

Пленки никель-бор нашли практическое применение при изготовлении изделий преобразовательной и лазерной техники, СВЧ-приборов и др.

Одержання і властивості тонких плівок NaBiTe_2

Білозерцева В.І.¹, Гаман Д.О.¹, Д'яконенко Н.Л.¹, Мамалуй А.О.¹,
Хляп Г.М.²

¹*Національний технічний університет «ХПИ», Харків, Україна*

²*University of Technology, Kaiserslautern, Germany*

В роботі розглянута методика одержання структур $\text{Cr}/\text{NaBiTe}_2$, їх електричні властивості та вплив оксиду азоту атмосфери на морфологію та оптичні властивості плівок NaBiTe_2 – нових матеріалів для сенсорів.

Методом резистивного випаровування у вакуумі з підігрівом підкладки приготувані хромові контакти товщиною 10 – 20 мкм. З квазізамкненого об'єму, з швидкістю конденсації <0.5 нм/с, у вакуумі 10^{-3} Па були отримані тонкі плівки халькогенідних сполук NaBiTe_2 , які мали шорсткувату поверхню, мали добру адгезію до підкладки. Товщина отриманих плівок, яка контролюється за відходом частоти кварцевого п'єзодатчика, складала від 30 до 100 нм. Мікроструктура плівок та їх

фазовий склад досліджувались методами просвічувальної електронної мікроскопії з використанням мікродифракції електронів.

Електронімікроскопічні дослідження показали, що за швидкостями конденсації $\omega < 0,1 \text{ нм/с}$ плівки NaBiTe_2 мають однорідну дрібнокристалічну структуру. Збільшення швидкості конденсації призводить до порушення однорідності плівок – появи іншої фази з більшою густиною у виді нанорозмірних кристалів. До появи нанорозмірних кристалів також призводить прикладання електричного поля.

Після стабілізації електричних властивостей проведено вимірювання вольт-амперних характеристик (ВАХ) одержаних зразків. Виявлено, що у плівках NaBiTe_2 з хромовими контактами для усіх прикладених напруг від 0 до 300 В ВАХ симетричні та нелінійні. Починаючи приблизно з 5 В/мм струм встановлюється не водночас, а виходить на насичення через 30 секунд.

Необхідність дослідження морфології плівок пов'язана з адсорбційними властивостями. Кількість речовини, що адсорбується одиницею маси адсорбенту, значно більше у зразків, які мають шорстку поверхню. Для вивчення поверхні тонких аморфних плівок напівпровідників на скляних підкладках та аналізу стабільності морфології поверхні в процесі адсорбції газів використовувався метод атомно-силової мікроскопії (АСМ). Автоматична обробка інтегрального профілю поверхні, дозволила зіставити параметри шорсткості плівок з електричними властивостями, а також в початковому стані та після впливу атмосфери з домішками шкідливих газів. Показано, що атмосфера, яка містить оксид азоту, впливає на морфологію і властивості плівок NaBiTe_2 .

Методика визначення впливу зовнішніх і внутрішніх меж поділу на параметри електроперенесення та електрофізичні властивості плівкових матеріалів

Бритова А., Пазуха І., Проценко І., Синашенко О.

Сумський державний університет, Суми, Україна

Мета роботи полягає в розробці узагальнюючої методики аналізу впливу зовнішніх поверхонь та внутрішніх меж поділу (межі зерен і поділу окремих шарів(інтерфейси)) на електрофізичні властивості (питомий опір, термічний коефіцієнт опору (ТКО) та коефіцієнту тензочутливості (КТ)) та параметри електроперенесення (коефіцієнту дзеркальності зовнішніх поверхонь (p), розсіювання (R) і проходження межі зерен (r) та інтерфейсу (Q), термічні і деформаційні коефіцієнти вказаних параметрів). Для вирішення поставленої задачі нами пропонується використання ряду підходів і методик:

підхід де Врайса [1] на основі моделі Фукса для розрахунків сумарної величини $p+Q$;

підхід Бенерджії та ін. [2], Карсії і Суни [3] і теоретична модель Занга і Леві [4] для розрахунків відносного внеску в питомий опір плівкової системи інтерфейсного (на основі класичної моделі Фукса [3] та напівкласичних моделей Маядаса і Шатцкеса та Дімміха [2], модель на основі напівкласичного наближення Больцмана [4]) та зерномежевого (підхід [2] та методика [5]) розсіювання;

використання методики [5] для розділення внеску поверхневого і зерномежевого розсіювання електронів у величину ТКО і КТ;

використання методик, запропонованих нами, для розрахунку термічних і деформаційних коефіцієнтів для p , r і Q ;

теоретичної моделі [4] для розрахунку залежності опору інтерфейсу в залежності від його параметра дифузності.

У роботі приводяться результати розрахунків вказаних величин і коефіцієнтів, які ілюструють ефективність запропонованої методики.

1. J.W.C. de Vries. Interface scattering in triple layered polycrystalline thin Au/X/Au films (X=Fe, Co, Ni) // *Solid State Com*, **65**(3), p.201 – 204 (1988).
2. Banerjee R., Ahuja R., Swaminathan S. et al. Resistivity of Ti/Al multilayered thin films // *Thin Solid Films*, **269**, pp. 29-35(1995).
3. Carsia P.F., Suna A.. Properties of Pd/Au thin films layered structures // *J.Appl.Phys*, **54**(4), pp. 2000 – 2005 (1983).
4. Zang S., Levy P.M.. Interplay of the specular and diffuse scattering at interface of magnetic multilayers // *Phys.Rev.B*, **57**(9), pp. 5336 – 5339 (1998).
5. Проценко С.И., Черноус А.Н.. Методика разделения вклада зернограничного и поверхностного рассеяния в величину удельного сопротивления и ТКС металлических пленок // *ВАНТ. Серия Вакуум, чистые материалы, сверхпроводники*, **2**(10), сс. 107-109 (1999).

Структурні властивості тонких плівок Bi_2Te_3 і Sb_2Te_3

Вірт І.С.¹, Шкумбатюк Т.П.¹, Курило І.В.², Рудий І.О.², Линник Л.Ф.³

¹Дрогобицький державний педагогічний університет імені І.Франка, Україна

²Національний університет „Львівська політехніка”, Україна

³Інститут фізики напівпровідників імені В. Лашкарьова НАН України, Україна

Сполуки напівпровідників типу V_2VI_3 , завдяки їх високому коефіцієнту термоелектричного перетворення Z , відомі як матеріали для термоелектричних пристроїв. Зокрема, сполука Bi_2Te_3 відома на цей час як найкращий термоелектричний матеріал. Щоб одержати ще вищий коефіцієнт Z , Bi_2Te_3 сплавляють із Sb_2Te_3 або Bi_2S_3 , які також є сполуками V_2VI_3 з високою ефективністю перетворення. Високий коефіцієнт термоелектричного перетворення потрібних сплавів пояснюється

зниженням середнього вільного шляху фононів без одночасного зниження середнього вільного пробігу носіїв заряду в цьому матеріалі. Ці матеріали мають ідентичну структуру та атоми подібного типу. Тенденція мініатюризації термоелектричних пристроїв спонукає досліджувати не тільки властивості масивних зразків, але і властивості тонких плівок цих матеріалів.



Рис. 1. Електронограми плівок Bi_2Te_3 (а) і Sb_2Te_3 (б)

У цій роботі досліджували тонкі плівки Bi_2Te_3 і Sb_2Te_3 , отримані імпульсним лазерним осадженням у вакуумі. Сплави для виготовлення мішеней синтезували з суміші елементів Bi, Te, Sb. Структуру синтезованих мішеней досліджували за допомогою X-променевої дифрактометрії. Визначено сталі кристалічних решіток a і c ромбоєдричної структури. Мішені випаровували лазером Nd:YAG на підігріті до 200–300°C підкладки Al_2O_3 і NaCl. Параметри лазера: $\lambda \approx 1064$ нм; $E_{\text{max}} \approx 0.4$ Дж; $\Delta\tau \approx 10$ нс, частота слідування імпульсів $f \approx 1$ Гц. Структуру осаджених плівок досліджували за допомогою дифракції електронів високих енергій. Отримано плівки зі структурою мозаїчного монокристала завтовшки близько 0,5 мкм. Слід відзначити, що структура плівок Bi_2Te_3 є більш упорядкованою (рис. 1), ніж структура Sb_2Te_3 . Проведено дослідження електричних властивостей отриманих плівок. Вимірювання температурних залежностей питомого опору проводили в інтервалі температур 80 ÷ 300 К.

Поліпшення фоточутливості Si – сенсорів, виготовлених методом акустостимульованої імплантації йонів B^+ та As^+

Голтв'янський Ю.В., Мачулін В.Ф., Оліх Я.М., Попов В.Г., Романюк Б.М.

*Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є.Лашкарьова НАН України, пр. Науки 45,
Київ, Україна*

Загальний розвиток кремнієвої технології спрямований на зменшення розмірів окремих елементів конструкції приладів для збільшення ступеня інтеграції і покращення параметрів напівпровідникових виробів. Для поліпшення характеристик сенсорів випромінювання в ультрафіолетовій (УФ) області спектру необхідно вирішити задачу зменшення глибини залягання легованого шару в кремнії з одночасним збільшенням ступеню активації домішок. У даній роботі

розвивається новий підхід - використання ультразвукової (УЗ) обробки Si-пластин під час імплантації. Були виготовлені кремнієві фотодіодні структури (площею $20 \times 10 \text{ мм}^2$ і товщиною 500мкм), з використанням акустостимульованої йонної імплантації, на кремнієвих пластинах p- типу (КДБ – 40 <100>) і n- типу (КЭФ-30 <100>) провідності. В якості легуючих домішок при формуванні p-n переходу в першому випадку використовувався As^+ ($E=40 \text{ кеВ}$, $D=1 \times 10^{15} \text{ см}^{-2}$, відпал при $T=900^\circ\text{C}$, $t=30 \text{ с}$ в Ar), а в другому – B^+ ($E=35 \text{ кеВ}$, $D=1,25 \times 10^{15} \text{ см}^{-2}$, $T=1000^\circ\text{C}$, $t=10 \text{ с}$). Виготовлено дві групи зразків з УЗ обробкою ($f = 9.0 \text{ МГц}$) та дві групи – без УЗ обробки, відповідно. Спектральні характеристики вимірювались (в лінійному по інтенсивності світла режимі з подальшим нормуванням фото сигналу на кількість падаючих світлових квантів) при кімнатній температурі в діапазоні довжин хвиль 250 – 1150 нм. Також вимірювались профілі розподілу бору та арсену в сенсорних структурах. Основні результати:

всі виготовлені нами p-n переходи є дійсно мілкими;
швидкість рекомбінації нерівноважних носіїв заряду в приповерхневій області відносно невелика;

p-n переходи, синтезовані при одночасній УЗ дії, демонструють суттєво більшу чутливість в УФ області, ніж контрольні зразки;

УЗ обробка зменшує радіаційно-стимульовану прискорену дифузію бору, в той же час не впливає на розподіл арсену;

УЗ збільшення чутливості в УФ області пояснюється: у випадку бору - зменшенням радіаційно-стимульованої прискореної дифузії, у випадку арсену - зменшенням кількості рекомбінаційно-активних центрів в області емітера і області просторового заряду.

Властивості плівок ZnMnO отриманих магнетронним розпиленням

Горлей П.М., Хомяк В.В.

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, Чернівці, Україна

Оксид цинку може широко використовуватися як базовий матеріал для синтезу напівмагнітних напівпровідників у яких катіони заміщуються іонами 3-d перехідних металів (V, Fe, Co, Mn, і ін.). Для такого класу напівпровідників вирішальну роль відіграють спін-спінові обмінні взаємодії між d – електронами магнітних іонів та зонними носіями, які викликають значне розщеплення Зеємана зонних станів та гігантське фарадеївське обертання. Зацікавленість у ZnO – напівмагнітних напівпровідниках особливо зросла після теоретичних передбачень про можливі феромагнітні впорядкування при кімнатній температурі і вище, що відкриває можливості для розвитку нового напрямку – спінтроніки та

створення принципово нових приладів на їх основі [1]. До цих пір декілька дослідницьких груп приклали зусилля для отримання експериментальних доказів стосовно такої феромагнітної поведінки у 3-d легованих кристалах та плівках ZnO [2-4].

В даній роботі представлено результати дослідження спектрів оптичного поглинання тонких плівок напівмагнітних напівпровідників $Zn_{1-x}Mn_xO$ ($x \leq 0,10$), одержаних методом високочастотного магнетронного розпилення.

Спектри оптичного поглинання тонких плівок показали великий вміст марганцевих іонів та асоційованих з ними як низькоенергетичних, так і високоенергетичних переходів нижче і вище фундаментального краю поглинання. Аналізуються можливі причини існування різних типів оптичних переходів пов'язаних як з міжзонними так і з переходами зумовленими наявністю іонів марганцю.

Робота виконана при частковій підтримці УНТЦ (проект №3098).

1. Dietl T., Ohno H., Matsukura F., Cibert J., Ferrand D. // *Science*, 287 p. 1019 (2000)
2. Fukumura T., Jin Z., Ohtomo A., Koinuma H., Kawasaki M. // *Appl. Phys. Lett.* 75 p. 3366 (1999).
3. Tiwari A., Jin C., Kvit A., Kumar D., Muth J.F., Narayan J. // *Solid State Commun.* 121, p. 371 (2002).
4. Ando K., Saito H., Jin Z., Fukumura T., Kawasaki M., Matsumoto Y., Koinuma H. // *Appl. Phys. Lett.* 78, p. 2700 (2001)

Механізм оксидирования тонких пленок ниобия.

Дивакова Н.А., Логачева В.А., Ховив А.М., Тихонова Ю.А.

Воронежский государственный университет

Пленки оксидов ниобия находят широкое применение в производстве благодаря своим электрохромным, газочувствительным, оптическим свойствам. Физические и оптические свойства формируемых оксидных пленок ниобия во многом определяются способом их получения.

В работе представлены результаты изучения механизма оксидирования пленок ниобия, напыленного магнетронным способом на подложки монокристаллического кремния, и установлена зависимость структуры и состава оксидных пленок от условий их термической обработки.

Методом автоматической лазерной эллипсометрии, которая позволяет фиксировать оптические параметры непосредственно в процессе роста, пленки было установлено, что оксидирование пленок ниобия начинается с температуры 573 К. Толщина оксидной пленки в течение 5 мин. достигает значения 7,5 нм, затем плавно растет до толщины 24 нм, не

виходя на насыщення. В температурному інтервалі $T=573-773$ К процес росту пленки оксиду на ніобії хорошо описується лінійно-параболічною закономірністю. В передположенні температурної залежності в формі рівняння Аррениуса, вичислена ефективна енергія активації складала 130 кДж/моль. Аналіз даних свідчить про те, що во всем досліджуваному інтервалі температур і часу процес росту оксидної пленки на ніобії контролюється масопереносом реагентів через оксидну плівку.

Методом рентгенофазового аналізу встановлено, що після осаження в плівку виявляється металлоподібна оксидна фаза Nb_6O . При отжигу в потоці кисню в часі при $T=573$ К утворюється NbO_2 тетрагональної модифікації, а при температурі вище $T=773$ К формується $\gamma-Nb_2O_5$ моноклінної структури. З метою вивчення процесу кристалізації аморфних плівок оксиду ніобія $\gamma-Nb_2O_5$ було здійснено отжиг в потоці кисню при $T=873, 973, 1073$ К в часі. Було встановлено, що моноклінна фаза $\gamma-Nb_2O_5$ залишалася незмінною при температурах $873, 973$ К і тільки при $T=1073$ К починала формуватися гексагональна фаза Nb_2O_5 . Якщо ж формування плівок оксиду ніобія здійснювати з твердого розчину кисню в ніобій - фазі $\gamma-Nb_2O_5$ (110) тетрагональної модифікації, то вже при отжигу в часі при $T=773$ К формується Nb_2O_5 гексагональної структури.

Отримання тонких полімерних плівок осаженням у вакуумі

Задорожний В.Г., Поліщук С.Г., Кобрін В.Л., Кейбал О.О.

Одеська національна академія харчових технологій

Досліджені продукти розпаду ряду полімерів у вакуумі під дією термічного нагріву і опромінювання пучком електронів різних енергій. У поєднанні зі встановленими кінетичними закономірностями випаровування, конденсації і просторового розподілу полімерних фрагментів у вакуумі, визначені оптимальні умови процесу розпаду, що забезпечують максимальний коефіцієнт використання початкового полімеру і перехід в парову фазу фрагментів з найбільшими молекулярними масами.

Визначені особливості структуроутворення плівок на твердій основі під дією температури, УФ опромінювання, пучка електронів і ВЧ розряду. Вивчено зміну ступеня ненасиченості і розподілу молекулярної маси в плівках. Для кожного полімеру існують оптимальні параметри електронного опромінювання основу під час росту плівок, при яких кількість подвійних зв'язків мінімальна. Аналогічно залежить і енергія активації деструкції. Досліджений процес плавлення плівок; кристалізація в процесі зростання плівок у вакуумі має ряд специфічних особливостей в

порівнянні з кристалізацією з розплаву або розчину. Найменш дефектна структура властива плівкам, отриманим при температурі конденсації $T_k = 373...473$ К і енергія електронів, що опромінюють основу - 300...600 еВ.

Створені нові технології нанесення покриттів спеціального призначення у вакуумі. Розроблені покриття можна використовувати для захисту від вологи датчиків магнітного голографічного запису інформації, створення електретних структур для електроакустичних перетворювачів, виготовлення пасивних елементів ємностей НВЧ - схем, як резист при травленні фоточутливих ділянок в процесі створення напівпровідникових структур.

Кристалохімія і інженерія точкових дефектів у технології кристалів і плівок сполук $A^{IV}B^{VI}$

Зломанов В.П.¹, Межиловська Л.Й.², Фреїк Д.М.²

¹Московський державний університет ім. М.В. Ломоносова,
Москва, Росія

²Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника,
Івано-Франківськ, Україна

Сполуки $A^{IV}B^{VI}$ – важливі напівпровідники, що використовуються при виготовленні лазерів та приймачів випромінювання інфрачервоного спектру (4-14)мкм [1]. Крім того, вони є ефективними матеріалами у термоелектричних перетворювачах енергії, що функціонують в інтервалі температур (300-900)К [2].

Важливими чинниками, які визначають робочі характеристики приладових структур є точкові дефекти. Серед відомих методів, що описують дефектну підсистему у напівпровідниках слід виділити метод квазіхімічних реакцій [3-5]. Так, зокрема, знаючи тип дефектів, їх зарядовий стан, а також відповідні константи рівноваги, система квазіхімічних рівнянь дає можливість визначити технологічні фактори, що забезпечують формування заданої дефектної підсистеми і, відповідно, прогнозовані фізико-хімічні властивості матеріалу.

Для управління власними і домішковими точковими дефектами у кристалах використовують метод двотемпературного відпалу [2]. Тут основними технологічними факторами є температура відпалу і парціальний тиск парів компонентів сполуки чи легуючої домішки. У технології тонких плівок ефективним виявився квазірівноважний метод осадження із парової фази – так званий метод гарячої стінки [5]. Використовуючи основне джерело із сполукою і додаткове з компонентами чи легуючою домішкою, а також змінюючи температуру осадження, випаровування і стінки камери можна задавати тип і концентрацію дефектів у конденсаті.

Запропоновані підходи використані при інженерії точкових дефектів

у кристалах і плівках халькогенідів металів IV підгрупи Періодичної таблиці – PbS, PbSe, PbTe, SnTe. Визначені технологічні фактори, що забезпечують одержання матеріалу із наперед заданими властивостями.

1. Абрикосов Н.Х., Шелимова Л.Е.. *Полупроводниковые материалы на основе соединений $A^{IV}B^{VI}$* . Наука, М.: 196 с. (1975).
2. Шперун В.М., Фреїк Д.М., Запхляк Р.І. *Термоелектрика телуриду свинцю та його аналогів*. Плаї. Івано-Франківськ: 250 с. (2000).
3. Крегер Ф. *Химия несовершенных кристаллов*. Мир. М.: 654с. (1969).
4. Зломанов В., Новоселові А.В. *P–T–X диаграммы состояний системы метал-халькоген*. Наука. М.: 208 с. (1987).
5. Фреик Д.М. Получение пленок соединений $A^{IV}B^{VI}$ с заданными параметрами методами квазизамкнутого объема // *Изв. АН СССР. Неорганические материалы*. 8(8), сс. 1237-1248 (1982).

Нові методичні підходи в дослідженнях структури аморфних речовин

Іваницький В.П.

Ужгородський національний університет, Ужгород, Україна

Методично-термінологічні підходи, які використовується на сьогодні в області вивчення аморфних речовин, є досить неоднозначними і математично не строгими. У той же час активність у дослідженні аморфних речовин увесь час зростає. З'являються нові аморфні матеріали, все ширше коло фахівців цікавиться проблемами аморфного стану, пропонуються нові моделі, ідеї, підходи. В таких умовах усе гостріше постає питання про створення єдиного системного підходу в області дослідження структури і властивостей аморфних об'єктів. На нашу думку основою такого підходу мають стати загальні особливості будови аморфних речовин, оскільки головною характерною експериментальною ознакою аморфних твердих тіл є дифузні розмиті картини дифракції рентгенівського випромінювання, електронів чи нейтронів. При цьому однотипні дифракційні картини виникають від різноманітних аморфних об'єктів, які конкретною структурою можуть сильно відрізнятися між собою. Дана ситуація повністю аналогічна кристалам, де різним кристалічним ґраткам відповідає один і той же тип дифрактограм у виді системи одиночних різких дискретних точкових рефлексів.

Переважною більшістю дослідників вважається, що відсутність дальнього порядку (ДП) є настільки загальною і внутрішньо властивою аморфному стану речовин, що саме вона може бути покладена в основу визначення категорії аморфної речовини. На нашу думку, цей критерій має бути доповнений параметрами, які описують специфіку структури аморфних речовин, тобто фізично і математично строго вказують характер

реалізовано в них ближнього порядку (БП). І ключовим моментом тут є відмінність БП аморфних речовин від БП кристалів. Якщо припустити, що ці БП однакові, то залишається неясним за рахунок чого при поширенні того самого БП в кристалах виникає ДП, а в аморфних речовинах ДП немає. На нашу думку, ця відмінність полягає в тому, що БП кристалів цілком задається строгою функціональною залежністю положень структурних частинок у просторі (функціональний БП), а БП аморфних речовин – лише кореляційною залежністю положень структурних частинок (кореляційний, імовірнісний БП). Функціональний БП при своєму „поширенні” в просторі „автоматично” забезпечує утворення системи з ДП і з властивостями, характерними для кристалів. Таке ж „поширення” кореляційного БП веде до втрати упорядкованості в розташуванні структурних часток на певних відстанях і до реалізації систем з властивостями, характерними для аморфних речовин. Отже, визначальним є саме БП речовини. І саме характер БП задає можливість існування чи відсутності в речовині ДП.

Враховуючи наведене вище, ми вважаємо за можливе дати наступне визначення аморфним речовинам – це тверді тіла, що володіють кореляційним (імовірнісним) топологічним БП у розташуванні своїх структурних частинок, реалізація якого виключає утворення ДП. Відповідно кристал – це тверде тіло, що володіє повним функціональним топологічним порядком у розташуванні атомів, що забезпечує реалізацію як БП, так і ДП (чи трансляційної періодичності) в розташуванні атомів. Підкреслимо, що у приведеному визначенні упорядкованість (чи неупорядкованість) розглядається не за будь-яким параметром структури, а винятково за характером топологічного і лише топологічного просторового розташування структурних частинок.

Електричні, оптичні та фотоелектричні властивості монокристалічної структури HgMnInGaTe

Ковальчук М.Л., Колісник М.Г., Косенков Є.М., Раренко А.І.,
Склярчук В.М., Склярчук О.Ф.

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, Чернівці, Україна

Напівпровідникові кристали групи $A_2^3B_3^6$ і їх тверді розчини характеризуються високою стійкістю електричних і фотоелектричних параметрів до дії іонізуючого випромінювання, що пов'язано з наявністю в підгратці стехіометричних вакансій. Разом з тим низька рухливість носіїв заряду ($\sim 10 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{см})$) перешкоджає їх широкому застосуванню в якості детекторів X- і γ -випромінювання. Досить високого значення рухливості носіїв заряду ($\sim 500 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{см})$) досягнуто для твердого розчину HgTe-In₂Te₃ (склад 3:1), ширина забороненої зони якого $E_g=0,72 \text{ еВ}$. Фотодіоди

Шоттки на цьому напівпровіднику мають значно кращі фотоелектричні параметри, ніж фотодіоди на Ge, які застосовуються як сенсори радіаційного випромінювання з охолодженням до 80К. Але на жаль ширина забороненої зони $3(\text{HgTe})\text{-In}_2\text{Te}_3$ теж мала, тому хоча фотоприймачі з цього матеріалу радіаційностійкі, для їх ефективного використання потрібне охолодження.

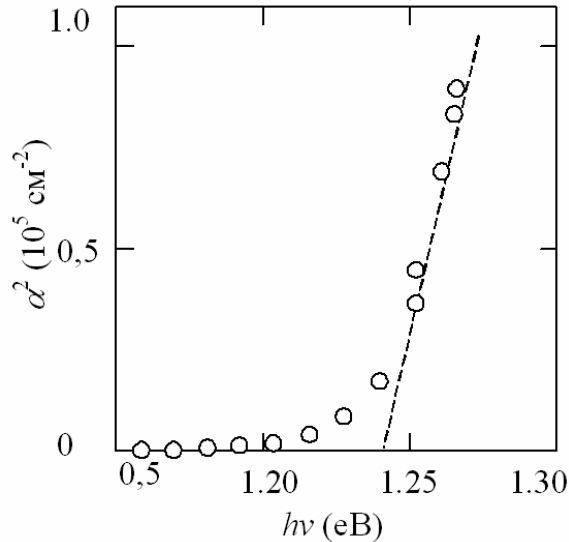


Рис. 1. Спектральна залежність коефіцієнта поглинання монокристалічної структури HgMnInGaTe .

З метою розширення забороненої зони кватна частина Hg та In в $3(\text{HgTe})\text{-In}_2\text{Te}_3$ замінена ізовалентними металами з меншими іонними радіусами (Mn і Ga відповідно). В результаті чого створено твердий розчин HgMnInGaTe . З досліджень електропровідності, оптичного пропускання (рис.1.), фотопровідності кристалів та плівок цього напівпровідника встановлено, що $E_g = 1.24\text{eV}$ при 300К та питомий опір $\rho \geq 10^7 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ при збереженні досить високої рухливості носіїв струму. Це відкриває можливості для створення надвисокорадіаційностійких неохолоджуваних сенсорів іонізуючого випромінювання у широких межах доз.

Термодинаміка і кінетика хімічного осадження плівок MnS

Крупко О.В., Волощук А.Г., Щербак Л.П.

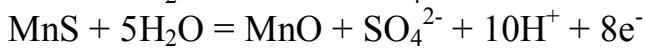
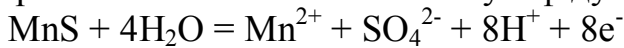
Чернівецький національний університет ім. Юрія Федьковича, Чернівці, Україна

Напівпровідникові халькогеніди Мангану унікально поєднують електрофізичні, фотоелектричні та магнітні властивості, що робить їх

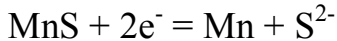
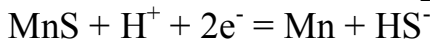
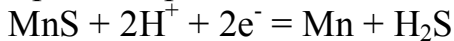
перспективними матеріалами для спінеелектроніки. Серед відомих методів одержання тонкоплівкових структур важливе місце займають методи хімічного осадження із розчинів.

В даній роботі методами класичної термодинаміки, гетерогенної кінетики, атомно-абсорбційного аналізу та іонометрії досліджено умови хімічного осадження плівок MnS із водного розчину.

На основі термодинамічних розрахунків побудована діаграма Пурбе для системи Mn-S-H₂O і визначено поля електрохімічної стійкості манган сульфідів. Показано, що осадження плівок MnS термодинамічно можливе в діапазоні рН 4,5 – 13,8. При цьому, при значеннях окисно-відновного потенціалу, які перевищують ізолінію потенціалів від 0,05 до -0,58 В, спостерігається окислення манган сульфідів. Домінуючими є реакції:



Нижче ізолінії потенціалів в інтервалі від -1,22 до -1,54 В характерними процесами, які відбуваються на межі MnS - H₂O, є реакції:



Досліджена кінетика хімічного осадження плівок MnS із водних розчинів комплексних солей мангану (II). Показано, що швидкість осадження підпорядковується рівнянню:

$$\frac{dC}{dt} = K(C_0 - C_t)^{2/3} \cdot C_t,$$

де C₀ і C_t, відповідно, початкова і на час t концентрації іонів Mn²⁺ у розчині;

K – ефективна константа швидкості осадження MnS.

Визначальними факторами, при цьому, є величина рН та значення окисно-відновного потенціалу системи.

Підібрано склад розчину та умови осадження дзеркальних плівок MnS товщиною 0,3÷0,6 мкм на діелектричні (скло) і напівпровідникові (кремній) підкладки.

Исследование влияния микроволнового излучения на сопротивление омических контактов GaAs-Ge- Au

Кудрик Я.Я.

Институт физики полупроводников им. В.Е.Лашкарева, НАНУ, Київ, Україна

Стабильность омического контакта является одним из основных условий безотказной работы микроволнового прибора. Поэтому изучение влияния на контакт сверхвысокочастотного (СВЧ) облучения является необходимым в процессе создания микроволновой элементной базы.

Одним из наиболее перспективных материалов для создания СВЧ приборов является GaAs. Уже изучено влияние мощного и низкодозового СВЧ облучения на барьерные контакты на основе GaAs. Предложены несколько возможных механизмов деградации барьерных контактов. В связи с этим представляется целесообразным произвести исследование влияния СВЧ-облучения на омический контакт, которое позволит получить новые данные, необходимые для уточнения преобладающего механизма. Нами были исследованы контакты GaAs-Ge-Au.

Контакт создавался методом магнетронного напыления Au с последующим отжигом. Измерение контактного сопротивления производилось методом длинной линии (transfer line method, TLM). В таблице представлены результаты измерений контактного сопротивления ρ_c и среднеквадратическое отклонение сопротивления δR до и после СВЧ-облучения в поле магнетрона частотой $f=2,45$ ГГц и удельной мощностью $P \sim 1,5$ Вт/см².

Время облучения	$\rho_c, \text{Ом}\cdot\text{см}^2$	$\delta R, \%$
Исходный	$7 \cdot 10^{-4}$	6
2с	$3,3 \cdot 10^{-4}$	13
4с	$4,3 \cdot 10^{-4}$	8

Как видно из таблицы, контактное сопротивление структур GaAs-Ge-Au при облучении их до 2 с уменьшается в два раза. Значительное изменение сопротивления омических контактов при низкодозовом облучении может свидетельствовать в пользу механизмов локальной СВЧ-стимулированной диффузии. Однако из-за значительного разброса параметров по пластине для получения более достоверного результата необходимо произвести более детальные исследования. Дальнейшее исследование влияния микроволнового облучения на свойства омических и барьерных контактов структур на основе GaAs даст возможность сформулировать рекомендации для применения такой технологии в процессе производства.

Будова реакційних центрів на поверхні дисперсного $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ з нанесеними хлоридами міді

Микитин І.М., Курта С.А.

Кафедра органічної і аналітичної хімії, природничого факультету Прикарпатського національного університету ім. Василя Стефаника, Івано-Франківськ, Україна

1,2-дихлоретан одержують у процесі окислювального хлорування етилену з використанням каталізаторів на основі хлоридів міді, нанесених на $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$.

Нами було досліджено два типи каталізаторів: нанесеного типу - марки Харшоу й просоченого типу - марки Монтекатини і окремо носій - гамма оксид алюмінію.

Проводили порівняння інфрачервоних спектрів носія $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, каталізатора Харшоу - CuCl_2 , нанесеного на поверхню $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, і каталізатора Монтекатини (МЕДС-В) - $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, просоченого CuCl_2 по всьому об'ємі. На поверхні всіх трьох зразків присутня велика кількість адсорбованої й хемосорбованної води, а також адсорбований оксид карбону (IV) (CO_2).

Ефективність взаємодії між CuCl_2 і носієм $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ зростає при переході від каталізатора Харшоу до каталізатора МЕДС-В. Технологія приготування каталізатора МЕДС-В шляхом соосадження аморфного $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ і кристалічного CuCl_2 із солянокислих розчинів при утворенні мікрочастинок каталізатора діаметром 20-120 мк приводить до утворення комплексних сполук на поверхні, у порах і в структурі каталізатора. При нанесенні CuCl_2 із солянокислого розчину на поверхню твердих часток $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ проходить здебільшого звичайна адсорбція $[\text{CuCl}_4]^{2-}$ поверхнею $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$.

При порівнянні ДТА й ДТГ розкладання каталізаторів Монтекатини й Харшоу видно, що робочий режим температур дегідратації й дегідрохлорування для каталізатора Харшоу становить $\Delta T=70$ °С (180-250 °С). У той же час для Монтекатини $\Delta T=50$ °С (200-250 °С). Зменшення робочого діапазону температур для Монтекатини на 20 °С у порівнянні з Харшоу приводить до звуження оптимального режиму роботи каталізатора до області 215-220 °С. При цих температурах найбільш вигідною стає реакція окислювального хлорування етилену в 1,2-ДХЕ. У той же час для каталізаторів нанесеного типу (Харшоу) реакція проходить від 190-210 °С. Такий широкий діапазон роботи каталізатора в промислових масштабах приводить до проходження побічних процесів реакції окислювального хлорування етилену.

Дифрактофотографія дислокационных петель и их комплексов в кристаллах

Новиков С.Н., Федорцов Д.Г., Гевик В.Б., Фодчук И.М.

Черновицкий национальный университет им. Ю. Федьковича, Черновцы, Украина

Существует много подходов и методов в численном расчете дифракционного контраста или изображения единичных дефектов и их комплексов [1-3]. В данной работе для описания рентгеновского волнового поля, распространяющегося в кристалле, используется система уравнений Такаги [1] и проводится рассмотрение наиболее вероятных моделей дислокационных петель (ДП) и их комплексов (дислокационных

скоплений, дислокационных стенок – малоугловых границ) в монокристалле кремния. Построены функции локальных разориентаций $\alpha(r)$ с учетом анизотропии кристалла и влияния поверхности, создаваемые как отдельными дислокациями, так и их комплексами.

С помощью численного решения уравнений Такаги рассчитаны дифракционные изображения комплексов из ДП на секционных и проекционных топограмах для значений μt , что соответствуют случаям “тонкого” ($\mu t < 1$) и “толстого” ($\mu t > 10$) кристаллов. Необходимо отметить сложный и разнообразный характер рассеяния рентгеновских лучей на деформационных полях, создаваемых разными по размерам, кристаллографическому и пространственному расположению ДП. Выявлены значительные трансформации дифракционных изображений ДП (усиление или угнетение частей изображения, ослабление всего изображения почти до уровня фона, смещение одной части изображения относительно другой) в зависимости от их кристаллографического и пространственного расположения по отношению к плоскости рассеяния и поверхности выхода рентгеновских лучей. Проанализированы основные механизмы формирования дифракционных изображений и проведено сопоставление их с известными экспериментальными данными.

Создан атлас наиболее характерных топографических изображений микродефектов, дислокационных петель и их комплексов, а также эффективное программное обеспечение для расчета различного типа дефектов.

1. Authier A. Dynamical Theory of X-Ray Diffraction. – N.Y.: Oxford University Press. P.661. (2001).
2. Indenbom V.L., Kaganer V.M. // *Phys. Stat. Sol. (a)*, **87** 253 (1985).
3. Буйлов А.Н., Данильчук Л.Н. // *Письма в ЖТФ*. 28(18). сс.24-28 (2002).

Химическое восстановление как один из методов получения покрытий на порошках металлов и неметаллов

Панасюк О.А., Баглюк Г.А., Маслюк В.А., Апининская Л.М.,
Вергелес Н.М., Власова О.В.

Институт проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАНУ, Киев, Украина

Исследованы процессы плакирования железного порошка химическим и электрохимическим методами с целью получения на поверхности частиц покрытий из меди, никеля, олова. Плакирование обеспечивает создание как адгезионноактивных так и барьерных слоев при получении композиционных материалов, а также придает железному порошку специальные свойства (улучшение электропроводности, повышение электросопротивления, коррозионной стойкости и др.).

В настоящей работе плакирование железного порошка медью, никелем, оловом и его фосфатирование проводили для улучшения магнитных характеристик магнитно-мягких порошковых материалов.

Никелирование железного порошка проводилось химическим восстановлением в кислых щелочных растворах никелевых солей, содержащих в качестве восстановителя гипофосфит натрия и комплексообразующие добавки.

Металлографические исследования показали, что на частицах железа получено равномерное никелевое покрытие толщиной 7-8 мкм. Покрытие содержит фосфор в количестве 10-12 % при осаждении в кислом растворе и 5-7 % – при осаждении в щелочном растворе. Порошок с никелевым покрытием подвергался термообработке в водороде при температуре 400⁰С в течение 1 часа. При измерении текучести никелированного порошка установлено, что она выше текучести чистого железного порошка и железного порошка, покрытого электролитическим никелем (Ni – 99 %).

Наличие фосфора влияет и на магнитные свойства изготовленных из плакированных порошков магнитно-мягких материалов. Причем, материалы из порошков с никелевым покрытием, полученным из щелочного раствора (рН 9-10) с последующей термообработкой показали более высокие магнитные характеристики, чем материалы из никелированных порошков, полученных из кислых растворов (рН 2-4).

Установлено, что после термообработки фосфор в никелевом покрытии содержится в виде твердого раствора фосфора в никеле, а также в виде фосфидов, т.е. покрытие не является однофазным, и это существенным образом определяет свойства порошка.

Медные покрытия на железных порошках были получены двумя методами:

- химическое восстановление;
- электрохимическое осаждение.

В качестве восстановителя применялся 40 % раствор формалина. Процесс идет в сильнощелочной среде, поддерживаемой глицерином. Электроосаждение меди на порошок железа проводили из серноокислого электролита.

Порошок с полученными медными покрытиями толщиной до 10 мкм отжигали в водороде при температурах 600-800⁰С для восстановления окисленной части медного покрытия.

Исследованы текучесть, насыпная плотность и прессуемость полученного порошка, изготовлены образцы для изучения магнитных характеристик.

Оловянные покрытия на порошок железа наносили путем его химической обработки в 10 % растворе хлористого олова, которое, с одной стороны, хорошо адсорбируется на поверхности порошка, с другой – адсорбирует кислород, образуя оксиды. При термовосстановлении оксидов

на поверхності залізного порошка формувалося покриття із металічного олова. Состав отриманих порошків представлений в табл.

Таблиця

Хімічний склад плакірованих порошків заліза

№	Вид порошка	Хімічний склад, % мас.			
		P	Ni	Cu	Sn
1	ПЖРЗ плакірований Ni із кислото розчину	0,39	3,6	–	–
2	ПЖРЗ плакірований Ni із лужного розчину	0,25	2,5	–	–
3	ПЖРЗ плакірований Cu (контакт.)	–	–	0,2	–
4	ПЖРЗ плакірований Cu (хіміч.)	–	–	4,3	–
5	ПЖРЗ плакірований P	1,4	–	–	–
6	ПЖРЗ плакірований Sn	–	–	–	1,4

Дослідження магнітних характеристик матеріалів із залізного порошка з різними покриттями проводилося в постійному і змінному магнітному полі за стандартною методикою. Було показано, що найкращі магнітні властивості: індукція насичення $B_s=1,3$ Тл, максимальна магнітна проникність $\mu=2217$ і удільні магнітні втрати $P_{1,0/50} = 2,5$ Вт/кг мають матеріали із залізного порошка, плакірованого оловом. Це пов'язано з утворенням на поверхні частинок покриття з ферромагнітної фази $FeSn_2$.

Термостимульоване відновлення магнітної мікроструктури приповерхневого шару епітаксійних плівок залізо-ітрієвого гранату імпантованих іонами фосфору

Пилипів В.М., Коцюбинський В.О., Григорук О.О.

*Прикарпатський національний університет ім. Василя Стефаника,
Івано-Франківськ, Україна*

В роботі здійснено комплексні дослідження взаємозв'язку змін магнітної мікроструктури епітаксійних плівок ЗІГ після імпантації іонами фосфору та наступного відпалу з трансформацією внутрікристалічних електричних полів. Застосовувався метод конверсійної електронної мессбауерівської (КЕМ) спектроскопії. При аналізі експериментальних КЕМ спектрів здійснювалася діагоналізація матриці ядерного гамільтоніану змішаної надтонкої взаємодії, з врахуванням одночасного існування магнітного дипольного та електричного квадрупольного розщеплення надтонкої структури спектрів.

Плівки залізо-ітрієвого гранату номінального складу $Y_3Fe_5O_{12}$ вирощувалися методом рідкофазної епітаксії на підкладці $Gd_3Ga_5O_{12}$. Досліджувані плівки товщиною 10,2 мкм були орієнтовані в площині (111).

Зразки опромінювалися іонами фосфору з енергією 65 кеВ та дозами $5 \cdot 10^{14}$, $1,8 \cdot 10^{15}$ та $1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$. Імплантація проводилась при кімнатній температурі в режимі, що виключав каналювання та самовідпал. Після імплантації зразки були піддані ізотермічному відпалу в потоці кисню при температурі $950 \text{ }^\circ\text{C}$ на протязі 300 хв.

Виявлено, що відпал неімплантованого зразка викликає зменшення ізомерних зсувів для всіх позицій, зумовлене релаксацією напруженого стану епітаксійної структури та збільшенням ступеня ковалентності хімічного зв'язку $Fe - O$. Для відпалених імплантованих зразків спостерігається ріст ізомерних зсувів для всіх позицій внаслідок збільшення спотворення симетрії оточення заліза та зменшення ступеня перекриття електронних оболонок Fe^{3+} та O^{2-} . Спостерігається узгоджена зміни ефективного магнітного поля на ядрі H_{ef} для всіх підгруп заліза відпалених зразків, що пояснюється температурою відпалу ($900 \text{ }^\circ\text{C}$), при якій відновлюється як аніонна, так і катіона геометрія. В роботі експериментально визначено полярні кути орієнтації векторів магнітних моментів окремих кристалічно нееквівалентних підгруп заліза відносно напрямку поширення пучка γ -променів. Виявлено, що магнітні моменти іонів заліза в a - та d - підгратках близькі до колінеарного стану та відхилені від нормалі до площини плівки на однаковий кут, що передбачає превалювання кубічної складової анізотропії. Відпал вихідного зразка спричинює поворот магнітного моменту октапідгратки в напрямку площини плівки, що можна пов'язати з усуненням ростових дефектів при відпалі, релаксацією гетероструктури та змінами симетрії кисневого оточення. В роботі простежено зміни значень параметрів надтонкої взаємодії КЕМ-спектрів після імплантації та відпалу та обґрунтовано комплекс найімовірніших причин цих змін.

Особливості структури і фотолюмінісцентних властивостей тонких шарів нітриду галію одержаних з допомогою лазера

Попович Д.І.^{1,2}, Котлярчук Б.К.¹, Павлюк В.С.¹, Середницький А.С.¹

¹*Інститут прикладних проблем механіки і математики ім.Я.С.Підстригала, Львів, Україна*

²*НУ "Львівська політехніка", Львів, Україна*

Нітрид галію є широкозонним напівпровідниковим матеріалом, дослідження якого одержало великий науковий резонанс в основному із-за можливості створення на його базі голубих лазерів та дисплейних систем.

Тонкі шари GaN найчастіше виготовляються методом хімічного газофазного осадження, який, однак, вимагає використання як високих температур, так і агресивних газових середовищ. Альтернативним методом для виготовлення тонких шарів нітриду галію може бути імпульсна лазерна реактивна технологія, де мішень Ga розпилюється в спеціальному квазізамкненому хімічно-активному середовищі азоту [1].

В даній роботі досліджено особливості формування кристалічної структури та фотолюмінісцентних властивостей нітриду галію одержаного при різних технологічних умовах вирощування.

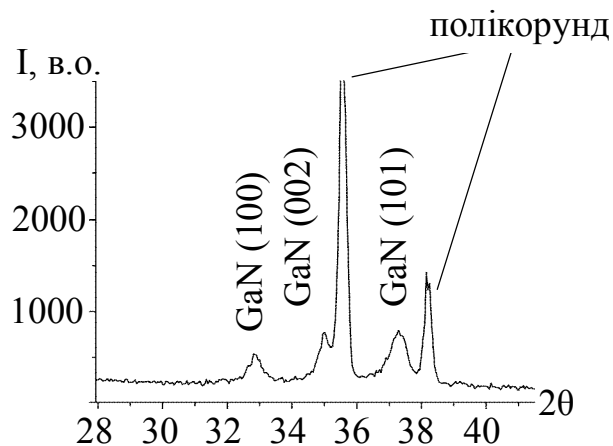


Рис.1. Дифрактограма тонкого шару GaN конденсованого на полікорунді.

На рис.1. наведена кутова залежність рентгенівської дифракції в шарі GaN на підкладці полікору. Встановлено, що орієнтація шару і його структура залежать від енергії падаючих на підкладку збуджених атомів і кратно-іонізованих іонів. Енергію частинок можна регулювати, зокрема, шляхом зміни тиску азоту в реакційній камері і відстані мішень-підкладка, що дає можливість вибрати оптимальні режими конденсації.

В спектрах люмінесценції GaN проявляються чітко виражені смуги в ультрафіолетовій області спектру при енергії квантів ~ 3.27 eV пов'язаній, очевидно, з рекомбінацією донорно-акцепторних пар і жовта смуга (~ 2.2 - 2.3 eV), що визначається власнодефектною структурою шару.

1. Kotlyarchuk V.K., Popovych D.I. *Pulsed Laser Deposition of Phosphor Nitride Thin Films*, Proceedings SPIE V4148, pp.247-251 (2000).

Автоматизований лабораторний комплекс для вимірювання динамічних і статичних тензорезистивних характеристик плівкових матеріалів

Проценко С.

Сумський державний університет, Суми, Україна

На кафедрі прикладної фізики СумДУ в осатаній час приділяють велику увагу дослідженням тензорезистивних властивостей багатошарових плівкових матеріалів, які можуть використовуватися як чутливий елемент тензодатчика. За цей час було отримано велику кількість експериментальних даних (див., наприклад [1]) і патент на чутливий елемент тензодатчика. Все це обумовило необхідність переходу на новий рівень якості проведення експерименту із залученням сучасних технологій автоматизації наукових досліджень.

Це пов'язано, в першу, чергу, з такими обставинами:

неможливість отримання динамічних тензорезистивних

характеристик «в ручному режимі» із змінною швидкістю деформації;

необхідність отримання більшої кількості експериментальних точок (значення опору зразка R та деформації ϵ), збільшити точність позиціонування мікрогвинта та визначення деформації зразка.

Розроблена автоматизована система складається з 8-канального 16-біт сігма-дельта АЦП ADAM-4018, самостійно розробленого високостабільного джерела струму на 1mA, релейного модуля ADAM-4068, перетворювача інтерфейсів USB→RS232/422/485 ADAM-4561, асинхронного конденсаторного двигуна типу Д-219П1 У3 та недорогої USB веб камери Creative Labs з роздільною здатністю 640x480 пікселів. Програмне забезпечення було розроблено в середовищі LabVIEW 8.2 з використанням модуля машинного зору LabVIEW Vision Development Module 8.2. Мова програмування LabVIEW [2] є повністю графічною і тому широко використовується при створенні систем автоматизації наукових і промислових процесів.

Принцип дії розробленої автоматизованої системи полягає в наступному. Багат шарова плівкова система конденсується і досліджується без посередньо у вакуумі $\sim 10^{-3}$ Па (установка ВУП-5М). Підкладка з отриманим плівковим зразком з одного краю закріплена консольно, а з іншого деформується поздовжньо за допомогою мікрогвинта (ціна поділки 0,02 мм). Мікрогвинт з зовнішньої сторони через редуктор зв'язаний з двигуном, напрямом обертання якого змінюється за допомогою релейного модуля ADAM-4068 та керується з комп'ютера в автоматичному або ручному режимі. Веб камера розміщена безпосередньо біля мікрогвинта і фіксує зображення з частотою 10 кадрів/с. Зображення, отримане веб камерою, передається в комп'ютер через USB-подовжувач і обробляється програмним забезпеченням (рис. 1), задача якого полягає в розпізнаванні рисок мікрогвинта і підрахуванні їхньої кількості. Точність розпізнавання залежить від швидкості обертання і складає приблизно 1/50 риси мікрогвинта ($\sim 0,001\%$ деформації зразка).

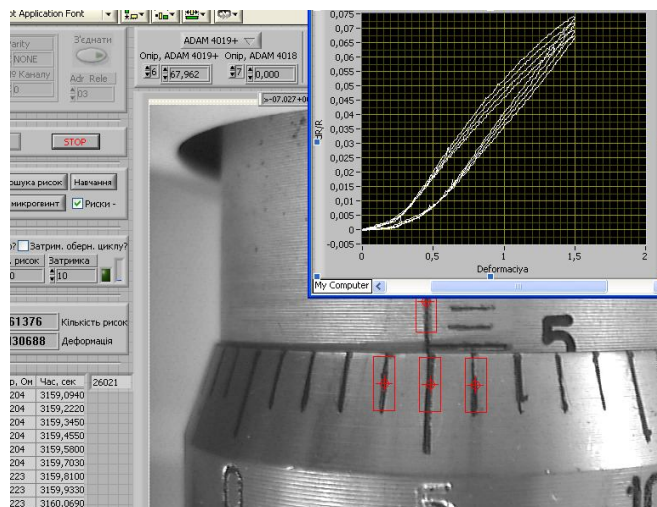


Рис. 1 Приклад інтерфейсу розробленого програмного забезпечення

Одночасно з процесом розпізнавання відбувається вимірювання спаду напруги на зразку та еталонному резисторі (підключених послідовно) з частотою 10 вимірювань/с за допомогою АЦП ADAM-4018. У результаті отримуються залежності $R(\epsilon)$, $\Delta R(\epsilon)$, створюються таблиця з даними, яка зберігається на жорсткому диску, а після закінчення експерименту автоматично створюється звіт в .doc або .pdf форматі.

У результаті впровадження системи автоматизації з'явилася можливість:

проводити дослідження динамічних тензорезистивних характеристик плівкових матеріалів та вивчати їх ресурс роботи;

змінювати швидкість деформування в діапазоні $0 < \nu_\epsilon \leq 0,1\%/с$;

проводити велику кількість деформаційних циклів з різними режимами роботи та з отриманням до 10^6 експериментальних точок;

проводити дослідження з мінімальною участю оператора;

автоматично підготовлювати звіт з побудовою залежностей і обрахуванням миттєвого і середнього коефіцієнтів тензочутливості.

1. Проценко С.І., Черноус А.М. Дослідження і прогнозування тензорезистивних Влас-тивостей плівкових систем на основі Cr, Cu і Sc // *Металлофиз. новейшие технол.*, **25**(5), с.587-601 (2003).
2. www.ni.com

Структурные и люминесцентные свойства пленок ZnO полученных оксидированием цинк содержащих соединений группы A^2B^5

Рогозин И.В., Мараховский А.В.

Бердянский государственный педагогический университет

Оксид цинка – прямозонный полупроводник с шириной запрещенной зоны 3.37 эВ при комнатной температуре. Среди широкозонных соединений групп A^2B^6 и A^3B^5 имеет наибольшую энергию связи экситона ~ 60 мэВ, что позволяет получать эффективную экситонную люминесценцию при комнатной температуре.

Разработка излучающих приборов на базе ZnO требует получения материала *n*- и *p*-типа. Получение ZnO *n*-типа основано на использовании элементов III группы, таких как Al, Ga, In и дает хорошо воспроизводимые результаты. Однако получение ZnO *p*-типа является сложной технологической проблемой, что обусловлено механизмом самокомпенсации акцепторной примеси собственными дефектами - донорами: - V_O или - Zn_i . Последние успехи в синтезе *p*-ZnO основаны на использовании элементов V группы (N, As, P) в качестве акцепторной примеси.

Пленки ZnO отримані оригінальним методом радикало-лучевої геттерируючої епітаксії. В якості підложки використані – дифосфід цинка – ZnP_2 тетрагональної модифікації і нітрид цинка – Zn_3N_2 . Підложки отжигалися в атомарному кислороді при температурі 400-600°C. Атомарний кислород отримували з допомогою ВЧ- розряду потужністю 80 Вт при тиску в камері росту 0.1-10 Па.

Товщина плінок ZnO складала ~0.1-0.2 мкм. Рентгеновські дифрактограми плінок ZnO містять пік (002) в області кутів $2\theta \sim 34.45^\circ$, що вказує на переважну орієнтацію плінок вздовж осі *c*. Повна ширина на половині висоти піка (002) становить не більше 0.18° . По даним атомно-силової мікроскопії плінки мають дзеркальну поверхню з шерохватістю <20 нм.

В спектрах низькотемпературної фотолюмінесценції плінок ZnO спостерігаються смуги, ідентифіковані як екситон, зв'язаний з нейтральним акцептором і донорно-акцепторна рекомбінація відповідно. В якості акцепторів виступають домішки азоту і фосфору дифундує в процесі отжигу з підложки в ростучий шар ZnO.

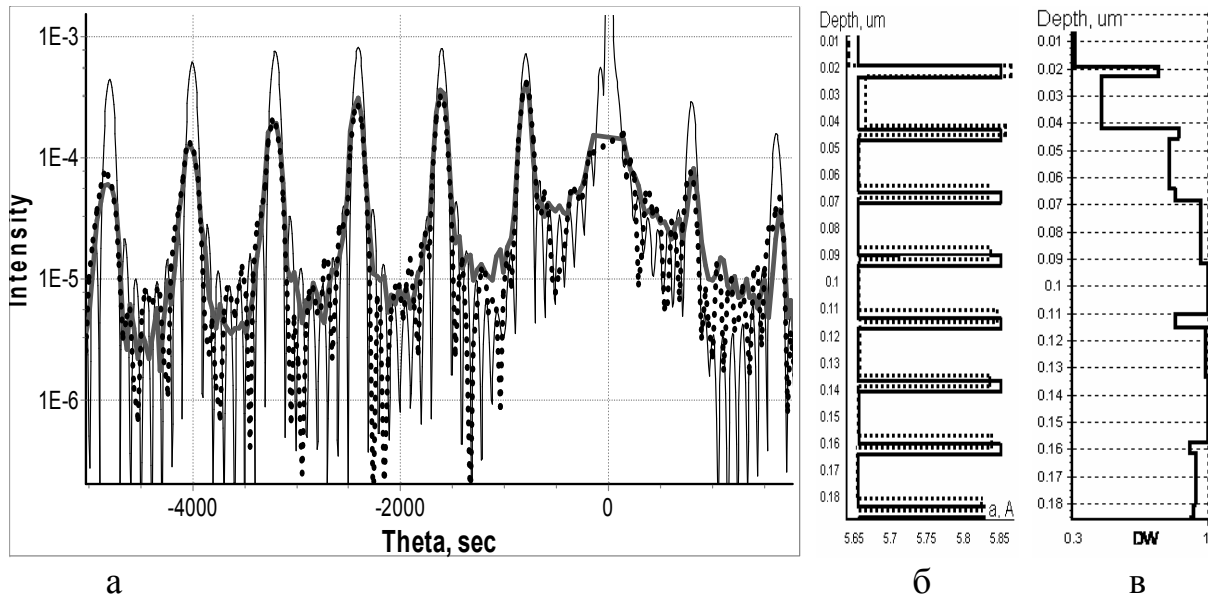
Новий підхід до діагностики параметрів багатобар'яних надграткових структур

Савельєва І.С., Єфанов О.М., Кладько В.П., Мачулін В.Ф.

Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, Київ, Україна

В даній роботі представлено метод, який базується на послідовному проведенні високороздільного рентгеновського експерименту, комп'ютерного моделювання процесу дифракції від деякої модельної структури з технологічними параметрами та автоматичному фітуванні параметрів моделі з використанням експериментальних даних. Це дає можливість визначити реальні параметри (товщина шару, фактор Дебая-Валлера та деформацію) для кожного з шарів структури окремо. При аналізі дифракції відносно декількох наборів кристалографічних площин одночасно з'являється можливість визначення градієнта концентрації на межах між шарами різного складу, а також ступінь релаксації.

Приведені приклади застосування даного методу для дослідження багатобар'яних структур $In_xGa_{1-x}As/GaAs$ та $SiGe/Si$. На рисунку показані результати дослідження 8-шарової структури $In_{0.2}Ga_{0.8}As/GaAs$ (5 нм/17.5 нм) на товстій підкладці GaAs.



а) КДВ для 004 рефлексу (сірий колір – експеримент); залежності параметрів ґратки та товщини шарів б) та фактора Дебая-Валлера в) від глибини залягання.

Суцільним чорним кольором на а) та б) зображено початкові модельовані дані, пунктиром – результат підгонки.

Застосування цього підходу при дослідженнях квантово-розмірних структур показало, що він є досить інформативним та ефективним. Аналіз зміни форми кривих дифракційного відбиття (КДВ) та порівняння їх з розрахунком дозволяє встановити конкретний тип перехідного моношарового інтерфейсу, а також наявність і величину деформацій в шарах.

Запобігання водневої деградації металів наномасштабним поверхневим металохелатуванням

Старчак В.Г.¹, Грузнова С.В.¹, Олексієнко С.О.², Буяльська Н.П.²

¹ Чернігівський державний педагогічний університет ім. Т.Г.Шевченка,
Чернігів, Україна

² Чернігівський державний технологічний університет, Чернігів, Україна

Воднева деградація (ВД) конструкційних матеріалів грає суттєву роль в процесі корозійно-механічного руйнування (КМР) металоконструкцій (корозійне розтріскування – КР, малоциклова корозійна і воднева втома – МЦКВ, МЦВВ та ін.) [1,2]. Саме ці види КМР є причиною техногенних аварій обладнання, трубопровідного транспорту екологічно небезпечних виробництв (нафтогазовидобуток і переробка, енергетика, хімічна індустрія, тощо).

Успіхи квантової хімії в матеріалознавстві, розвиток супрамолекулярної та координаційної хімії, електрохімії [3] відкривають широкі можливості підвищення стійкості сталі до ВД, КР, МЦВВ, а це означає

збільшення її довговічності та експлуатаційної надійності шляхом поверхневої модифікації металохелатуванням. Активними хелатоутворювачами є N-, S-, O-гетероцикли (ГТЦ-ХО) – полідентатні ліганди, досліджені нами [4,5].

Наукові принципи вибору ГТЦ-ХО як синергістів в синергічних металохелатуючих композиціях (СМХК) на вторинній сировині (відходи виробництва, споживання) дали можливість розробити рецептури оптимальних з них для утворення на поверхні конструкційних, електротехнічних композитних матеріалів наномасштабної (40...60 нм) металохелатної плівки в умовах дії агресивних наводнювальних середовищ при статичному та малоцикловому навантаженні [6,7].

Підтверджено запобігання водневої деградації металів [6,7] наномасштабним поверхневим металохелатуванням в процесі формоутворення деталей (механічна обробка з металохелатуючими мастильно-охолоджувальними рідинами), при очистці теплоенергетичного обладнання від солевідкладень, накипу, окалини при експлуатації сталі та зварних з'єднань (ЗЗ) з врахуванням поверхневої модифікації окремих їх зон: основного металу, зони термічного впливу, зварного шва [4-7]. Показано вплив металургійної (хімічна природа неметалевих включень – НМВ, їх розмір, форма, кількість та ін.) та технологічної спадковості на ефективність захисту сталі від ВД поверхневим металохелатуванням. Визначені нові суттєві фактори, що впливають на запобігання ВД: електросорбційна валентність (ЕВ), негативний диференц-ефект. Визначення ЕВ для сталі 20 з різними неметалевими включеннями (оксиди, сульфіди, нітриди, пластичні силікати) дало можливість встановити ряди небезпеки НМВ щодо водневої деградації, з превалюючим механізмом дії H^+ (максимальну небезпеку складають оксидні включення) і H^- (максимальна небезпека у сульфідних включень) [6,7]. Останнє підтверджує нову гіпотезу академіка І.К.Походні про значну роль H^- у водневій крихкості зварних з'єднань [8].

1. Панасюк В.В. Фізико-хімічна механіка конструкційних матеріалів: здобутки та перспективи. – В кн. Сучасне матеріалознавство ХХІ сторіччя. – Київ: Наук. думка, 1998. – С. 565-589.
2. Ткачев В.И., Холодный В.И., Левина И.Н. *Работоспособность сталей и сплавов в среде водорода*. НАНУ ФМИ им. Г.В.Карпенко, Львов, 255 с. (1999).
3. Holliday V.I., Mirkin C.A. Strategies for the construction of supramoleculare compounds through coordination chemistry // *Angew. Chem. Int.* – Ed.40. – P. 2022 (2001).
4. Старчак В.Г. Оценка неспецифичности влияния водорода на свойства стали в ингибированных средах // *Защита металлов*. 24(1), сс. 81-85 1988.
5. Старчак В.Г., Кузина Н.А., Прийменко Б.А. и др. Ингибирующая

- активность моно-, би-, трициклических производных имидазола // *Журн. прикладной химии*. 70(5), сс.769-773 (1997).
6. Старчак В.Г., Алексеенко С.А., Буяльская Н.П.и др. Повышение надежности, долговечности, экологической безопасности конструкционных материалов наномасштабным поверхностным металлохелатированием // *Техника машиностроения*. 6, сс. 45-51. 2006.
 7. Старчак В.Г., Буяльська Н.П., Цибуля С.Д. та ін. Наукові основи підвищення екологічної безпеки металоконструкцій модифікацією їх поверхні в протикорозійному захисті // *Фіз.-хім. механіка матеріалів. – Спецвипуск* 2(4), сс. 738-741 (2004).
 8. Походня И.К. Проблемы сварки высокопрочных низколегированных сталей. – В кн. *Сучасне матеріалознавство ХХІ сторіччя*. Наук. думка, Київ, сс. 31-69 (1998).

Наноразмерные эффекты в процессе термического окисления гетероструктур «металл/GaAs»

Сухочев А.С., Томина Е.В., Мещерякова Е.К.

Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

Гетероструктуры на основе GaAs с тонкими пленками никеля, кобальта, железа являются перспективными объектами химии новых магнитных материалов. Интерес представляет выявление особенностей твердофазных реакций в данных системах при переходе к толщинам наноразмерного диапазона (50-25 нм). Целью исследования явилось установление влияния толщины исходного слоя металла на кинетику окисления и свойства наноразмерных гетероструктур.

Гетероструктуры Me/GaAs (Me = Ni, Co, Fe) формировали путем магнетронного распыления соответствующего металла; по скорости напыления определяли время необходимое для напыления слоя требуемой толщины (50 и 25 нм). Полученные образцы окисляли в кварцевом реакторе горизонтальной печи резистивного нагрева в воздушной среде (T = 470-580 °C). Для определения состава полученных пленок, изучения их морфологии, исследования кинетики и механизма твердофазных взаимодействий использованы методы лазерной эллипсометрии (ЛЭФ-3М), инфракрасной спектроскопии (Инфралюм ФТ-02), рентгенофазового анализа (ДРОН-4-07, ДРОН-3), электронной Оже-спектроскопии (ЭСО-3, JAMP 10S), растровой электронной микроскопии (CamScan-4), атомно-силовой микроскопии (Femtoscan Online).

Установлено, что общим для всех процессов является образование в ходе напыления переходного слоя $Me_xGa_yAs_z$, который нестабилен и при термической обработке разрушается с образованием арсенидов. Происходящие в системе в процессе окисления интенсивные

твердофазные взаимодействия, образование нескольких оксидов металла и взаимные переходы между ними, характеризующиеся изменением плотности слоев, усиление процессов испарения при высоких температурах (на это указывает уменьшение толщины пленок, полученных при высоких температурах) приводят к нерегулярности динамики роста оксидных слоев для всех исследованных систем Me/GaAs вне зависимости от напыляемого металла и толщины его исходного слоя.

Обнаруженное влияние толщины нанесенного слоя металла на закономерности твердофазных реакций при окислении структур Me/GaAs заключается в уменьшении температурного интервала стабильного роста пленок при снижении толщин от 50 до 25 нм; процессы испарения для структур с низкой толщиной исходного слоя металла (25 нм) наступают при более низкой температуре, чем для структур с более высокой толщиной (50 нм). Представлены схемы процессов эволюции гетероструктур Me/GaAs при их термическом окислении, учитывающие закономерности и химическую специфику металлов триады железа и их соединений, находящихся в нанопленочном состоянии.

Дисоціативна адсорбція молекули води на нерелаксованих гранях (111) та (100) кристалічного силіцію

Теребінська М.І., Лобанов В.В.

Інститут хімії поверхні НАН України, Київ, Україна

Утворення оксидного шару на поверхні кристалічного силіцію можливе як з використанням кисню (атомарного чи молекулярного), так і води. При цьому відбувається вбудовування атома кисню молекули H_2O в зв'язок Si-Si, а атом водню або безпосередньо зв'язується з поверхневим атомом силіцію, або входить до складу силанольної групи $\equiv SiOH$. В зв'язку з цим, дискусійним і фундаментальним є питання про механізм первинного акту взаємодії молекул води з поверхнею кристалічного силіцію, як вона адсорбується молекулярно чи дисоціативно? Для його з'ясування в рамках методу функціоналу густини (обмінно-кореляційний потенціал B3LYP, базисний набір 6-31G**) виконані розрахунки кластерів, що моделюють структуру комплексів, утворення яких можливе при безпосередньому контакті молекули H_2O з атомарно чистими гранями (111) і (100) кристалічного силіцію. На поверхні потенціальної енергії, що описує ці взаємодії, не виявлено екстремальних точок, які відповідають молекулярній адсорбції H_2O . Відбувається розпад молекули на H і OH, які зв'язуються сусідніми поверхневими атомами силіцію. Теплові ефекти цього процесу для граней (111) і (100) дорівнюють 2,3 і 1,0 еВ відповідно.

Розрахунки засвідчили, що наступна молекула води переважно взаємодіє з поверхневим атомом силіцію, з яким зв'язаний атом кисню,

вбудований в зв'язок Si–Si. При цьому також відбувається її розпад з утворенням ще однієї силанольної групи і бренстедівського містка $\equiv\text{Si}-\text{O}(\text{H})-\text{Si}\equiv$. Теплові ефекти хемосорбції другої молекули істотно вищі, ніж при розпаді першої на неокисненій поверхні.

Можна запропонувати, що молекула H_2O , попадаючи в приповерхневе електростатичне поле кристалу силіцію іонізується, з подальшим розпадом молекулярного іона H_2O^+ на протон і OH^- , які зв'язуються поверхневими атомами. Внаслідок альтернування заряду на окисненій поверхні силіцію слід очікувати, що напруженість приповерхневого поля буде вища, чим для чистого силіцію, і ймовірність розпаду молекули води в такої поверхні зростає.

Технології нанокристалів і гранульованих плівок напівпровідникових сполук осадженням пари газодинамічного потоку

Фреїк Д.М.¹, Малашкевич Г.Є.², Насипайко О.В.¹, Гридчук М.Я.¹

¹ Фізико-хімічний інститут Прикарпатського національного університету
імені Василя Стефаника, Івано-Франківськ, Україна

² Інститут молекулярної і атомної фізики НАНБ, Мінськ, Білорусь

Методи одержання тонких плівок напівпровідникових сполук випаровуванням у „відкритий” вакуум є нерівноважними і мають проблеми із збереженням стехіометричного складу [1]. Більш вигідним з погляду термодинаміки процесу є рівноважний метод запаяної ампули [2].

Технології квазізамкнутого об'єму і гарячої стінки забезпечують, як можливість простої заміни підкладок і багаторазового нанесення різних матеріалів в одному циклі осадження, так і є рівноважними при інтенсивному обміні конденсату з паровою фазою [1].

Нами, на основі методу гарячої стінки, запропонована технологія із температурно-градієнтними стінками, яка забезпечує формування газодинамічного потоку пари із розподіленими параметрами пари і ступенем пересичення. При цьому конденсуючі підкладки розміщують вздовж стінок камери, тобто у напрямку переміщення потоку пари [1].

При випаровуванні речовини у замкнутому об'ємі із градієнтом температури виділяються два участки переміщення пари – молекулярний і газодинамічний потік. Зауважимо, що при незмінній початковій густині пари газодинамічний потік, за рахунок часткової конденсації може поступово вироджуватися у молекулярний. В залежності від характеру потоку, а також його термодинамічних параметрів та від роду підкладок (аморфні, монокристали) можна вирощувати, як окремо розміщені нанокристали, так і гранульовані плівки. В роботі оптимізована технологія стосовно телуридів олова і свинцю.

Тема частково фінансуються ДФФД МОН України (проект №14,4/028).

1. Фреик Д.М., Галушак М.А., Межиловская Л.И. *Физика и технология полупроводниковых пленок*. Вища школа. Львів. 152с. (1988)
2. Кузнецов В.Д. *Кристаллы и кристаллография*. Гостехиздат. М. 368с. (1963)

Аксіальне кристалічне поле і політипи в GaSe

Хандожко О.Г.¹, Ластівка Г.І.¹, Ковалюк З.Д.², Слинько Є.І.²

¹Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича, Чернівці, Україна

²Чернівецьке відділення ІПМ НАН України, Чернівці, Україна

Для структурних досліджень шаруватих матеріалів на основі сполук A^3B^6 метод ядерного квадрупольного резонансу (ЯКР) являється досить ефективним інструментом. В шаруватій сполуці GaSe умови спостереження ЯКР реалізуються завдяки наявності квадрупольних моментів у ізотопів ^{69}Ga і ^{71}Ga . Оскільки, у ядра галію спін $I=3/2$, тому в бездефектній кристалічній структурі GaSe за наявності аксіального кристалічного поля для даних ізотопів повинна була б реєструватися лише одна резонансна лінія. Проте, в монокристалах GaSe спостерігається спектр ЯКР, який складається з двох інтенсивних ліній, кожна з них являється не повністю розділеним дублетом. Було висунуто припущення, що причиною появи дублетів ЯКР є наявність структурних дефектів – політипів з ε - і γ -модифікаціями. З метою визначення аксіальності кристалічного поля і характеру структурних дефектів були проведені дослідження спектрів ЕПР GaSe:Gd. У невідпалених кристалах спостерігалися складні спектри ЕПР Gd^{3+} з відносно слабкою інтенсивністю. Після відпалу при температурі 500°C та послідовним загартовуванням інтенсивність сигналу ЕПР різко збільшувалася і спектр значно спростився. В цьому випадку можна було виділити дві групи з семи ліній ЕПР, які є характерними для іона Gd^{3+} . Для цих спектрів виявлена сильна орієнтаційна залежність при повороті кристалу відносно магнітного поля \mathbf{H}_0 у площині, яка співпадає з віссю c . У той же час, при обертанні кристалу навколо осі c , яка є нормальною до \mathbf{H}_0 , орієнтаційна залежність спектру практично була відсутня. Характер орієнтаційної залежності і вид спектру вказує на некубічне оточення парамагнітних центрів. Одержані результати свідчать про те, що Gd заміщає атоми Ga і кристалічне поле в місці розташування парамагнітного зонда являється аксіальним. Наявність двох груп найінтенсивніших ліній вказує на присутність у сполуці GaSe двох типів парамагнітних центрів. Цей факт можна пояснити існуванням двох нееквівалентних станів іонів Gd при заміщенні атомів Ga в політипних структурах ε - і γ -модифікацій. Проведені дослідження

вказують на кореляцію даних ЯКР і ЕПР в шаруватій сполуці GaSe. А саме, обидва методи вказують на нееквівалентність у локальному оточенні двох груп атомів Ga в GaSe, що є характерним для кристалічних модифікацій ϵ - і γ -типів. Виходячи з розподілу інтенсивності ліній у спектрі ЯКР можна зробити висновок, що в шаруватих монокристалах GaSe, одержаних методом розплаву, переважаючою є фаза ϵ -політипу.

Термодинаміка керування процесом рідкофазової епітаксії шарів твердих розчинів $\text{Ca}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$

Ходаківський В.В., Москвін П.П.

Житомирський державний технологічний університет, Житомир, Україна

Шари твердих розчинів $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ товщиною в декілька мікрометрів використовуються в якості активних середовищ приймачів інфрачервоного діапазону. Цілеспрямоване керування параметрами шарів передбачає проведення термодинамічного аналізу процесу фазоутворення в епітаксійній системі.

В запропонованій роботі виконаний кінетичний аналіз процесу вирощування твердих розчинів $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ стосовно найбільш поширених на практиці температурно-часових умов фазоутворення. В основу розробленої моделі кристалізацій лягли термодинамічні уявлення про можливість опису фазових рівноваг в системі моделлю поліасоціативних розчинів [1,2]. Саме рівняння цієї моделі разом з вимогами збереження компонентів на межі поділу розплав-кристал формували граничні умови для розв'язання диференціальних рівнянь дифузійного масопереносу компонентів в об'ємі рідкої фази.

Отримана, таким чином, крайова задача повністю описувала процес утворення плівки з розчину-розплаву в системі $\text{Cd}-\text{Hg}-\text{Te}$. Розв'язки задачі отримані чисельними методами для різних параметрів проведення технологічного процесу кристалізацій твердого розчину. Термодинамічні параметри для розрахунків параметрів діаграми стану взяті з [2], а необхідні значення дифузійних коефіцієнтів кадмію та ртуті були знайдені нами шляхом обробки експериментальних результатів по кристалізацій в системі $\text{Cd}-\text{Hg}-\text{Te}$.

За допомогою знайдених в роботі термодинамічних параметрів системи в роботі виконано моделювання процесу кристалізації твердих розчинів $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ для різних температурно-часових умов росту. Досягнута достатньо висока вірогідність опису взаємозв'язку між умовами проведення технологічного процесу вирощування шарів з параметрами твердого розчину. Це дає підстави вважати розроблену дифузійну модель кристалізації трикомпонентного твердого розчину $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$, коли для

опису фазових рівноваг використовується модель поліасоціативних розчинів, застосовною для прогнозування умов отримання шарів із заданими параметрами.

1. Moskvin P.P., Khodakovsky V.V., in Proc. I International Conference “Electrons And Applied Physics” Kyiv, P.64 (2005).
2. Москвин П.П., Рашковецкий Л.В. // *ЖФХ*, **80**(9), с. 1568-1573 (2006).

Модификация электрофизических параметров МДП структур с тонким диэлектриком Ta₂O₅ кратковременным СВЧ отжигом

Шинкаренко В.В.

Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева НАНУ, Киев, Украина

Диэлектрик Ta₂O₅, наряду с Al₂O₃ и TiO₂, является одним из альтернативных к общепринятому SiO₂. Перспективность пентаоксида тантала обусловлена высокой диэлектрической постоянной ($\epsilon_{\text{Ta}_2\text{O}_5} \approx 27-30$, тогда как $\epsilon_{\text{SiO}_2} \approx 3,5-4$, $\epsilon_{\text{Al}_2\text{O}_3} \approx 10.5-12$, $\epsilon_{\text{TiO}_2} \approx 40-80$ [1]), низких токах утечки, высоким химическим и структурным постоянством.

Среди возможных способов напыления диэлектрических пленок Ta₂O₅ следует выделить два наиболее результативных. Согласно первому способу напыления чистый Ta напыляют на полупроводниковую подложку в атмосфере Ar + 10 % O₂. Полученные пленки обладают четким переходом окисел тантала-кремний, но в области поверхность-окисел тантала характеризуются повышенным содержанием кислорода [2]. Второй способ заключается в магнетронном напылении металлического тантала на кремниевую подложку с последующим термическим окислением. Полученные таким образом пленки обладают более однородной стехиометрией, однако в результате такого напыления в области окисленный тантал-кремний образуется нанотолщинная прослойка содержащая SiO₂ и низшие окислы кремния и тантала, что приводит к существенному снижению емкостных характеристик МДП структуры [3].

В работе приведено влияние кратковременного низкоэнергетического (1,5 Вт/см²) СВЧ облучения на ВАХ и ВФХ МДП структур металл-Ta₂O₅-pSi с полученным обоими способами диэлектриком. Найдены корреляции между вольтамперными и вольтфарадными характеристиками МДП структур, исходя из которых предложена модель влияния микроволнового облучения на параметры МДП структур с диэлектриком Ta₂O₅.

1. *Физико-химические свойства окислов. Справочник* / Под ред. чл.-корр. АН УССР Г.В. Самсонова. Металлургия, М.: 471 с. (1978).
2. Paskaleva A., Atanassova E., Dimitrova T.. Leakage current and

- conduction mechanisms of Ta₂O₅ layers on Si obtained by RF sputtering // *Vacuum*. **58**. pp. 470-477 (2000).
3. Atanassova E., Kalitzova M., Zollo G., Paskaleva A., Peeva A., Georgieva M., Vitali G.. High temperature induced cristallization in tantalum pentoxide layers and its influence on the electrical properties // *Thin Solid Films*. 426, pp. 191-199 (2003).

Microwave absorption of patterned arrays of Permalloy nano-strips with different aspect ratios

Golub V.¹, Danilevich A.¹, Vovk A.^{1,2}, Malkinski L.², Yu M.²

¹*Institute of Magnetism NAS of Ukraine, Kyiv, Україна*

²*University of New Orleans, LA, USA*

Research on magnetization processes and spin dynamics in magnetic nanoparticles is important because of their unique magnetic properties and potential applications in information technology and wireless communications. Conventional magnetic microwave materials, such as spinels, hexaferrites and garnets are insulators. Metals were usually excluded from the microwave applications because the conduction losses were too high. This restriction does not apply to nanostructures, which sizes are much smaller than the penetration depth of microwaves. The advantages of the nanostructures of ferromagnetic transition metals over conventional materials are: larger magnetization and a simpler technology, which can easily be integrated with the common processes in semiconductor technology. The aim of this work is to investigate the effect of shape anisotropy on microwave absorption, which can be used to tailor microwave spectra by designing arrays consisting of stripes or wires with specific aspect ratios.

Patterened arrays of 100 nm thick, 300 nm wide Permalloy stripes separated by 1 μm gaps covering the area of 1.5 mm x 1.5 mm were fabricated using the electron beam nanolithography. A series of the stripes with different aspect ratios: 1:1, 1:2, 1:3, 1:5, 1:10 and 1:300 were produced. The quality of the patterning was tested using scanning field emission microscopy and atomic force microscopy. The microwave properties of the arrays were measured at the frequency of 9.9 GHz using EPR spectrometer (Bruker EMX). The microwave absorption was measured with the field normal to the plane and in-the-plane of the array. In the latter case the angular dependencies of the resonant field and the ferromagnetic resonance linewidth were studied.

The angular dependence of the resonant field was determined by the shape anisotropy of the stripes. The resonant field increased from about 800 Oe to 2400 Oe when the applied field was rotated out of the easy direction in the plane of the array for the arrays with large aspect ratios. This effect can be used for engineering microwave properties of magnetic nanocomposites.

Selected experimental data have been compared with micromagnetic modeling results.

Principles of Quantum Chemical Simulating Two-Dimensional Structures of Inorganic Compounds

Grebenyuk A.G.

Institute of Surface Chemistry of National Academy of Sciences, Kyiv, Ukraine

The main task of solid state chemistry is establishment of the relations between the structure of surface layer and its reactivity. The application of quantum chemical methods to the design of structural models for crystals makes the results obtained essentially more informative. Two-dimensional (layered) structures can be merely regular crystals or thin films deposited onto appropriate matrix. In both cases they can be examined theoretically within either periodical or cluster approximations. The intermediate way (so-called slab model) requires considering small number of simple layers that provides a suitable mode of shortening computing time. Use of the cluster approach assumes isolation of a definite part of crystalline lattice, and frontier conditions should be satisfied for surface atoms because their nearest coordination environment differs essentially from that peculiar to internal (bulk) atoms. Note, that the most of inorganic compounds has a hypervalent structure where coordination numbers of the atoms or ions exceed their normal valences.

Some principles can be proposed for constructing molecular models. The principle of coordination stoichiometry reads: the ratios of average coordination number to related ionic valence must be the same for all atoms of the model; this is true in the bulk. This principle can be satisfied via inserting pseudoatoms or particular atomic groups at the boundaries of the cluster, for example, $>Al=O$ species in case of aluminum hydroxide. The associative principle of the formation of hypervalent structures can easily explained provided an oxide is taken as an example. Thus, a molecular model can be designed as an associate of relative hydroxide molecules, the hydroxyl groups of each such molecule being coordinated to the positively charged atoms of other molecules. Such a technique was used in the models of both simple (stishovite SiO_2 , titania, alumina) and binary oxides. The increase in atomic coordination numbers can occur due to formation of intermolecular coordination bonds of oxide structures. The condensation principle of the formation of coordination centres allows us to construct models of full-valent oxides due to condensation of some molecules of related hydroxides. In case of hypervalent oxides, it is necessary firstly to build definite associates of hydroxide molecules, then an oxide cluster can be designed. Layered crystals can be divided into some classes as dependent on coordination numbers of atoms and valent type of planar net. Thus, there are 3- (SnS), 4- (PbO), 6- (MoS_2) and 8-fold (ThI_4) coordination of metal atoms in binary compounds. Relative molecular models can be designed for all structures

mentioned by application of the principles discussed.

Quantum Chemical Study on The Formation of High-Molecular Products of Thionine Chloride Thermal Destruction on Silica Surface

Demianenko E.M., Grebenyuk A.G.

Institute of Surface Chemistry of National Academy of Sciences, Kyiv, Ukraine

When examining adsorption of organic molecules on high disperse silica surface, a problem arises on the change in reactivity of adsorbed molecules as compared with those of free ones (in gaseous phase). Experimental methods of examination not always allow us to elucidate the elemental acts of reaction mechanisms.

The reactions have been examined in a theoretical way of polymerization of the products of thermal destruction of adsorbed thionine chloride on silica surface. The most probable destruction channels in surface layer have been considered within non-empirical quantum chemical Hartree-Fock-Roothaan method with use of 3-21G** basis set. When simulating adsorption complexes, a cluster model for silica surface was used of Si₁₆H₂₆O₄₅. The spatial structures have been analyzed of the possible (due to masses) molecular fragments of thionine chloride probably formed due to thermal destruction and their geometry parameters have been optimized. Correlations have been found between calculated results and experimental mass-spectra of the destruction products and probable ways of thermal destruction have been fixed.

The mass-spectrometry analysis of the products of thermal destruction of crystalline thionine chloride C₁₂H₉N₃S·HCl testifies [1] that the process begins from detaching hydrogen chloride molecules. We found the process to follow a transformation of the ionic structure into a molecular associate. In a free state, aniline is separated at 290°C followed by H₂S evolution (at 440°C) with forming a high-molecular product. If adsorbed on silica surface, the parental substance does not chip aniline off whereas H₂S is separated at 600°C. A probable addition has been found of the destruction product to thionine:



what is one of the probable channels of the formation of a polymeric film on silica surface. Models have been designed for the products of thermal decomposition of thionine chloride in the free state as well as adsorbed on silica surface, energy characteristics having been calculated of related reactions.

1. Kulik T.V., Galagan N.P., Pokrovskiy V.A., and Khrapak V.V. Studies of adsorbed phenothiazine antidotes by temperature-programmed desorption with mass-spectrometric analysis // Chemistry, physics and technology of surfaces. – Iss. 7-8/ Editor-in-Chief A.A. Chuiko. Kyiv: KM Academia, pp.

46-56 (2002).

Effect of Radiation-Induced Ordering in Structures With Nanocrystalline Silicon

Lisovskyy I.P.¹, Litovchenko V.G.¹, Evtukh A.A.¹, Muravska M.V.¹,
Voitovych V.V.², Manojlov E.G.¹

¹Lashkarjov Institute of Semiconductor Physics NAS Ukraine, Kyiv, Україна

²Institute of Physics NAS Ukraine, Kyiv, Україна

Now remarkable efforts are focused both on broadening the spectral range and increasing the intensity of light emitting by systems of ncSi/SiO₂. In the latter case heat treatments in hydrogen and oxygen content medium or illumination with high intensity UV light are rather efficient. In the present work for this aim an ionizing radiation is used, and for the first time it was shown that treatment with small doses of ionizing radiation enables to substantial raise the intensity of the photoluminescence (PL) band for such systems.

Structures with ncSi imbedded into SiO₂ were obtained by high-temperature (1100 °C) annealing of SiO_x films produced by CVD. The samples were treated to γ -irradiation (Co⁶⁰) within the dose range of 10⁴ – 10⁶ rad. IR transmission spectra and PL spectra were measured, in the latter case the excitation by nitrogen laser was used.

Small doses of γ -irradiation results in remarkable increase of the intensity of the PL band (~1,49 eV), the maximum effect (up to 3 times) being observed at the dose of 3×10⁵ rad (Fig. 1). Subsequent irradiation leads to reduction of the PL intensity (Fig. 2). PL band position did not change, i.e. radiation did not influence on the size of nanocrystals. Irradiation did not practically affect the position, intensity and the shape of the Si-O absorption band (~1090 cm⁻¹) that indicates an invariability of ncSi portion in the film. The effect of small doses is most likely connected with elimination of recombination centers on ncSi/SiO₂ interface.

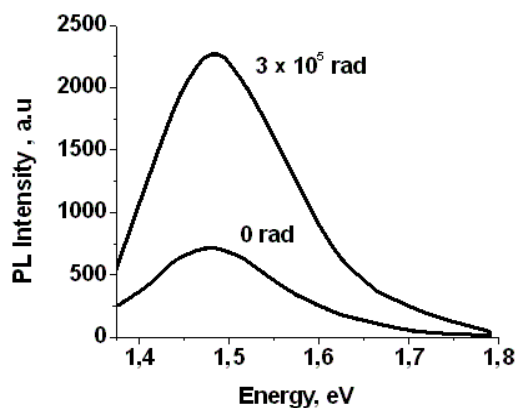


Fig.1.

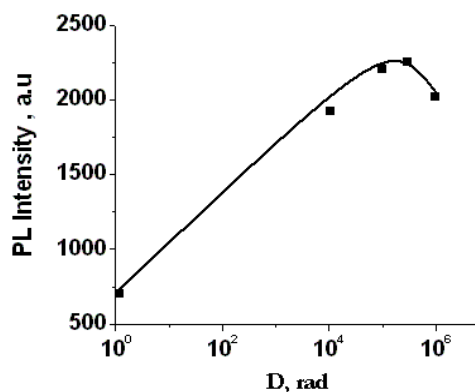


Fig.2

Novel Model for Film Formation in Plasma Processing

Shaginyan L.R.^{1,2}

¹*Institute for Materials Science Problems of National Academy of Sciences of Ukraine,
Kiev, Ukraine*

²*Center for Advanced Plasma Surface Technology,
Chun-Chun-Dong Jangan-gu Suwon, Korea*

Films of any structural level beginning from nano-structured materials and finishing epitaxial films deposited by plasma-based methods are formed from fluxes of particles with increased energy. Contemporary theories developed for such film growth are mainly focused on collision-induced effects producing by energetic species on the growth surface. At the same time, more than 95% of the energy of such species during their condensation is released as heat. Therefore one can expect that the heat, which must be released within thinnest superficial growing layer, should considerably affect the film structure. In this paper, we present the results of detailed investigation of structure of metal films deposited by magnetron sputtering from fluxes of energetic and thermalized atoms and the results of measurement of a surface temperature developing during condensation of sputtered metal atoms. Prominent changes revealed in film structure, which varies along the thickness from fine-grained in the substrate / film interface region to coarse-grained in the upper part of the film correlate with variation in *surface* temperature measured by IR-camera. Surface temperature being equal to the bulk substrate temperature at the beginning of deposition steeply increases and reaches values several times higher than the *substrate* temperature at the end of the process. Based on these results we developed physical-mathematical model explaining the reason of the existence of the temperature difference between the surface and the substrate. The basic feature of the model is the formation of a thin liquid-like hot layer on the growth surface. The layer consists of condensing atoms, exists during deposition and disappears together with the termination of the deposition. Following this model the film forms by “gas→liquid→solid” phase transition mechanism rather than “gas→solid” transition. The “gas→liquid→solid” mechanism realizes at normalized temperature $T_s/T_m < 2/3$ provided that it is deposited from energetic atoms.

Magnetic and Transport Properties of Heusler Alloys Thin Films

Vovk A.^{1,2}, Golub V.¹, Pogoriliy A.¹, Malkinski L.², O'Connor C.J.², Tang J.²

¹*Institute of Magnetism NAS of Ukraine, Vernadsky blvd. 36-b, 03142, Kyiv 142*

²*University of New Orleans, 2000 Lakeshore dr. New Orleans, LA, 70148, USA*

Heusler alloy thin films (HATF) are promising materials for magnetoelectronics due to their unusual physical properties. Recently it was demonstrated that some of these films show large negative magnetoresistance

(MR) effect [1, 2] that can be used for development of a new class of magnetic sensors, magnetic data storage devices, etc.

It is known that physical properties of HATF strongly depend on their composition, structure and details of preparation technique [3].

In this work we study transport and magnetic properties of Heusler alloy thin films NiMnGa and NiMnAl prepared by laser pulse depositions. The effects of the technological process details and post deposition heat treatment are investigated. The films with thickness of about 200 nm were deposited on Al₂O₃ and Si substrates held at room temperature (RT) and 773 K in vacuum of 10⁻⁶ Torr. The films deposited at RT were progressively annealed at temperatures up to 773K. Their structure was studied by the X-ray diffractometry and Field Emission Scanning Microscopy and the composition was determined by EDAX. Transport properties of the films were measured using Quantum Design PPMS and magnetic properties by Quantum Design MPMS magnetometer in the temperature range 5-350K.

It was found that amorphous disordered non-magnetic films are formed during deposition on the substrate held at RT. Post-deposition heat treatment leads to partial re-crystallization and recovery of the magnetic properties. The highest MR values (up to 5 % at 5 K and 3.2% at 325 K in the field of 5 T) were observed in NiMnGa films deposited on the substrates held at 773K.

Contrary to the data reported in Ref. 1 we observe negative MR of about 2.5% at 5K and 1.6% at RT in magnetic field 5T for the films of NiMnAl. These are the highest MR for these films reported up to date. The origin of MR is discussed on the base of structural, transport and magnetic properties investigations. It was shown that the origin of anomalous negative MR in HATF is of the same nature as Giant Magnetoresistance of transition metal granular solids [4].

1. M.S. Lund et al. // *Appl. Phys. Lett.* **80**, P. 4789 (2002).
2. V.O. Golub et al. // *J. Appl. Phys.* **96**, P. 3865 (2004).
3. Yu.V. Kudryavtsev et al. // *J. Appl. Phys.* **97**, P. 113903 (2005).
4. J.Q. Wang et al. // *Phys. Rev. B* **49**, P. 3982 (1994).

СЕКЦІЯ 1 (стендові доповіді)
**ТЕХНОЛОГІЯ ТОНКИХ ПЛІВОК (МЕТАЛИ,
НАПІВПРОВІДНИКИ, ДІЕЛЕКТРИКИ, ПРОВІДНІ
ПОЛІМЕРИ) І МЕТОДИ ЇХ ДОСЛІДЖЕННЯ**
8-12 травня 2007 р.

SESSION 1 (poster)
**THIN FILMS TECHNOLOGY (METALS,
SEMICONDUCTORS, DIELECTRICS, CONDUCTIVE
POLYMERS) AND THEIR RESEARCH METHODS**
May, 8-12, 2007

Властивості легованих іонами міді плівок KNbO_3 .

Андреева А.Ф., Касумов А.М., Крисюк О.І.

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича

В роботі були досліджені структура, діелектричні та оптичні властивості тонких плівок ніобату калію, легованого міддю. Домішки міді (від 1 до 15%) вводили шляхом електродифузії з мідних електродів при напруженості електричного поля $10^4 - 10^5$ В/см і частоті 1 кГц.

Відомо, що при малій концентрації іони Cu^{2+} утворюють в KNbO_3 поодинокі центри, які розташовані в забороненій зоні. При збільшенні концентрації міді в KNbO_3 спостерігається утворення парних домішкових центрів Cu^{2+} та $-\text{Cu}^{2+}$. Модель наведених парних центрів являє собою ланцюг з двох еквівалентних іонів Cu^{2+} та трьох вакансій кисню, що витягнуті вздовж осі (100) [1, 2].

В представленій роботі за даними електроннографічного дослідження було показано, що введення Cu в ґратку KNbO_3 призводить до збільшення об'єму елементарної комірки плівок.

При малих концентраціях міді (< 5%) в спектрі поглинання KNbO_3 спостерігався пік, який відповідає енергії 3,32 еВ. Цей пік було віднесено до поглинання іонами міді. Ширина забороненої зони E_g , що була визначена зі спектру поглинання плівок KNbO_3 , дорівнювала 3,80 еВ. Таким чином, найближча відстань від домішкового рівня міді до краю забороненої зони складає $\Delta E = E_g - E_{\text{Cu}} = 0,48$ еВ. При більш високих концентраціях (10 – 15%) пік поглинання іонами міді зникав, можливо, через розширення домішкового рівня в зону і злиття її з краєм зони провідності.

При легуванні плівок ніобату калію міддю одержано суттєве збільшення величини (~ 5 порядків) діелектричної проникності ϵ в порівнянні з нелегованими зразками. Така величина ϵ для KNbO_3 одержана вперше і ϵ

дуже важливою що до зменшення розмірів елементів в інтегральних схемах і в інших пристроях на основі ніобату калію.

1. Баранов П.Г., Бадалян А.Г., Азамат Д.В. Магнитный резонанс обменно – связанных комплексов меди в кристаллах со структурой перовскита – танталате калия и купратных сверхпроводниках. // *ФТТ*. **43**(1). сс. 96 – 107 (2001)
2. Азамат Д.В., Бадалян А.Г., Баранов П.Г., Сырников П.П., Трепаков В.А. ЭПР парных центров меди в кристаллах со структурой перовскита. // *Письма в ЖЭТФ*. **69**(12). сс. 890-894. (1999)

Люмінесценція епітаксійного GaAs, отриманого з розчину в розплаві вісмуту.

Баганов Є.О¹., Буряченко В.І¹, Коваленко В.Ф¹., Лебедь О.М.²,
Шутов С.В³.

¹*Херсонський національний технічний університет*

²*Херсонський морський інститут*

³*Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України.*

Можливості керування концентрацією власних точкових дефектів, а отже й процесами входження домішок у шар GaV^V, що кристалізується, при епітаксії з розчину у розплаві галію, обмежені природним співвідношенням компонентів на фронті кристалізації відповідно до фазової діаграми стану системи. Використання при рідкофазній епітаксії бісмуту в якості метала-розчинника дозволяє у досить широкому діапазоні змінювати співвідношення компонентів на фронті кристалізації.

Досліджували шари GaAs, отримані примусовим охолодженням насиченого розчину-розплаву Bi-Ga-In-As. Температури початку й кінця епітаксії у всіх експериментах становили 850 °С і 650 °С, відповідно, швидкість охолодження – 0,8 °С/хв., товщина розчину-розплаву 1,2 – 1,4 мкм. В якості підкладок використовували напівізолюючі GaAs:Cr ($\rho = 10^7$ Ом·см) пластини, орієнтовані у площині (100). Насичення розплаву проводили розчиненням шихти InAs і GaAs. Зміст надлишкового арсену у рідкій фазі у відносних одиницях змінювався в межах $1,00 \leq X_{As}^L / X_{Ga}^L \leq 1,14$.

Інтегральна інтенсивність фотолюмінесценції зменшувалася зі збільшенням вмісту надлишкового, відносно галію, арсену у розчині-розплаві. З огляду на те, що концентрація основних носіїв при цьому залишалася практично незмінною, можна припустити, що зменшення інтегральної інтенсивності фотолюмінесценції, згідно закону діючих мас, обумовлено збільшенням концентрації вакансій галію, які є ефективними центрами безвипромінювальної рекомбінації у GaAs. У спектрах зразків з найбільшою концентрацією носіїв заряду спостерігався ряд

довгохвильових смуг випромінювання з $h\nu \approx 1,40 - 1,42$ еВ, $0,98$ еВ і $0,82$ еВ малої інтенсивності. Центри випромінювання, що зумовлюють наявність цих смуг, є, очевидно, комплексними, тобто складаються з декількох вакансій або вакансій і домішкових атомів. З'ясування їхньої природи потребує додаткових досліджень.

Импульсный отжиг слоев кремния, имплантированных ионами эрбия: структура и фотолюминесценция

Баталов Р.И.¹, Баязитов Р.М.¹, Крыжков Д.И.², Ивлев Г.Д.³, Гайдук П.И.⁴, Marques C.P.⁵, Alves E.⁵

¹Казанский физико-технический институт КазНЦ РАН, Казань, Россия

²Институт физики микроструктур РАН, Нижний Новгород, Россия

³Институт электроники НАН Беларуси, Минск, Беларусь

⁴Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

⁵Instituto Tecnológico e Nuclear, Sacavem, Portugal

В настоящей работе исследованы особенности импульсного отжига слоев Si, имплантированных ионами Er⁺. Монокристаллы n-Si (100) были имплантированы ионами Er⁺ с энергией $E = 100$ кэВ при комнатной температуре в диапазоне доз $\Phi = 10^{15} - 10^{17}$ см⁻². Отдельные кристаллы Si были дополнительно имплантированы ионами кислорода (O⁺) с энергией $E = 40$ кэВ и с дозой $\Phi = 10^{17}$ см⁻². После имплантации образцы Si были подвергались импульсной обработке наносекундными лазерными ($\lambda = 0.69$ мкм, $\tau = 80$ нс, $W = 1-2$ Дж/см²) или ионными (C⁺, $E = 300$ кэВ, $\tau = 50$ нс, $W = 1-2$ Дж/см²) пучками. Структурные и оптические свойства слоев Si:Er исследованы методами рентгеновской дифракции, просвечивающей электронной микроскопии, Резерфордского обратного рассеяния и фотолюминесценции (ФЛ).

Установлено, что импульсная обработка слоев Si:Er сопровождается эпитаксиальной кристаллизацией аморфных слоев, предотвращает образование протяженных дефектных структур в матрице Si, приводит к образованию ячеистых структур с размерами ячеек до 200 нм (для доз $\Phi \leq 10^{16}$ см⁻²), а также приводит к синтезу мелкозернистых поликристаллических силицидов эрбия (при дозах $\Phi \sim 10^{17}$ см⁻²). Распределение по глубине атомов Er в Si зависит от концентрации примеси: при низких дозах имплантации ($\Phi \leq 10^{16}$ см⁻²) примесь вытесняется к поверхности (сегрегация), при высоких дозах ($\Phi \sim 10^{17}$ см⁻²) - преимущественно диффундирует вглубь кристалла Si. Со-имплантация Si ионами O⁺ и Er⁺ уменьшает эффект сегрегации, позволяя создавать более однородно легированные слои. Слои Si:Er, подвергнутые импульсной обработке и термическому отжигу (до 800⁰С), обладают фотолюминесцентными свойствами в ближней ИК области при $T = 77$ К,

что выражено в интенсивных сигналах ФЛ на длинах волн 1.54 и 1.13 мкм.

Работа поддержана грантом № МК-3048.2006.2 Президента РФ и Программой ОФН РАН «Новые материалы и структуры».

Пленки Ленгмюра-Блоджетт с иммобилизованными комплексами рутения и исследование их оптических свойств

Безкровная О.Н., Саввин Ю.Н., Добротворская М.В.

Институт Монокристаллов НАН Украины, Харьков, Украина

Метод Ленгмюра-Блоджетт (ЛБ), позволяющий воспроизводимо получать молекулярные моно- и мультислой из органических низкомолекулярных и высокомолекулярных соединений с контролируемой толщиной и ориентацией молекул в пространстве, в настоящее время находит широкое применение в различных областях науки и техники, в частности, при создании биосенсоров, нелинейной оптике, наноэлектронике.

Для создания сенсорных устройств, чувствительных к определению рН, пробы на присутствие CO₂ и глюкозы, находят применение органические комплексы рутения, проявляющие окислительно-восстановительные и люминесцентные свойства. Известно создание мультислойных структур на основе амфифильных комплексов рутения, однако введение водорастворимых органических комплексов в структуру монослоя, получение многослойных пленок ЛБ, их стабильность и спектрально-люминесцентные свойства к настоящему времени остаются мало изученными.

Целью настоящей работы было определить оптимальные условия получения стабильных монослоев и мультислойных пленок Ленгмюра-Блоджетт, основанных на монослоях стеариновой кислоты (СтК) и полиамидокислоты (ПАК) с иммобилизованным комплексом рутения и изучить их спектрально-люминесцентные свойства.

Изучены поверхностные π – А изотермы монослоев, содержащих различные соотношения компонентов СтК:октадециловый спирт (ОДС) и приготовлены стабильные мультислойные пленки ЛБ состава СтК+комплекс рутения и ПАК+комплекс рутения. Определено, что при увеличении содержания ОДС в монослое, площадь, приходящаяся на молекулу СтК, определяется площадью, приходящейся на комплекс рутения. Показано, что с увеличением числа слоев линейно возрастает интенсивность люминесценции. Наблюдается незначительный батохромный сдвиг (2-8 нм) максимума полосы поглощения комплекса рутения в пленках ЛБ по отношению к его водному раствору. При помощи метода рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии определено оптимальное количество монослоев в мультислойной пленке для

получения сплошного покрытия на ИТО подложках.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта УНТЦ G-77.

Влияние технологических режимов напыления на прочностные свойства плазменных покрытий

Бесов А.В.¹, Долгов Н.А.², Зубрецька Н.А.³

¹*Институт проблем материаловедения им.И.Н.Францевича НАН Украины, Киев, Украина*

²*Институт проблем прочности им.Г.С.Писаренко НАН Украины, Киев, Украина*

³*Киевский национальный университет технологий и дизайна, Киев, Украина*

Исследование влияния на адгезионную прочность покрытий технологических факторов является актуальной научно-технической задачей. В работе была установлена функциональная зависимость адгезионной прочности от наиболее значимых технологических факторов.

Нанесение покрытий из порошка кобальт-хромового сплава проводилось на специально созданной микроплазменной установке «ПЛАСТ». Для определения адгезионной прочности покрытий использовалась клеевая методика.

На основе изучения априорной информации и результатов предварительных экспериментальных исследований были выделены технологические факторы, наиболее влияющие на адгезионную прочность: размер частиц, ток и дистанция напыления. В таблице приведены натуральные значения этих технологических факторов.

В результате испытаний были получены значения адгезионной прочности исследуемых плазменных покрытий при изменении технологических факторов, в соответствии с планом эксперимента. По результатам регрессионного статистического анализа получена зависимость адгезионной прочности $\sigma_{адг}$ (в МПа) от технологических факторов [1]:

$$\sigma_{адг} = 13,01 + 2,23 \cdot x_1 + 1,06 \cdot x_2 - 0,24 \cdot x_3 + 0,27 \cdot x_1 \cdot x_2 - 2,78 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,89 \cdot x_2 \cdot x_3$$

Таблица

Факторы, влияющие на величину адгезионной прочности покрытий и уровни их варьирования

Факторы		Уровни варьирования
Ток (I , А)	X_1	4-8
Дистанция напыления (D , см)	X_2	3 - 6
Средний размер частиц (d , мкм)	X_3	45-80

1. Бесов А.В., Зубрецька Н.А., Долгов М.А. Вплив технологічних факторів на адгезійну міцність плазмових покриттів // *Процеси механічної обробки в машинобудуванні*. ЖДТУ, Житомир, 3, сс.3-12 (2006).

Статистичне моделювання структури ближнього порядку аморфних плівок селенідів миш'яку

Бобик М.Ю.

Ужгородський національний університет, Ужгород, Україна

Вивченні ближнього порядку (БП) аморфних речовин зводиться до вирішення трьох основних питань: 1. Ідентифікація всіх структурних одиниць (СО), які реалізуються в даній речовині, та визначення їх структурних параметрів. 2. Знаходження статистичних функцій розподілу СО. 3. Встановлення правил об'єднання різних СО між собою в більш масштабні структурні фрагменти. При розв'язуванні таких задач корисними є конкретні передбачення про структуру аморфної матриці, тобто її модель. Остання може бути взята як певне теоретичне наближення або як результат аналізу експериментальних даних. Крім цього, при визначенні імовірності реалізації різних СО використовуються додаткові тривіальні закономірності, наприклад, умова постійності числа хімічних зв'язків у системі певного хімічного складу або умова повного насичення всіх зв'язків у атомній сітці.

Найбільш оптимальним для аморфних речовин нами вважається статистично-імовірнісний спосіб задання всіх СО, який найбільше відображає їх внутрішню сутність. Для цього ми пропонуємо з кожним атомом неупорядкованої матриці пов'язувати свою СО яка визначається цим атомом (як центральним) і його найближчими сусідами. Потім проводиться розподіл всіх СО на групи еквівалентних СО і встановлюються закономірності статистичного розподілу таких еквівалентних СО. Конкретний топологічний аналіз в рамках запропонованого підходу був проведений нами для халькогенідів елементів V групи періодичної таблиці в наближенні ідеальної неупорядкованої матриці. В рамках таких умов для першої координаційної сфери в структурі аморфних речовин систем $B^V - X^{VI}$ можливе існування більше 20 різних СО. Кожна така СО повністю описує характер упорядкування навколо даного атома його найближчих сусідів. Для моделей хімічно упорядкованої сітки атомів та статистично неупорядкованої сітки атомів розраховані функції імовірності реалізації $J(x)$ всіх таких СО.

Розрахунки показали, що для СО, які містять атоми різних сортів, графіки функцій $J(x)$ мають "кулоподібний" вигляд. Для СО із атомів одного сорту, функції $J(x)$ монотонно спадають від свого максимального значення для елементарної речовини. В рамках моделі статистично неупорядкованої сітки атомів функції $J(x)$ усіх СО визначені у всій області складів систем $B^V - X^{VI}$. Для моделі ж хімічно впорядкованої сітки атомів більшість СО, збагачених атомами халькогену, визначена лише в області

складів, що прилягає до халькогену, а СО, збагачених атомами елементу В – в області складів, що прилягають до цих елементів.

Використовуючи отримані функції розподілу СО, розраховані параметри БП неупорядкованих атомних сіток обох моделей: радіуси координаційних сфер, загальні та парціальні координаційні числа, дисперсії розподілів міжатомних зв'язків, розподіли кутів між хімічними зв'язками, середня внутрішня енергія на один атом, тощо. Модельні значення характеристик БП порівнюються з експериментальними функціями радіального розподілу аморфних речовин систем $V^V - X^{VI}$.

Динамика процессов плавления и кристаллизации, инициируемых в ZnTe наносекундным лазерным излучением

Борисенко В.Е.¹, Жвавый С.П.², Зыков Г.Л.²

¹*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь*

²*Институт электроники НАН Беларуси, Минск, Беларусь*

Тепловые процессы в теллуриде цинка, нагреваемом наносекундным лазерным излучением, и сопутствующие диффузионные процессы в приповерхностном слое моделировали путем численного решения одномерных уравнений теплопроводности и диффузии с учетом испарения компонентов с поверхности [1]. Концентрация компонентов в приповерхностном слое определяется скоростями их испарения на поверхности и диффузией в расплаве. Как следует из фазовой диаграммы Zn-Te [2], избыток Te в расплаве приводит к понижению температуры и скрытой теплоты кристаллизации. Эти зависимости были учтены в модели.

В результате проведенного моделирования было показано, что на стадии нагрева ход временной зависимости поверхностной температуры такой же, как и для полупроводников A^{IV} , а на стадии остывания он существенно отличается. Вместо характерного температурного плато на уровне равновесного значения температуры плавления, здесь на стадии кристаллизации наблюдается дальнейшее уменьшение температуры поверхности. Это связано с испарением компонентов ZnTe и изменением стехиометрии в приповерхностной области. На начальной стадии испарения обогащение поверхностного слоя теллуrom достаточно высокое ($> 0,7$). К моменту завершения процесса кристаллизации расплавленного слоя в результате диффузии атомов кадмия в расплаве происходит уменьшение обогащения поверхности теллуrom до 0,65. Увеличение плотности энергии приводит к увеличению толщины испаренного слоя и слоя, обогащенного теллуrom.

1. Zhvavyi S.P., Zыkov G.L. // *Applied Surface Science*. **253**(2), pp. 586–591 (2006).

2. Haloui A., Feutelais Y., Legendre B. // *Journal of Alloys and Compounds*. **260**. pp. 179-192 (1997).

Определение абсолютных значений периодов решетки кристаллических соединений с помощью многоволновой рентгеновской дифрактометрии

Борча М.Д., Кройтор О.П., Кшевецкий О.С., Ткач¹ О.О., Фодчук И.М.

Черновицкий национальный университет им. Ю. Федьковича

Черновцы, Украина

¹ *Институт металлофизики им. Г.В.Курдюмова НАНУ, Киев, Украина*

На основании явления окольного возбуждения волновых полей (эффекта Реннингера) представлены оригинальные методики определения абсолютных значений периодов решетки кристаллических соединений и многослойных наноразмерных систем. В зависимости от степени совершенства материала, погрешность измерения периодов решетки составляет $\Delta a \cong 10^{-4} \div 10^{-6} \text{ \AA}$.

Для расчета многоволновых дифрактограмм Реннингера на основании динамической теории рассеяния рентгеновских лучей разработан алгоритм и соответствующее программное обеспечение. Отмечается, что для уменьшения влияния инструментальных погрешностей на измерение периодов решетки кубических кристаллов выгодно использовать случайную многоволновую рентгеновскую дифракцию.

В качестве примера рассмотрено реализацию случайной многоволновой дифракции $CoK_{\alpha 1}$ -излучения в монокристаллах кремния путем изменения температуры образца. Выбраны трехволновые $(222, \bar{1}11/311)$ и $(222, \bar{1}\bar{3}1/151)$ дифракции (базисное отражение (222)). Температура образца изменялась в диапазоне $25 \div 180^\circ\text{C}$. Случайная многоволновая дифракция наблюдалась при $T = 74,5 \pm 0,3^\circ\text{C}$. Период решетки, в этом случае, равен $a_{cl}^{Si} = 5,431588 \pm 5 \cdot 10^{-6} \text{ \AA}$.

Для CdTe использовано базисное отражение (600) и $CuK_{\alpha 1}$ -излучение. Температура изменялась в диапазоне $-170 \div 70^\circ\text{C}$. На дифрактограммах наблюдалась случайная некопланарная шестиволновая $(600, \bar{1}33, 733, \bar{1}13, 713)$ и компланарная четырехволновая $(600, \bar{1}33, 733)$ дифракции. С понижением температуры структурно-эквивалентные широкие максимумы квазикомпланарной $(600, \bar{1}33, 733)$ дифракции сдвигаются навстречу друг к другу и полностью совмещаются при $T = -130 \pm 0,5^\circ\text{C}$, т.е. реализуется четырехволновая компланарная дифракция. В этом случае $a_{cl}^{CdTe} = 6,47788 \pm 3,0 \cdot 10^{-5} \text{ \AA}$. Полученные данные позволили уточнить характер температурной зависимости параметра решетки CdTe и влияние

на нее структурного совершенства образца.

Показана возможность уточнения температурной зависимости параметров решетки в тонких пленках InAs, выращенных на подложке GaAs, а также в многослойных системах, содержащие квантовые ямы и точки типа соединений $Ga_{1-x}In_xAs$.

Новый метод изучения электрической релаксации в тонких пленках полимерных сегнетоэлектриков

Бутенко А. Ф., Сергеева А. Е.

Кафедра физики и материаловедения, ОНАПТ, Одесса, Украина

Полимерные сегнетоэлектрики на основе поливинилиденфторида (ПВДФ) и его сополимеров обладают прекрасными механическими свойствами по сравнению с неорганическими материалами, однако по стабильности поляризованного состояния они все еще уступают неорганическим кристаллам. В связи с этим актуальным является изучение релаксационных процессов в ПВДФ с целью поиска путей повышения стабильности поляризации.

Электрическую релаксацию в диэлектриках обычно изучают, анализируя кинетику спада поверхностного потенциала. Вместе с тем, при изучении короноэлектретов часто применяют метод постоянного зарядного тока. Попытка объединить преимущества обоих методов привела нас к разработке нового способа исследования релаксационных процессов, заключающегося в анализе отклика электретного потенциала на воздействие прямоугольных импульсов тока. В результате весь процесс электризации разбивается на ряд отдельных фракций.

Решая уравнение полного тока для временных промежутков роста и спада потенциала в пределах одной фракции, мы получили выражения для кинетики электретного потенциала. Из сопоставления расчетных и экспериментальных кривых кинетики потенциала удастся разделить влияние диэлектрической проницаемости и проводимости на величину постоянной времени релаксации.

Для практической реализации разработанного метода односторонне металлизированные образцы ПВДФ помещали в коронно-разрядный триод, стабилизируя в течение некоторого времени зарядный ток, после чего высокое напряжение отключали на такое же время. Циклы "зарядка-разрядка" повторяли до тех пор, пока электретный потенциал, непрерывно измеряемый методом Кельвина, не становился равным напряжению на сетке триода.

Применение разработанного нами метода позволило установить, что процесс формирования поляризованного состояния в ПВДФ проходит три стадии, причем рост сегнетоэлектрической поляризации наблюдается

только на второй стадии. Этот процесс сопровождается необратимым уменьшением проводимости, что позволило высказать предположение о взаимосвязи поляризации с захватом зарядов на глубокие ловушки, приводящей к образованию стабильного объемного заряда.

Кристалічна структура, фотоелектричні властивості епітаксійних плівок, одержаних проплавкою мілісекундним рубіновим лазером поверхні n-CdTe

Галочкін О.В., Стребезев В.М., Рибак Є.В., Жихаревич В.В., Раренко І.М.

Чернівецький національний університет, Чернівці, Україна

Розраховано умови фазових перетворень та проведені експерименти по дії лазерного імпульсного випромінювання ($\tau=1,2$ мс) з довжиною хвилі $\lambda=0,694$ мкм в межах густини опромінюючої енергії 5-30 Дж/см² на монокристали n-CdTe і n-Cd_{0,8}Mn_{0,2}Te. Теоретична модель базується на допущенні, що при лазерному опроміненні проходить виділення теплоти внаслідок поглинання променів у поверхневому шарі кристалів, його плавлення і кристалізація при охолодженні за рахунок відведення тепла в глибину пластини. Морфологія поверхні утвореного епітаксійного шару, його глибина і кристалічна структура на поперечних сколах визначались з допомогою растрового електронного мікроскопу РЕМ-100У. При розрахунках стадії нагріву і охолодження знайдені рішення рівняння теплопровідності, що включає доданок; враховуючий поглинання променів на певній глибині зразка; зміну оптичних і термічних параметрів з температурою; приховану, поглинуту або виділену під час фазових перетворень теплоту; а також кількість речовини, що випаровується з поверхні зразка. Випромінювання розповсюджувалось вздовж осі Z нормально до поверхні зразка однорідної у площині X-Y. Рівняння теплопровідності бралось у

вигляді:
$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\alpha}{\rho C_p} I(z, t) + \frac{1}{\rho C_p} \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right),$$
 тут $I(z,t)=I_0(t)(1-R)\exp(-\alpha z)$,

де $I(z,t)$ – густина енергії лазерного випромінювання на глибині z в момент t ; T – температура; ρ – густина матеріалу зразка C_p – питома теплоємність; k – коефіцієнт теплопровідності; α – коефіцієнт поглинання випромінювання зразком; $I_0(t)$ – часова залежність енергії випромінювання лазера в гомогенному середовищі. Знаходження координат фронту між рідкою і твердою фазами в довільний момент часу здійснювалось з застосуванням

виразу: $\rho L v_\phi = k_s \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right)_s - k_l \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right)_l$, де L – питома теплота плавлення матері-

алу, v_ϕ – швидкість руху фронту фазового переходу, k_s і k_l – коефіцієнти теплопровідності відповідно для твердої і рідкої фаз. Порівняння теоретичної та експериментальної залежностей товщини проплавленого

шару в обох матеріалах від густини енергії лазерного випромінювання добре узгоджується. На графіках залежності фотопровідності від довжини хвилі в обох серіях зразків спостерігаються максимуми, наявність яких зв'язується з реальною структурою кристалів з проплавленою поверхнею.

Градiєнтні тонкоплівкові сплави халькогенiдiв германiю: технологiя, властивостi, застосування

Горват Г.Т., Лоя В.Ю.¹, Крафчик С.С.¹, Соломон А.М.¹

Ужгородський національний університет, Ужгород, Україна
¹*Інститут електронної фізики НАН України, Ужгород, Україна*

Завдяки високій світлочутливості аморфні плівки халькогенідних склоподібних напівпровідників (ХСН) знаходять широке застосування в мікроелектроніці і різних системах запису інформації. Оскільки відомо, що введення елементів, хімічно відмінних від атомів матриці, змінює фізичні властивості халькогенідних склоподібних напівпровідників, тому актуальною задачею є пошук модифікуючих елементів для створення неоднорідних структур на основі склоподібних халькогенідів, здатних помітно впливати на властивості досліджуваних структур.

В даній роботі представлені дослідження впливу металічних модифікаторів (Pb, In, Al) на фізичні властивості халькогенідів германію.

Досліджувані плівки осаджувались на поліровані монокристалічні пластини кремнію КЭМ 0,001 методом термічного випаровування у вакуумі $3 \cdot 10^{-4}$ Па з двох незалежних випаровувачів: для $\text{Ge}_{40}\text{S}(\text{Se})_{60}$ використовували метод дискретного (вибухового) випаровування, а для модифікаторів - метод термічного випаровування. Товщини утворених градієнтних структур визначались інтерференційним методом і склали 0,45-1,0 мкм. Методом маспектрометрії пост-іонізованих нейтральних частинок проводився безпосередній контроль хімічного складу одержаних градієнтних плівок.

Термографічні дослідження показали, що при нагріванні в інтервалі температур від кімнатної до 1000 °С із швидкістю 5 °/хв проходить взаємодія елементів-модифікаторів із склоподібним $\text{Ge}_{40}\text{S}(\text{Se})_{60}$ з утворенням складів $\text{Ge}_{40}\text{S}(\text{Se})_{60}$: (Pb, In, Al). Повнота взаємодії залежить від температурно-часових параметрів нагрівання і кількості домішок.

Одним із методів дослідження формування і морфології поверхні є атомно-силова мікроскопія. З її допомогою було встановлено, що формування структур $\langle \text{Ge}_{0,4}\text{S}(\text{Se})_{0,6}:\text{In}(\text{Pb}) \rangle$ проходить по типу пара-рідина-тверда фаза, а для $\langle \text{Ge}_{0,4}\text{S}(\text{Se})_{0,6}:\text{Al} \rangle$ по типу пара-тверда фаза. Неоднорідність поверхні структур також досліджувалась методом багатокутової еліпсометрії, яка проявляється у зміні залежності еліпсометричних кутів ψ та Δ від кута падіння лазерного променя φ при

$\lambda=0,6328$ мкм та відмінності теоретично розрахованих показника заломлення n та коефіцієнта відбивання k для кожної з даних структур.

Структурні зміни в оксидних та металевих плівках на поверхні монокристалів CdTe, зумовлені дією лазерного опромінення

Горлей П.М., Воробець О.І., Воробець Г.І.,
Стребежев В.М., Обедзинський Ю.К.

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, Чернівці, Україна

Методами оптичної і растрової електронної мікроскопії досліджений вплив поверхневої лазерної обробки на структурні й електронні властивості контактів монокристалічного CdTe з плівкою металу або оксиду. Показано, що при критичних інтенсивностях імпульсного лазерного опромінення (ІЛО) на границі розділу плівка-монокристал активізуються процеси реструктуризації структурно-домішкових дефектів у твердій фазі. У приконтатному шарі CdTe формується система кластерних дефектів, у якій розміщення окремих кластерів може мати різний ступінь упорядкованості і симетрії в залежності від режимів опромінення (рис1.). Розміри дефектів зростають при підвищенні інтенсивності опромінення. При цьому окремі кластери відіграють роль геттерів точкових дефектів, їхні розміри при оптимальних режимах ІЛО збільшуються в 2-3 рази, що приводить до зменшення концентрації глибоких рівнів у напівпровіднику. Такі процеси обумовлюють зменшення генераційно - рекомбінаційної складової струму, але збільшують роль польових механізмів струмопереносу в контактах з бар'єром Шоттки.

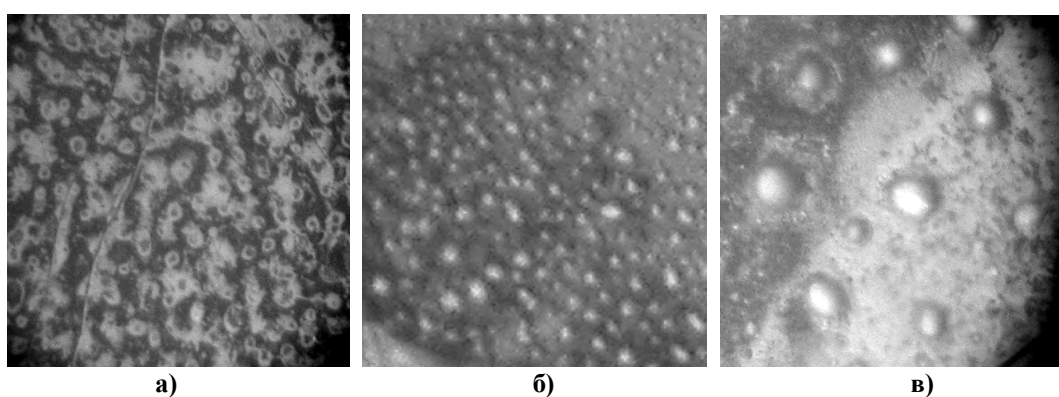


Рис.1. Системи кластерних дефектів на поверхні CdTe при різних дозах опромінення: а) розупорядковані, локально оточені оксидними плівками, б) частково упорядковані, в) у вигляді „гратки”.

Електронно-мікроскопічне дослідження структури плівок Cu-In-Se

Григоров С.М., Космачов С.М., Таран А.В.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Харків, Україна*

Проведене електронно-мікроскопічне дослідження структури трикомпонентних плівок Cu-In-Se, отриманих шляхом осадження міді на попередньо сформований шар In_2Se_3 . Двошарові плівки відпалювалися в атмосфері селену при 550°C . Встановлювалися елементний та фазовий склад плівок і їх структура. Дослідження були спрямовані на вивчення твердофазових реакцій, що відбуваються в двошарових плівках, вивчення механізму утворення в них фази халькопірита $\alpha\text{-CuInSe}_2$ (CIS) і дослідження закономірностей формування структури плівок халькопірита.

Стандартний зразок напівпровідникової сполуки CuInSe_2 містить мідь, індію і селен у ваговому співвідношенні $\text{Cu} : \text{In} : \text{Se} = 1:1,8:2,47$. Рентгеноспектральне дослідження елементного складу зразків плівок Cu-In-Se, які були виготовлені нами, показало, що співвідношення елементів у плівках відповідало формулі $\text{Cu} : \text{In} : \text{Se} = 1:1,6:4,7$. Тобто зразки мали нестачу індію ($\text{Cu/In} = 1,12$) і надлишок селену у порівнянні зі стехіометричною сполукою CuInSe_2 . Проведене електронно-мікроскопічне дослідження плівок показало, що внаслідок дифузії міді в плівку селеніду індію зерна селеніду індію розбиваються на пластини, в яких задовольняється різноманітне співвідношення змісту міді та індію. Шляхом трансформації катіонної підрешітки селеніду індію формуються модульовані структури. При цьому в наборі кристалічних модифікацій, що утворюють модульовану структуру, співіснують як стабільні ($\alpha\text{-CuInSe}_2$, CuIn_3Se_5 , Cu_2Se) так і метастабільні модифікації.

Проведено електронно-мікроскопічне дослідження складу та структурі плівок системи Cu-In-Se, одержаних засобом одночасної конденсації міді та In_2Se_3 на поверхні кристалів NaCl при температурі підкладки 400°C . Частина плівок мала надлишок міді і частина – надлишок індію у порівнянні зі стехіометричною сполукою CuInSe_2 . Плівки з надлишком міді мали аморфну структуру. Плівки з надлишком індію склалися з зерен з модульованою структурою. В них спостерігалися фази $\beta\text{-In}_2\text{Se}_3$, $\varepsilon\text{-(Cu}_2\text{Se)}_x(\text{In}_2\text{Se}_3)_{1-x}$ та CuIn_5Se_8 .

Електрохімічне модифікування поверхні CdTe

Дійчук В.В., Волощук А.Г., Нечипорук В.В.

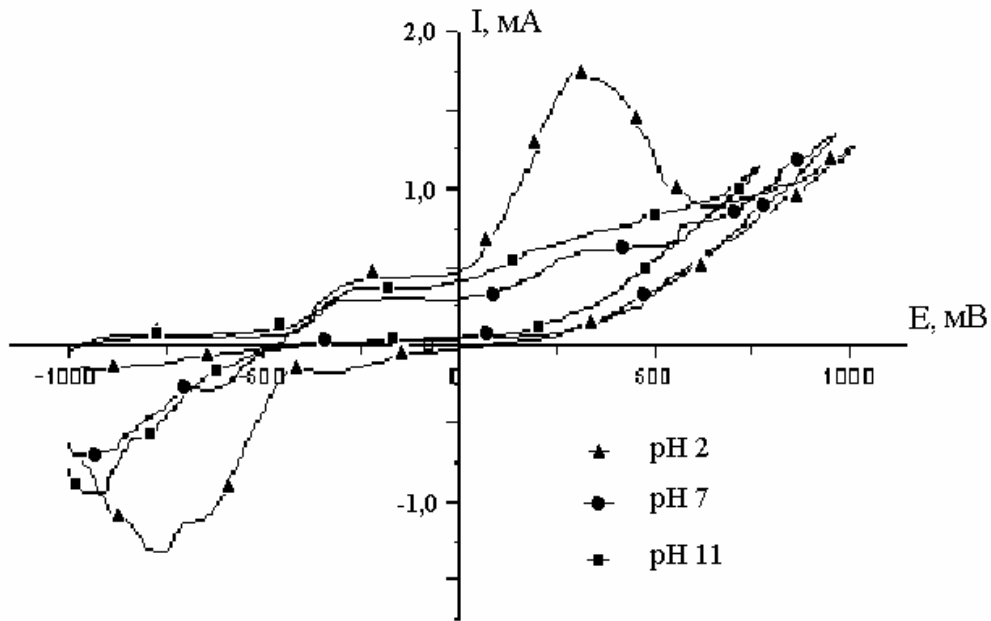
Чернівецький національний університет ім. Юрія Федьковича, хімічний факультет

Тонкоплівкові гетероструктури на основі CdTe широко

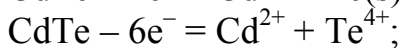
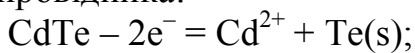
використовуються в різних сферах електронної техніки. Серед відомих технологій формування таких структур недостатньо представлені технології з використанням електрохімічних методів.

В роботі представлені результати досліджень електрохімічної поведінки CdTe-електродів у водних розчинах, з метою визначення умов одержання “власних” оксидних і сульфідних плівок на поверхні напівпровідника.

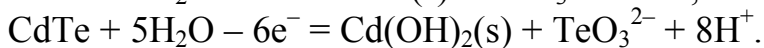
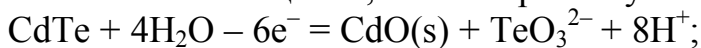
Аналіз отриманих циклічних вольтамперограм показує, що в кислих розчинах, при електрохімічній поляризації, спостерігається декількаразова зміна стану поверхні CdTe-електроду від активного до пасивного.



Причиною цьому можуть бути реакції електрохімічного розчинення напівпровідника:



При переході до нейтральних і лужних розчинів закономірним є зникнення характерного максимуму струму в області анодних потенціалів. Дана обставина свідчить про перехід поверхні напівпровідника в пасивний стан. Враховуючи те, що пасивація електроду спостерігається в досить широкій області потенціалів, можна прогнозувати перебіг реакцій:



Молекулярно-динамическое моделирование нормальной бомбардировки кристаллов полиэтилена и пентацена ионами Ar с энергией 100 эВ

Єрмоленко О.А., Корніч Г.В.

Запорізький національний технічний університет, Запоріжжя, Україна

Для построения двух видов мишеней из полиэтилена был выбран орторомбический кристалл [1] с наличием и без загнутых цепочек на поверхности. Мишени состояли из 4050 и 3600 атомов, соответственно.

Мишень из пентацена являлась объёмным кристаллом пентацена триклинной структуры, описанной в [2], и содержала 4320 атомов.

В модели объёмных кристаллов полиэтилена и пентацена также была включена диссипативная область в нижней части области моделирования. В двух направлениях были применены периодические граничные условия.

В качестве потенциалов взаимодействия были выбраны многочастичный потенциал Терсоффа с поправками Бреннера для углеводородов [3] и потенциал Зиглера-Бирзака-Литмарка для описания взаимодействия бомбардирующих ионов с кристаллом и для описания энергетических столкновений на малых расстояниях. Для каждой мишени проведено моделирование 500 одиночных актов бомбардировки. Начальные координаты бомбардирующего иона генерировались при помощи двумерной псевдослучайной последовательности.

Для полиэтилена с загнутыми цепочками коэффициент распыления составил 1.30 атомов/ион, для полиэтилена без загнутых цепочек – 2.25 атомов/ион, для пентацена – 0.28 атомов/ион. В случае бомбардировки полиэтилена явление обратного рассеяния ионов практически отсутствовало, для пентацена наблюдалось слабое обратное рассеяние с коэффициентом 0.05 атомов/ион.

Для всех трёх типов мишеней в выходе распылённых соединений присутствует большое количество атомарного водорода, причём для полиэтилена с загнутыми цепочками и пентацена по суммарной массе выхода атомарный водород преобладает. Мишень из пентацена карбонизируется значительно интенсивнее, чем мишень из полиэтилена. Наличие загнутых цепочек способствует карбонизации мишени из полиэтилена в основном за счёт увеличения выхода атомарного водорода.

1. Beardmore K., Smith R., Nucl. Instr. And Meth. In Phys. Res. B 102 pp. 223-227 (1995)
2. de Wijs G.A. et al. // *Synthetic Metals* 139. pp. 109-114 (2003)
3. Brenner D.W. // *Phys. Rev. B* 42 P. 9458 (1990)

Вивчення будови тіоколових полімерів методами ДТА та ІЧ-спектроскопії

Закржевський О. Ю., Курта С. А.

*Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника,
Івано-Франківськ, Україна*

Екологічно безпечним та економічно доцільним способом утилізації промислових рідких хлорорганічних відходів (ХОВ) від виробництва 1,2-дихлоретану і вінілхлориду є поліконденсація їх з сульфідами лужних металів в присутності каталізаторів міжфазного переносу. В результаті процесів нерівноважної поліконденсації, що протікають при цьому, одержуються сірковмісні нетоксичні полімерні сполуки-тіоколи.

Визначення будови та фізико-хімічних властивостей одержаних полімерних продуктів ускладнене тим фактом, що одержані тіоколовмісні полімери практично не розчиняються в жодному розчиннику. Тому для визначення будови ми застосували ІЧ-спектроскопію. ІЧ-спектри одержаних сірковмісних полімерів реєстрували на приладі THERMO NICOLET NEXUS FT-IR, в діапазоні частот $4000-400\text{ см}^{-1}$, використовуючи приставку дифузного відбиття з розрішенням 4 і числом сканів 50.

По результатам аналізу ІЧ-спектра можна зробити загальний висновок: будова поліорганосульфідів, одержаних з (ХОВ) відходів та сульфідів лужних металів сильно відрізняється по складу продуктів в залежності від компонентів реакційної суміші та умов процесу. Для гетерогенного процесу, що здійснюється в умовах 2-х фазної системи водно-лужного розчину сульфідів та органічної фази відходів, в присутності каталізатора міжфазного переносу протікає значна кількість побічних процесів. В результаті побічних реакцій утворюються низькомолекулярні тіоспирти, органосульфідів, а також циклічні тіоефіри, що підтверджується характерними частотами поглинань. Молекулярна маса одержаного в цьому випадку полімера невисока, ступінь поліконденсації не перевищує $m=2-4$. В той же час для гетерогенного процесу, де поліконденсація здійснюється шляхом реакції на поверхні між K_2S_4 , нанесеним на високодисперсний пірогенний SiO_2 із хлорорганічними відходами в безводному середовищі характерне проходження реакції поліконденсації до більш високих ступенів поліконденсації ($m = 5-10$), з утворенням високомолекулярного тіоколу. Одержані дані добре підтверджуються результатами досліджень процесу термічної деструкції тіоколових полімерів, яке проводилось в інтервалі температур $20 - 1000\text{ }^\circ\text{C}$ за стандартною методикою.

Получение и свойства пленок $\text{Cu}(\text{In,Zn})\text{Se}_2$

Иванов В.А.¹, Зарецкая Е.П.¹, Залесский В.Б.², Ковалевский В.И.²,
Ермаков О.В.², Чигирь Г.Г.³, Ухов В.А.³, Белоус А.И.³

¹Объединенный институт физики твердого тела и полупроводников Национальной академии наук Беларуси

²Институт электроники Национальной академии наук Беларуси

³НТЦ Белмикросистемы УП “Завод полупроводниковых приборов”

Среди новых перспективных полупроводниковых материалов, пригодных для создания на их основе эффективных фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии следует выделить полупроводниковое соединение с структурой халькопирита CuInSe_2 , имеющее ширину запрещенной зоны $E_g=1,04$ эВ и большой коэффициент оптического поглощения $\alpha \sim 10^5 \text{ см}^{-1}$. Добавление к этому соединению атомов цинка приводит к лучшему согласованию его спектра fotocувствительности со спектром солнечного излучения, что позволяет повысить эффективность солнечных элементов, созданных на основе пленок CuInSe_2 .

В настоящей работе приведены результаты исследований пленок с концентрацией атомов цинка $N_{\text{Zn}} = 4,7$ ат.% и соотношением между атомами металлов $\text{Cu/In} = 0,57$.

Процесс получения плёнок включал в себя нанесение на стеклянную подложку методом термического напыления слоёв меди, индия, селенида цинка и последующий двухступенчатый температурный отжиг в парах селена в атмосфере инертного газа (азот). В результате селенизации получены поликристаллические пленки р-типа проводимости толщиной 1,5-2,0 мкм. Коэффициент термоэдс пленок при комнатной температуре составлял 100 мкВ/К.

Методом затухания фотопроводимости определено время жизни неосновных носителей заряда (τ) в пленках при возбуждении импульсами света с длиной волны $\lambda = 0,635$ мкм. В температурном интервале $\Delta T= 300-80\text{К}$ величина τ изменяется в пределах $\tau = 60-350$ мкс.

Исследованы температурные зависимости электропроводности в температурном интервале 80-400К. Показано, что электропроводность при изменении температуры изменяется в соответствии с известной зависимостью $\sigma = \sigma_0 \exp(-\Delta E_a/kT)$ где ΔE_a – энергия активации соответствующего энергетического уровня в запрещенной зоне, определяющего поведение электропроводности в заданном температурном интервале. Энергии активации для исследованных пленок составляла $\Delta E_{a1} = 74$ мэВ в температурном интервале $\Delta T=200-400\text{К}$ и $\Delta E_{a2} = 15$ мэВ в температурном интервале $\Delta T=100-150\text{К}$.

Відпал плівок кадмію в атмосфері телуру та їх властивості

Ільчук Г.А., Кусьнеж В.В., Петрусь Р.Ю., Українець В.О.

Національний університет „Львівська політехніка”, кафедра фізики, Львів, Україна

Досліджено можливість одержання напівпровідникових плівок телуриду кадмію (CdTe) відпалом термічно напилених плівок металічного кадмію (Cd) $d \approx 1$ мкм на скляних підкладках ($75 \times 26 \times 2$ мм) у парах телуру (Te). Проведенню експерименту відпалу-телуризації (перенесення телуру на пластинку з кадмієм і очікуваного синтезу CdTe) передував теоретичний аналіз парціальних тисків парів Te над $Te_{ТВ}$, кадмію над $Cd_{ТВ}$, Te над $CdTe_{ТВ}$, Cd над $CdTe_{ТВ}$ за умов конгруентної сублімації, та вибір температурних умов відпалу. Процес відпалу-телуризації ($\tau = 6$ год) проводився у вакуумованій і відпаяній кварцевій ампулі у двохзонній печі, в яку поміщались пластинка з Cd (зона осадження, $t_2 = 255^\circ\text{C}$) і джерело Te ($t_1 = 307^\circ\text{C}$). Одержана плівка змінила свій колір із сріблястого, характерного для кадмію, на темнокоричневий і мала дещо нерівномірний розподіл оптичної густини. З використанням растрового електронного мікроскопа РЕММА-102-02 ($U = 20\text{kV}$, $\times 2000$ раз) у вторинних електронах досліджено морфологію поверхні вихідних плівок Cd та плівок витриманих у парах телуру, а із спектрів характеристичного рентгенівського випромінювання ($1 \times 1 \times 1$ мкм- об'єм збудження) - якісний та кількісний (з точністю до 5 мас.%) склад. Аналіз зображення вихідної плівки Cd показав, що вона складається з неупорядковано розміщених продовгуватих гранул Cd з середніми розмірами 5×20 мкм. Аналіз характеристичних спектрів вихідного зразка Cd-скло не виявив в межах точності приладу будь-яких домішкових елементів в шарі кадмію. Спроба спостерігати у вторинних електронах поверхню телуризованої плівки Cd не дозволила одержати зображення внаслідок, як можна думати, її електризації та суттєвого зростання опору. Аналіз характеристичного спектру телуризованої плівки підтвердив зміну її хімічного складу у порівнянні з вихідною плівкою Cd. Зокрема в плівці виявлено Te (23,51 мас. %) та кадмій (12,94 мас. %). Крім цього у спектрі спостерігалась поява ліній Si (44,07 мас. %) та Na (19,49 мас. %), які є основними елементами скляної підкладки. Це засвідчує значне зменшення товщини плівки, зумовлене частковим випаровуванням Cd в процесі телуризації і проникненням електронного променя у скло. З метою ідентифікації хімічної сполуки CdTe в телуризованій плівці проведено дослідження спектрального розподілу її оптичного пропускання. В спектрі пропускання виявлено область фундаментального поглинання з краєм 1,44 eV, що співпадає з даними по ширині забороненої зони монокристалічного CdTe. Таким чином, закладено фізико-хімічні основи нової технології одержання плівок CdTe (метод телуризації).

Лазерное легирование теллурида цинка

В.Н. Иодко¹, Е.И. Гацкевич², Г.Л. Зыков²

¹Институт физики НАН Беларуси, Минск, Беларусь

²Институт электроники НАН Беларуси, Минск, Беларусь

В работе исследован процесс лазерно-стимулированного легирования монокристаллов ZnTe. На образцы вакуумным напылением наносилась пленка Al толщиной 0.5 мкм. Облучение проводилось импульсами излучения Nd: YAG лазера ($\lambda = 1.06$ мкм). Лазерный импульс имел приблизительно гауссову временную форму и воздействие осуществлялось наносекундными (20 нс) и миллисекундными импульсами (0.5 мс). В первом случае плотность энергии облучения варьировалась в диапазоне от 0.2 до 0.3 Дж/см², во втором случае – от 9 до 14 Дж/см². Специальные меры предпринимались для увеличения равномерности распределения энергии в лазерном пятне.

Под действием импульсного излучения лазера происходило плавление пленки Al вместе с поверхностным слоем монокристалла, что приводило к взаимной диффузии и растворению легирующей примеси в ZnTe. Из измерений эффекта Холла установлено, что при обработке излучением наносекундного диапазона длительности в поверхностном слое монокристаллов *p*-ZnTe происходит формирование слоев с проводимостью *n*-типа. Вольтамперные характеристики диодов, изготовленных на основе полученных структур, имели выпрямляющий характер и соответствовали *p*–*n*-переходу. При приложении прямого смещения к диодам наблюдалась электролюминесценция в желто–зеленой области спектра. При использовании режима воздействия миллисекундными лазерными импульсами вольтамперные характеристики обработанных облучением структур Al–ZnTe могут обладать свойствами, характерными для омических контактов.

Методом математического моделирования изучены температурные режимы лазерного воздействия. Численно решалась задача Стефана в одномерном приближении с учетом температурных зависимостей теплофизических и оптических характеристик, как металла Al, так и полупроводника ZnTe. Определены пороги плавления металлической пленки и подложки. Рассчитаны зависимости времени существования расплава и глубины проплавления от плотности энергии облучения. Для различных моментов времени найдены распределения температуры по глубине. Оценены плотности энергии облучения, соответствующие порогу разрушения (или испарения) металлической пленки, а также глубины диффузии примеси.

Автоматизований комплекс для вимірювання кінетичних та оптичних властивостей напівпровідникових плівок і кристалів

Казимірчик С.Ю., Грицюк Б.М., Нічий С.В., Рокочук В.В.

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича. Чернівці. Україна

Вимірювання кінетичних та оптичних властивостей згідно відомих методик [1,2] є доволі тривалими. В даній роботі представлено автоматизований комплекс для вимірювання кінетичних та оптичних властивостей на базі лабораторних установок і ЕОМ. Він дозволив проводити вимірювання та обробляти результати вимірювань зберігаючи їх у зручному форматі.

Для вимірювання кінетичних коефіцієнтів застосовується установка із використанням постійних електричного та магнітного полів. Оптичні вимірювання здійснюються за допомогою "ИКС-21" з автоматичною розгорткою спектру. Керування процесами вимірювання на відповідних установках здійснюється спеціально розробленими електронними схемами, які через паралельні порти приєднані до ЕОМ, вони містять АЦП та блоки управління. Для керування їх роботою використовується програмне забезпечення. Аналогові сигнали під час вимірювань обробляється за допомогою АЦП. Для кінетичних вимірювань використовується ± 18 -ти розрядне АЦП фірми "MAXIM" MAX132, а для оптичних 12-ти розрядне фірми "Burr-Brown" ADS7822.

Програмне забезпечення складається із двох груп програм. Основні програми за спеціально розробленим алгоритмом здійснюють керування установками та зберігають результати вимірювань у файлах. Допоміжні програми використовуються для обробки та друку результатів вимірювань, створення градувальних таблиць для термопар та інших цілей. Дані програми розроблені та протестовані для використання в операційних системах Windows 95, 98, NT.

Дані установки були використані для вимірювань характеристик плівок напівпровідникових матеріалів отриманих лазерним напиленням у статичному вакуумі та об'ємних кристалів. З використанням даного комплексу установок проведено дослідження оптичних та кінетичних властивостей матеріалів CdSb , $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$, $\text{Cr}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$.

1. Кучис Е.В. *Гальваномагнитные эффекты и методы их исследования*. Радио и связь, М.: 264 с. (1990).
2. Уханов Ю.И. *Оптические свойства полупроводников*. Наука, М.: 306 с. (1977).

Високотемпературний стан дифузійних покриттів на вуглецевих сталях

Карпець М.В.

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М.Францевича НАНУ, Київ, Україна

Формування дифузійних карбідних покриттів на вуглецевих сталях має одну істотну особливість: нанесення покриття здійснюється в аустенітній області де рівноважна структура з ГЦК граткою, а при охолодженні в підложці відбувається фазовий перехід в області стабільності α -фази з ОЦК граткою. Очевидно, наявність такого фазового переходу додатково впливає на формування залишкових напружень в шарі покриття і повинно відобразитись на зміні періодів граток фаз покриття при нагріванні. З метою в'яснення цього питання було проведено високотемпературне дифрактометричне вивчення поведінки кристалогіометричних характеристик фаз покриття Nb-Cr в інтервалі температур 293-1473 К на дифрактометрі ДРОН-УМ1 в монохроматичному $\text{CuK}\alpha$ випромінюванні з використанням приставки УВД-2000 в атмосфері гелію.

Покриття наносили порошковим методом з використанням насичуючої суміші з порошоків хрому (30% ваг.), ніобію (30% ваг.), оксиду алюмінію (38% ваг.) і як активатор - NH_4Cl (2% ваг.) (1323 К, 4 год.). Співставляючи дані рентгенографічних досліджень із даними мікрозондового аналізу, можна стверджувати, що основу утвореної зовнішньої зони дифузійного покриття (~5 мкм) становлять карбіди $(\text{Cr,Fe})_{23}\text{C}_6$ і $(\text{Cr,Fe})_7\text{C}_3$. Основу вузької внутрішньої, приграничної з матрицею (сталь У10) зони (~3-5 мкм) становить карбід $(\text{Cr,Fe})_7\text{C}_3$, а основу широкої середньої зони (15-20 мкм) становить карбід NbC, з розчиненими у ньому залізом і хромом в кількості менше 1 ат.%.

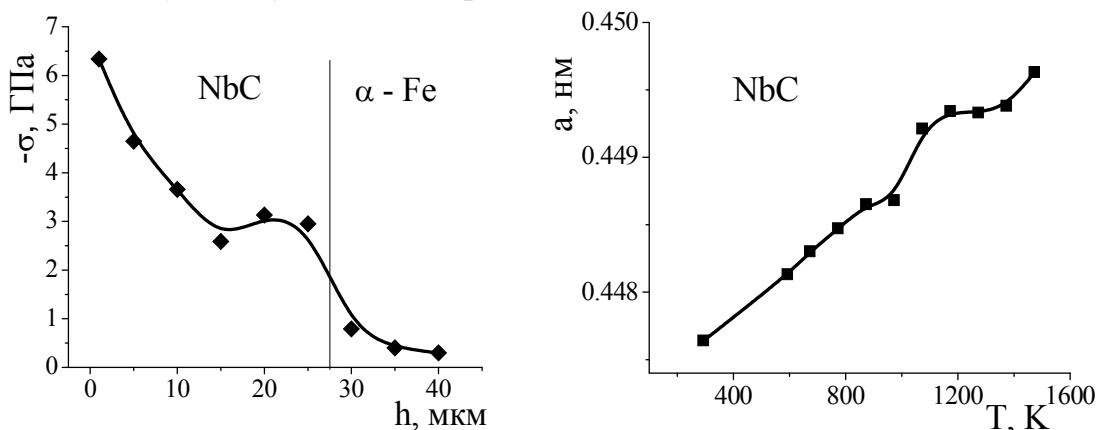


Рис. Зміна σ від глибини покриття Nb-Cr та періоду гратки NbC від T

Встановлено немонотонний характер зміни періодів гратки карбіду NbC в області температур фазового переходу $\alpha \leftrightarrow \gamma$ (~1023 К) та зжимаючих напруг I роду у покритті Nb-Cr від глибини покриття (h) (рис.). Одержані дані обґрунтовані з врахуванням фазового складу та КТР наявних фаз.

Відновлення міді в поверхневих шарах металізованого карбонового волокна в присутності PbS

Квич М.Б., Сіренко Г.О.

*Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника,
Івано-Франківськ, Україна*

Відомо, що мідні покриття збільшують теплофізичні властивості карбонових волокон (КВ), а наявність у таких волокнах розгалуженої поверхні може сприяти процесу вибіркового переносу міді при терті, значно зменшуючи зношування суміжної пари. Карбонові волокна, що отримані при 1123К за ХМА – технологією, більше придатні окисним процесам при мідненні, ніж за звичайною технологією, окрім того процеси мідніння таких волокон ускладнюються присутніми антипіренами $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ та продуктами їх термообробки і взаємодії з вуглецем. Відома технологія міднення графітізованих при 2673К поверхонь шляхом відновлення іонів міді (II) з водних розчинів сірчаної кислоти міді формальдегідом у присутності лугу – тартрату натрію – калію. Показано, що на поверхні карбонізованого волокна (КВ), мідненого за формальдегідною технологією, утворюються шари $\text{Cu}^0 + \text{Cu}_2\text{O} + \text{CuO}$ із значним вмістом Cu_2O і CuO . Для захисту Cu^0 в покритті від окиснення і, таким чином, забезпечення механізму вибіркового переносу міді при терті та зношуванні, запропонована модифікація формальдегідної технології, цинкова технологія та покриття КВ за цими технологіями в присутності PbS. Вивчено фазовий склад поверхневих шарів міді на КВ, отриманих за цими технологіями. Показано, що за модифікованою технологією одношарове покриття на КВ має склад $\text{Cu}^0 + \text{Cu}_2\text{O} + \text{CuO}$, двошарове - $\text{Cu}^0 + \text{Cu}_2\text{O}$, при цьому частка Cu^0 в покритті суттєва, а за цинковою технологією одношарове покриття має склад $\text{Cu}_2\text{O} + \text{Cu}^0$ (з малим вмістом міді) і лише дво – і тришарове покритті вміст міді Cu^0 зростає, але значною залишається частка Cu_2O . Окрім того показано також, що вміст міді Cu^0 у покритті $\text{Cu}^0 - \text{Cu}_2\text{O}$ можна збільшити за рахунок дво - або тришарового покриття по чергово цинковою та модифікованою формальдегідною технологіями. При міднінні КВ + PbS на поверхні утворюється лише фаза $\text{Cu}_2\text{O} + \text{PbS}$. Одношарове покриття $\text{Cu}^0 + \text{Cu}_2\text{O}$ третій шар PbS не може повністю покрити мідне покриття і поверхня має фази PbS, Cu^0 і Cu_2O . Дослідження антифрикційних властивостей композиту ПТФЕ+КВ+Пк ($\text{Cu}^0 + \text{Cu}_2\text{O} + \text{PbS}$) показало, що мінімальна об'ємна інтенсивність зношування спостерігається при загальному вмісті наповнювача 33% і покриття 21,3% при співвідношенні $(\text{Cu}^0 + \text{Cu}_2\text{O})$ (I) : PbS (II) = 100% : 80%. Зміна розташування шарів PbS (I) : $(\text{Cu}^0 + \text{Cu}_2\text{O})$ (II) на КВ приводить до зростання інтенсивності зношування в 4,7 разів при припрацюванні та у 1,5 рази на ділянці сталого зношування.

Моделирование в диффузионном приближении напыления тонких окисленных пленок атомными пучками

Киприч В.И., Корнич Г.В.

Запорожский национальный технический университет

Построена математическая модель процесса напыления, с одновременным окислением, тонкой пленки. Предлагаемая модель ориентирована на описание образования систем пленка-подложка с близкими параметрами атомных решеток компонентов пленки и подложки, например для Ni-Cu, Al-Ag.

Модель рассматривает подложку с идеальной кристаллической решеткой, которая подвергается низкоэнергетической бомбардировке атомными частицами получаемой пленки [1, 2]. При этом происходит распыление поверхности образца с одновременным осаждением части ионов на бомбардируемую поверхность. Одновременно с пучком ионов металла поверхность подвергается бомбардировке атомными частицами кислорода с энергией заведомо меньшей порога распыления. Кроме того, все компоненты системы могут распыляться с поверхности или окисляться на ней кислородом. В приповерхностном слое, за счет энергии привносимой бомбардирующими частицами возникают каскады соударений, обуславливающие перенос вещества за счет ионного перемешивания. Часть ионов кислорода из пучка так же проникает в приповерхностную область и может окислять компоненты системы [3]. Все описанные процессы были заданы набором систем диффузионноподобных уравнений.

Данная модель позволяет оценивать концентрационные характеристики объемного профиля компонента осаждаемого материала. С ее помощью проведены расчеты, которые показывают особенности напыления пленок при одновременной бомбардировке поверхности кислородом – рост концентрации оксидов при увеличении потока окисляющих атомов, образование концентрационного пика оксида материала подложки с последующим погружением его в глубину, значительное внутреннее окисление всех компонентов системы. Кроме того, показано, что в процессе напыления и окисления пленки со временем, устанавливается динамическое равновесие между напылением, распылением и окислением компонентов и процесс становится стационарным, а форма концентрационных профилей не изменяется.

Киприч В.И., Корнич Г.В. // *Поверхность*. 8.-сс. 58-62 (2006).

Киприч В.И., Корнич Г.В., Бажин А. И. // *Известия РАН, серия физическая*. 70(8), сс.1189-1191 (2006).

Корнич Г.В., Корнилова Л.О., Теплов С.В. // *Поверхность*. 4, сс. 38-42 (1992).

Фізико-хімічне дослідження та розробка фоточутливих компонентів і діелектричних матеріалів на основі $\text{TiO}_2\text{-WO}_3$

Кобаса І.М., Кондратьєва І.В.

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, хімічний факультет

Діоксид титана та системи оксидів на його основі, завдяки напівпровідниковій природі та обумовленим нею широким спектром електрофізичних і фізико-хімічних властивостей мають значні перспективи практичного використання. На їх основі можуть бути сконструйовані системи синтезу цінних продуктів і знешкодження токсичних речовин, фотокаталітичні та фотоелектрохімічні системи перетворення енергії світла, системи реєстрації інформації. Вони можуть використовуватися також для проведення процесів нанесення металів на діелектрики, зокрема згідно фотоадитивної технології виготовлення друкованих плат, яка є перспективною, економічнішою, простішою, чистішою в екологічному відношенні та такою, що включає меншу кількість операцій.

Розробка технологічного процесу виготовлення плат друкованого монтажу потребує розв'язання низки різноманітних проблем. Найважливішою з них є пошук фотоактивних речовин, введення яких в діелектричний матеріал надавало б йому високу світлочутливість і каталітичну активність у процесі селективної металізації.

Для надання діелектричному матеріалу чутливості до дії світла та каталітичної активності на нього наносять спеціальні лаки, що містять діоксид титану, і створюють адгезивну основу плат. Проведені дослідження показали, що промислові зразки TiO_2 грубодисперсні, володіють низькою величиною фотокаталітичної активності й не придатні для одержання надійних фоточутливих діелектричних матеріалів (ФЧД). Перспективною для одержання ФЧД є системи оксидів $\text{TiO}_2\text{-WO}_3$.

Синтезовані фоточутливі матеріали на основі продуктів допування TiO_2 іонами вольфраму (VI). Вивчені їх структурні, електричні, магнітні, фото- й каталітичні властивості. Встановлена кореляція між величиною їх фотокаталітичної активності в реакціях відновлення метиленового блакитного до лейкоформи, низькотемпературного одержання амоніаку та іонів металів до центрів безелектролізної металізації.

Розроблено системи оксидів металів з такими показниками каталітичної та фотокаталітичної активності, які забезпечують можливість використання їх для одержання світлочутливих діелектричних матеріалів, придатних для проведення металізації останніх і застосування в адитивній фототехнології виробництва друкованих плат. Відпрацьовано технологічну схему цього процесу та знайдено оптимальні умови його проведення. Показана можливість фотокаталітичного виділення й утилізації залишків міді з відпрацьованих розчинів товстошарового хімічного міднення.

Фізико-хімічні особливості вирощування, структура та електричні властивості варізонних епітаксійних плівок $Cd_xHg_{1-x}Te$, $Mn_xCd_yHg_{1-x-y}Te$

Ковальчук М.Л., Косенков Є.М., Раранський М.Д., Раренко І.М.

Чернівецький національний університет, Чернівці, Україна

Досліджено особливості технології та гальваномангнітні властивості (теоретично і експериментально) епітаксійних варізонних структур (ВЗС) на основі твердих розчинів n-HgCdTe та n-HgMnCdTe, створених на високоомних ($\rho \geq 10^6$ Ом·см) монокристалічних підкладках з CdTe і CdMnTe орієнтованих в площині (111). Вирощування ВЗС проводилось методом випаровування-конденсація-дифузія (ВКД) в ізотермічних умовах та при керуванні тиском парів компонентів. Первинна поверхня підкладки при рості ВЗС вбудовується в її середину і суттєво впливає на досконалість та фізичні параметри плівки. Тому в контейнерах, де проводилось вирощування, попередньо підкладки та джерела (HgTe) послідовно оброблялись у проточній високочастотній плазмі аргону і водню, а ріст відбувався у вакуумі 10^{-7} тор, при температурах 600-650°C. Тип провідності ВЗС регулювався відпалом у парах ртуті та керуванням тиску парів компонент в процесі росту. Товщина ВЗС складала 10-300 мкм і визначалась по розподілу кольорів після обробки фарбуючим травником створеного на ВЗС клина. Розподіл складу визначався також електронним рентгенівським мікроаналізом. Методом Ван-Дер-Пау на ВЗС площею 5×5 мм² експериментально визначались значення електропровідності та напруги Холла (з урахуванням підкладки) в межах 80-320 К. На зразках n- і p-типу послідовно прицезійним хіміко-механічним методом знімалися шари ВЗС паралельно до підкладки через 2 мікрона і більше та проводились відповідні заміри. Kontakтами для p-типу слугувало хімічно осаджене золото. Усереднені значення електропровідності (σ_{cp}), ефекту Хола (R_{Xcp}) і відповідно концентрації (n_{cp} , p_{cp}) та рухливості носіїв заряду (μ_{cp}) у ВЗС визначались за формулами:

$$\sigma_{cp} = \sigma_0 \frac{t_0}{t_1} \cdot \left(\ln \frac{\sigma_0}{\sigma_1}\right)^{-1}; \quad R_{Xcp} = \frac{t_0}{e\rho_0} \cdot \frac{(\beta + \Theta)^2}{\beta + 2\Theta};$$

$$n_{cp}, p_{cp} = \frac{1}{eR_{Xcp}} \cdot \ln \frac{\sigma_0}{\sigma_1}; \quad \mu_{cp} = \sigma_{cp} \cdot R_{Xcp} \cdot \frac{t_1}{t_0};$$

де $t_0, t_1; \sigma_0, \sigma_1; \rho_0, \rho_1; \mu_0, \mu_1$ відповідно товщина, електропровідність, концентрація і рухливість дірок у підкладці та ВЗС; β, θ – константи.

Теоретичні та експериментальні результати добре узгоджуються при умові $\sigma_0 \ll \sigma_1$.

Структурные и электрофизические свойства бумаги, сформированной из углеродных нанотрубок

Комаров Ф.Ф.¹, Карпович В.Б.², Мильчанин О.В.¹, Гречный С.С.²

¹ *Лаборатория элионики НИИ ПФП им. А.Н. Севченко БГУ, Минск, Беларусь*

² *Кафедра физической электроники, БГУ, Минск, Беларусь*

Методами газо-фазного каталитического роста (HiPCO) и лазерной абляции графитовых стержней были синтезированы массивы одностенных углеродных нанотрубок (ОУНТ). Далее ОУНТ диспергировались в водном растворе поверхностно-активного вещества Triton X-100 с помощью ультразвуковой обработки и затем фильтровались с использованием процедуры вакуумной фильтрации. Путем осаждения нанотрубок из взвеси на пористую мембрану были получены образования в виде слоев – бумага из нанотрубок. Всего получено три образца бумаги: с использованием двух массивов ОУНТ, полученных методами газо-фазного каталитического роста (HiPCO) и лазерной абляции и не подвергавшихся предварительной термообработке и массива ОУНТ, полученного методом лазерной абляции прошедшего предварительный отжиг. Для исследования структуры бумаги применялся метод растровой электронной микроскопии. Получены изображения поверхности образцов, а также определены размерные характеристики ОУНТ. Проведены исследования электрофизических характеристик полученных образцов материала: измерения ВАХ, удельного сопротивления и подвижности носителей тока, измерение слоевого сопротивления. Исследовано влияние наличия примеси на проводимость образцов, на основе теоретических моделей рассчитаны электрофизические характеристики созданных образцов бумаги из ОУНТ.

Двумерное моделирование быстрого термического отжига As, имплантированного в Si с низкими энергиями

Комаров Ф.Ф.¹, Комаров А.Ф.¹, Миронова А.М.¹, Заяц Г.М.², Цурко В.А.²,
Величко О.И.³

¹ *Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко Белорусского государственного университета, Беларусь*

² *Институт математики АН Беларуси, Беларусь*

³ *Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Беларусь*

В производстве современных изделий микроэлектроники применяются операции (низкоэнергетическое внедрение больших локальных концентраций легирующих примесей и быстрые термообработки), приводящие к взаимодействию сложных дефектно-примесных систем в поверхностных областях обработанного материала [1,

2]. Быстрые термические процессы связаны с движением и взаимодействием дефектов решетки и атомов примеси, и особенно с динамикой их кластеров, что приводит к чрезвычайно нелинейному поведению таких систем [3]. В настоящей работе мы рассматриваем двумерную модель диффузии мышьяка в кремнии, учитывающую влияние неравновесных дефектов и кластеризации на эволюцию концентраций атомов примеси и электронов. Предлагаемый подход позволяет моделировать наблюдаемую экспериментально «восходящую» диффузию. Приведены результаты расчетов, согласующиеся с экспериментом и подтверждающие высокую эффективность примененных численных методов.

1. Buyuklimanli T. H., Marino J. W., Novak S. W. // *Applied Surface Science* 231–232 636–639 (2004).
2. Solmi S., Ferri M., Bersani M., Giubertoni D., Soncini V. // *J. Appl. Phys.* 94(8), pp. 4950–4955 (2003).
3. Fedotov K., Velichko O. I., Dobrushkin V. A. // *Journal of Alloys and Compounds* 382, 1–2 pp. 283–287 (2004).

Механизм процесса электрохимического осаждения и состав пленок теллурида кадмия

Копач Г.И.¹, Клочко Н.П.¹, Волкова Н.Д.², Добротворская М.В.³,
Копач В.Р.¹, Ли Т.А.¹

¹*Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”,
Харьков, Украина*

²*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского “Харьковский
авиационный институт”, Харьков, Украина*

³*Институт монокристаллов Национальной академии наук Украины,
Харьков, Украина*

В электрохимическом методе через такие технологические параметры как катодный потенциал, температура, рН и состав электролита осуществляется контроль свойств осаждаемых полупроводниковых пленок. Тем не менее, научному обоснованию выбора режимов электрохимического осаждения пленок теллурида кадмия, обеспечивающих получение стехиометрических слоев, до сих пор не уделялось достаточного внимания. Следствием этого стал эмпирический подбор потенциалов электроосаждения CdTe для разных подложек.

С целью разрешения указанной проблемы, в данной работе определены механизмы процессов, имеющих место в прикатодном пространстве и на катодах из различных материалов, реализовали с помощью укомплектованного программатором потенциостата методами вольтамперометрии с линейной разверткой потенциала

(хроновольтамперометрії) і циклічної вольтамперометрії. Исследования состава поверхности и объема образцов проводились методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (XPS).

Посредством изучения механизмов электрохимических процессов в электролите для получения пленок теллурида кадмия и в соответствующих ему парциальных растворах, содержащих ионы кадмия и теллура, обнаружены различия в катодных процессах на химически инертных подложках нитрида титана и на каталитически активной поверхности молибдена. Обнаружено, что влияние молибденовой поверхности на процесс электроосаждения CdTe проявляется в андепотенциальном катодном восстановлении воды и в специфической адсорбции на молибдене промежуточного продукта данного процесса – элементарного теллура. Благодаря проведенным исследованиям объяснена природа регистрируемых методом XPS примесей TeO₂, Cd(OH)₂ и/или CdO на поверхности и примесей Te в объеме пленок теллурида кадмия, электроосажденных на подложки из нитрида титана и молибдена, что позволило осуществить выбор параметров процесса электроосаждения, обеспечивших изготовление пленок CdTe стехиометрического состава.

Застосування методу оптичного поглинання у дослідженні зонної структури плівок поліепоксипропілкарбазолу (ПЕПК)

Кравченко О.Є., Бордун О.М., Аксіментьєва О.І.

Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів, Україна

На сьогоднішній день плівки органічних полімерів привертають особливу увагу цінними фізико-хімічними, спектральними, технологічними й ін. властивостями. Зокрема, карбазоловмісні полімери полі-N-вінілкарбазол (ПВК) і полі-N-епоксипропілкарбазол (ПЕПК), знайшли широке застосування для виготовлення безсрібних середовищ реєстрації оптичної інформації, органічних фотоперетворювачів, електролюмінесціюючих пристроїв та в іншій електронній техніці. Однак для здійснення цілеспрямованого керування властивостями цих плівок з метою подальшого їх використання в електронному виробництві необхідна інформація, що детально описує енергетичну структуру молекул, що містять π – електронні системи.

Дослідження спектрів поглинання і відбивання кристалів, а також їх температурну залежність, дозволяє визначити такі важливі характеристики енергетичного спектру, як ширина заборонної зони, її температурну залежність, характер міжзонних переходів, наявність екситонних смуг поглинання, тощо.

В даній роботі було проведено вимірювання спектрів оптичного поглинання (пропускання) тонких плівок (товщини плівок d порядку

1 ÷ 10 мкм) на основі органічного полімеру полі-N-епоксипропілкарбазолу (ПЕПК) у спектрофотометрі типу SPECORD M40. Полімерні плівки одержували в результаті випаровування политих розчинів полімеру у хлороформі на поверхню кварцових підкладок. Товщини одержаних плівок вимірювалися за допомогою інтерференційного мікроскопа МІИ-4.

На основі вимірних спектрів оптичного поглинання було встановлено характер переходів в області краю фундаментального поглинання. Зокрема встановлено, що у досліджуваних плівках відбуваються прямі дозволені переходи. Для температури $T = 293$ К визначена ширина забороненої зони яка складає $E_g = (3,5 \pm 0,1)$ еВ. Проведено аналіз отриманих результатів.

Термодинаміка кристалізації плівок сполук селенідів індію

Крушельницька Т.Д., ¹Стахіра Й.М., ¹Товстюк Н.К.

Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна

¹*Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів, Україна*

Притаманний шаруватим кристалам політипізм в поєднанні з сублімаційними властивостями халькогена урізноманітнює фазовий склад отриманих плівок від $InSe-In_2Se_3-In_4Se_3$. З другого боку фазовий склад моно- чи субселенідів індію в різних станах визначає відмінності в їх оптичних, електричних, фото- та термоелектричних властивостях. Тому аналіз термодинаміки та кінетики утворення нових фаз при морфологічних, фазових орієнтаційних та структурних перетвореннях плівок селенідів індію розширює їх практичне використання.

Дана робота присвячена термодинаміці утворення плівок бінарної сполуки In-Se залежно від температури кристалізації. В ґратці моноселеніду індію $N_{In} = N_{Se}$, а в субселеніді індію In_4Se_3 $N_{In} > N_{Se}$. Модельно той факт можна відтворювати як $(InSe)_3 + In$, тобто розглядати комірку з надлишковим In між площинами In та Se, або ж $(InSe)_4 - Se$, тобто комірку з вакансією селену в одному з чотирьох вузлів халькогена. Модель з включенням $(InSe)_4 - Se$ враховує краще сублімаційні властивості халькогена, але вакансії селену призводять до посилення ступеня шаруватості. В той час як будова In_4Se_3 в порівнянні з $InSe$ це спростовує. Тому розглядаються структурні фрагменти $(InSe)_3 + In$, де зайвий In посилює зв'язок між площинами In та Se. Термодинамічна вигідність кристалізації плівки моно- чи субселеніду розглядається в рамках моделі ґраткового газу в залежності від мікроскопічних параметрів таких як енергія заповнення вузла In, Se та температури а) хімічного потенціалу індію та селену б) заданої середньої концентрації індію. Атоми індію можуть знаходитись як у вузлі, так і міжвузлі, що на мові чисел

заповнення відповідає $n_{j\alpha} = 0$ або $n_{j\alpha} = 1$. Враховано, що у випадку вакансії індію $\hat{n}_{j\alpha} = 0$, утворюється комірка $InSe$, а при $\hat{n}_{j\alpha} = 1$ утворюється комірка In_4Se_3 . З умови мінімуму термодинамічного потенціалу знайдено середні концентрації індію нормовані до кількості комірок j . Як показують розрахунки має місце різкий перерозподіл \bar{n}_{In} що відповідає у випадку $\bar{n}_{In} = 1$ утворенню молекул In_4Se_3 .

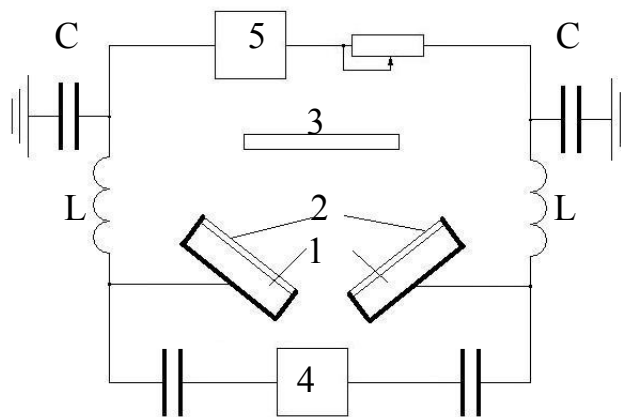
Магнетронное распылительное устройство для нанесения двухкомпонентных покрытий

Кучеренко Е. Т., Бедюх А. Р., Лаврукевич Ю. А.

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Київ, Україна

В настоящем сообщении нами предлагается описание устройства для получения двухкомпонентных покрытий методом магнетронного распыления.

Схематическое изображение узлов устройства представлено на рисунке.



В нем использованы две магнитные системы-катоды 1, расположенные под углом $60-120^\circ$ на которых укреплены мишени распыляемого материала 2, подложкодержатель 3, высокочастотный 4 и низкочастотный 5 источники питания, подключенные к катодам через систему L-C развязок.

Если мишени катодов выполнены из различных материалов, то при работе устройства обеспечивается одновременное распыление материалов этих мишеней и, соответственно, их одновременное нанесение на подложку.

Устройство работает следующим образом: после откачки и напуска в разрядную камеру рабочего газа до уровня $0,1 \text{ Па}$ (10^{-3} мм. рт. ст.) включается источник питания 4 и между катодами зажигается высокочастотный разряд. При таком режиме горения мишени практически не распыляются. Затем включается низкочастотный источник питания 5 и

между катодами дополнительно возникает тлеющий разряд на переменном токе, при горении которого происходит интенсивное распыление мишени.

Если подложка выполнена из диэлектрического материала, то наличие высокочастотного разряда приводит к снятию положительного поверхностного заряда на поверхности подложки, что дополнительно обеспечивает распыление и диэлектрических материалов одной или обеих мишеней.

Описанное устройство защищено положительным решением по заявке на изобретение.

Технологія отримання та спектри відбивання плівок PbTe, PbSe, PbS/ p-Si(100) у видимій області спектру

Левицький С.М., Власенко О.І., Генцарь П.О.,
Криськов Ц.А.¹, Киселюк М.П.¹

Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є.Лашкарьова НАН України, Київ, Україна
¹Кам'янець-Подільський державний університет, кафедра фізики,
Кам'янець-Подільський, Україна

Вузкощільні напівпровідникові сполуки типу $A^{IV}B^{VI}$ є базовими термоелектричними матеріалами в області температур (300-950 К), перспективними матеріалами у напівпровідниковій оптоелектроніці для створення інжекційних лазерів і фотоприймачів, що функціонують у діапазоні довжин хвиль 1-14 мкм, а також незмінними модельними об'єктами для наукових досліджень.

Зразки (PbTe, PbSe, PbS) для дослідження синтезували із окремих елементів високого ступеня чистоти (не нижче 99,9999 % основного компоненту) у вакуумованих (10^{-4} - 10^{-3} Па) кварцових ампулах.

Плівки халькогенідів свинцю були отримані з парової фази методом термічного напилення на вакуумній установці ВУП-5. В якості основної наважки використовувались попередньо синтезовані кристали. Підкладками був використаний монокристалічний кремній p-Si(100) з питомим опором $4 \div 10$ Ом·см (p-Si(100) є базовим матеріалом для виготовлення сонячних елементів, сенсорів тиску і т.д.). Температура підкладок в процесі росту плівок контролювалась і досягала значень 573-623 К. Товщина отриманих плівок контролювалась за допомогою інтерферометра і становила 0,8 – 1,0 мкм.

Із кількісного аналізу спектрів відбивання в діапазоні 400 – 750 нм оцінено показник заломлення плівок n , коефіцієнт екстинції плівок χ , дійсну ($\varepsilon_1 = n^2 - \chi^2$) та уявну ($\varepsilon_2 = 2n\chi$) частини діелектричної проникності плівок, коефіцієнт поглинання плівок α та функцію енергетичних втрат $\psi(E)$.

Оптичні дослідження плівок PbTe, PbSe, PbS на підкладках p-Si(100)

показали, що тонкі поверхневі шари ($\lambda/4m$) по своїм оптичним параметрам не відрізняються від параметрів для об'ємних кристалів PbTe, PbSe, PbS і що в отриманих плівках механічні напруження релаксовані при даних товщинах плівок (постійні ґраток підкладки і плівок відрізняються).

Оптические свойства пленок ПГМС, облученных легкими ионами

Леонтьев А.В., Бойко Е.Б., Камышан А.С., Комаров Ф.Ф., Леонтьев Ю.А.

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

Представлены экспериментальные результаты по исследованию структуры, состава и оптических свойств кремнийорганических соединений, полученных на основе пленок типа "Spin-on-Glass" (SOG), подвергнутых термообработке и последующей бомбардировке протонами и ионами азота. Перед нанесением раствор SOG (фирмы FILMTRONICS, USA), тщательно фильтровался, подложки кремния КДБ-12 химически очищались. Пленки формировались центрифугированием с последующей термообработкой в атмосфере N₂ или на воздухе.

Толщина и оптические константы пленок SOG определялись методами лазерной и спектральной эллипсометрии. Для решения обратных уравнений эллипсометрии разработан программный комплекс ELLIPS предназначенный для быстрого расчета толщины, коэффициентов преломления и экстинции тонких диэлектрических пленок по данным лазерной эллипсометрии. Решение обратных уравнений эллипсометрии с использованием высокоточной 4-х зонной схемы измерений при нескольких углах (65-73°) падения лазерного излучения лежит в основе предложенного метода.

Состав пленок контролировался методом резерфордского обратного рассеяния ионов гелия с энергией 1,0 МэВ. Данные ИК-спектроскопии показали, что исходные пленки по своей структуре близки к полигидроксиметилсилоксану (ПГМС) и имеют коэффициент преломления $k=1,41-1,42$ ($\lambda=628,3$ нм). Облучение протонами с энергией 300 кэВ дозой от 10^{14} до 5×10^{16} ион/см² позволяет увеличить коэффициент преломления до 1,55 при коэффициенте поглощения близком к нулю ($k < 0,001$), что делает возможным их использование в качестве материала для диэлектрических микроволноводов. Бомбардировка ионами N⁺ (300 кэВ) в диапазоне доз от 10^{14} до 5×10^{15} ион/см² позволяет достичь более высокого значения коэффициента преломления $n=1,7-1,75$, но при этом на порядок возрастает величина поглощения. Обсуждаются корреляции величины Δn с плотностью неупруго выделенной энергии.

Наблюдаемые изменения коэффициента преломления объясняются структурными преобразованиями, протекающими в пленках ПГМС при

облучении: укорочением длин структурных звеньев $[\text{Si—O—Si}]_n$ и потерей метильных групп. Ионная бомбардировка приводит к усадке пленок и существенному изменению их состава в связи с потерей атомов водорода. Отношение $N_{\text{Si}}/N_{\text{O}}$, рассчитанное из данных РОР, близко к 0,5.

Термічний відпал в атмосфері повітря та ртуті плівок CdTe, виготовлених методом імпульсного лазерного напилення

Лесюк Р.¹, Савчук В.², Котлярчук Б.², Загіней А.²,

Ошвальдовський М.³, Жешутек Я.³

¹Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна

²Інститут прикладних проблем механіки і математики НАНУ, Київ, Україна

³Відділ технічної фізики Познаньської політехніки, Познань, Україна

Велика ширина забороненої зони, значний час життя носіїв та високий показник поглинання тонких плівок CdTe надають їм значного практичного потенціалу для застосування у сучасних детекторах випромінювання. Однак, питання впливу різноманітного оточуючого середовища на властивості тонких плівок CdTe залишається відкритим. З цієї точки зору, нами було проведено дослідження впливу післяростового термічного відпалу у різних атмосферах (пари ртуті та сухого повітря) на оптичні, електричні та фотоелектричні властивості тонких плівок CdTe. Тонкі плівки CdTe було вирощено на скляних, кварцевих та сапфірових підкладки методом імпульсного лазерного напилення при температурах підкладки в межах 150-350⁰С. Напилені плівки було термічно відпалено в атмосфері сухого повітря і парах ртуті при різних температурах і тривалостях відпалу та різних тисках атмосфери відпалу. Відпал плівок в парах ртуті проводився в попередньо вакуумованій кварцевій ампулі, коли плівка CdTe розміщувалася в одному кінці ампули («зона зразка»), а джерело ртуті («зона ртуті») - в протилежному. Зміна тиску парів ртуті в ампулі досягалася шляхом зміни температури «зони ртуті». Для обох типів атмосфер відпалу було встановлено залежність оптичних, електричних та фотоелектричних параметрів відпалених плівок від температури, часу відпалу та тиску атмосфери відпалу. Виявлено, що при відпалі в атмосфері парів ртуті існує чітка функціональна залежність між швидкістю підняття температури «зони зразка» та «зони ртуті» та параметрами плівок. Дослідження спектрів пропускання для плівок CdTe товщиною 0,2-1 мкм, які були відпалені в сухому повітрі та в парах ртуті при різних умовах (температура, час, тиск) свідчать про значні зміни спектру пропускання. Встановлено, що низько-енергетична границя спектру поглинання для відпалених плівок є найбільш чутливою до умов відпалу. Для плівок CdTe, відпалених у ртутній атмосфері при оптимальних умовах відпалу, визначено оптичну ширину забороненої зони

для дозволених прямих міжзонних переходів у межах 0,08 eV – 1,25 eV ($T=300$ K). Також було проведено дослідження впливу умов відпалу (температури, часу, тиску та виду атмосфери відпалу) на електричні та фотоелектричні параметри тонких плівок CdTe.

Формування вуглецевих структур із аренів на окисдованій поверхні металів

Л.С.Лисюк, В.М.Огенко, С.В.Волков

*Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В.І.Вернадського НАН України,
Київ, Україна*

Електрохімічні методи знаходять використання у синтезі захисних та декоративних полімерних плівок на поверхні металів. Важливою перевагою методу є суміщення в одному циклі полімеризації та нанесення покриття. Широкий вибір мономерів і олігомерів, які можуть вступати в електрохімічно ініційовану полімеризацію, дозволяє отримувати різноманітні функціональні покриття, в тому числі спеціального призначення. Відомий процес одержання електропровідних полімерних плівок із бензолу та його похідних. Передумовою контрольованого проходження цих процесів є застосування платиного електроду і полярного розчинника в присутності кислот Льюїса, як каталізаторів, деаерація системи, термостатування реактора при низькій температурі та його ізоляція від контакту з атмосферою. Утворюється суміш полімерів поліпарафенілену лінійної структури зі ступенем полімеризації в межах від 3 до 38. Примусова конвекція мономерних молекул сприяє протіканню реакції полімеризації у дифузійному шарі поблизу електроду і формуванню щільної плівки на електродній поверхні, перешкоджаючи утворенню поліпарафенілену в реакційному об'ємі.

Нами розроблено новий метод одержання наноструктурного вуглецю з ароматичних вуглеводнів при кімнатній температурі на поверхні окисдованого електроду із металу вентильної групи при використанні сірчаної кислоти як електроліту. Процес протікає у діелектричному середовищі, ініціюється та супроводжується локальними електричними розрядами різної тривалості й інтенсивності, що вказує на формування перколяційних вуглецевих кластерів. Вуглецеве покриття на електроді має вигляд напівпрозорої плівки, на якій сформовані численні об'ємні темні фрактальні структури. Залежно від природи вентильного металу і типу ароматичної сполуки (або домішки заміщеної ароматичної сполуки до бензолу) топологія вуглецевих утворень змінюється.

Технологічні аспекти одержання тонких плівок органічних поліциклічних матеріалів для створення елементної бази оптоелектронних пристроїв

Медвідь М.А., Бойчук В.І., Гадзаман І.В., Кравців М.М.

*Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка,
Дрогобич, Україна*

Тонкі плівки органічних полікристалічних поліциклічних сполук отримувалися методом термічного випаровування у вакуумі, суть якого полягає у нагріванні речовини у спеціальних випарниках до температури, при якій починається помітний процес випаровування із наступною конденсацією парів речовини у вигляді тонких плівок на оптично оброблених поверхнях, розташованих на деякій відстані від випарника. У ролі підкладок використовувались скло, кварц, сапфір, сітал, лавсанові і нітроцелюлозні плівки.

В спеціальних трафаретах підкладки розміщалися у високовакуумну установку, в якій при вакуумі 10^{-6} мм.рт.ст. послідовно наносилися нижній електрод, шар органічної речовини товщиною (0,1 ÷ 1,5) мкм у вигляді круга і верхній напівпрозорий алюмінієвий електрод. Під час напилення враховувалась швидкість напилення речовини .

Для направленої термічної напилення і випаровування органічної речовини розроблено кварцевий тигель у вигляді конуса, на який намотано нагрівний елемент так, що температура горловини верхньої частин тигля була вищою за температуру дна тигля, де знаходився матеріал для сублимації. Така конфігурація нагрівника забезпечує керованість процесом термічного напилення досліджуваного матеріалу.

Верхній електрод наносився такого ж розміру як і нижній, але перпендикулярно до нього. Таким чином досліджуваний зразок, отримувався у вигляді сендвіч-комірочки. Для ефективного проникнення світла верхній електрод напилювався дуже тонким (товщиною порядку 1 мкм), величина опору якого була в межах від 150 Ом до 3000 Ом.

Слід відмітити, що технологія виготовлення тонкоплівкових піроелектричних приймачів дозволяє отримувати як і одноелементні приймачі з площею чутливого елемента від 0,1 до 16 мм² , так і багатоелементні з різними конфігураціями приймальних чутливих поверхонь.

Для підвищення ефективного поглинання інфрачервоного випромінювання тепловими приймачами на активні чутливі поверхні елементів наноситься поглинаюче покриття, методом чорніння з використанням вісмуту, який сублимується у атмосфері азоту або водню при низькому вакуумі.

Отримання і оптимізація тонкоплівкових інтерференційних відрізаючих фільтрів на базі монокристалів In_4Se_3 , In_4Te_3

Мельничук Т.А., Стребезев В.М., Юрійчук І.М., Маковій В.В.

Чернівецький національний університет, Чернівці, Україна

В спектральному приладобудуванні, яке використовує інфрачервоне випромінювання, в навігаційних приладах і системах широко застосовуються ІЧ-світлофільтри. Актуальною є задача створення відрізаючих світлофільтрів для ближньої ІЧ-області спектра з використанням різних напівпровідникових матеріалів в якості основи. При застосуванні в оптичних фільтрах монокристалів групи A^3B^6 - In_4Se_3 , In_4Te_3 , які мають шарувату структуру, та твердого розчину $\text{In}_4(\text{Se}_3)_{1-x}\text{Te}_{3x}$ можна отримати в залежності від складу набір фільтрів з високим пропусканням і з граничною довжиною хвилі $\lambda_{\text{гр}}$ в діапазоні 1,7-2,5 мкм. Задача створення довгохвильових відрізаючих фільтрів з заданою областю блокування випромінювання вирішується шляхом використання багатошарового покриття, що містить декілька інтерференційних тонкоплівкових підсистем з шарами з високим V та низьким H показниками заломлення, які чергуються. Оптичні товщини шарів підсистем підбираються таким чином, щоби зони високовідбиваючих дзеркал окремих підсистем були зміщені і перекривалися. При цьому виникає проблема оптичного та технологічного узгодження підсистем між собою та з оточуючими середовищами з метою одержання високого значення коефіцієнта пропускання. Конструкція фільтрів була розрахована матричним методом еквівалентних шарів в поєднанні з методом згладжування. Досягнуто положення границі відрізання інтерференційно-абсорбційних фільтрів в області $\lambda_{\text{гр}}=3-4$ мкм. В якості плівкоутворюючих матеріалів фільтру були використані плівки Ge та SiO, розрахованої оптичної товщини. Оптимізація конструкції багатошарової тонкоплівкової системи вирішувалася шляхом введення між підсистемами і оточуючими середовищами узгоджуваних шарів, оптимальні параметри яких визначалися математичним моделюванням. В якості узгоджуваних плівок були використані шари з ZnS. Методом растрової електронної мікроскопії вивчена мікроструктура плівкового покриття в залежності від технологічних умов наплення та стабільність фільтрів до дії зовнішніх факторів. Встановлений зв'язок спектральних характеристик і параметрів ІЧ-фільтрів із структурою плівок – складових фільтра та з анізотропією поверхневих дефектів монокристалів підкладок.

Особливості випромінювальної рекомбінації епітаксійних шарів InP при мікрохвильовій обробці

Міленін В.В., Редько Р.А., Редько С.М.

Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, Київ, Україна

Використання надвисокочастотного (НВЧ) випромінювання для модифікації домішково-дефектного складу напівпровідників у порівнянні із іншими видами зовнішніх впливів (термовідпал, лазерна та корпускулярна обробки тощо) має ряд вагомих переваг. Воно дозволяє здійснювати перетворення дефектної структури по всьому опромінену зразку без суттєвої зміни його температури, а також «дістатись» дефектних областей в глибині напівпровідників. Проте, механізми взаємодії електромагнітних хвиль НВЧ діапазону з напівпровідниковими матеріалами на сьогоднішній день не достатньо вивчені.

Об'єктами досліджень були напівпровідникові сполуки епітаксійного InP *n*- типу з орієнтацією поверхні (111) і концентрацією носіїв $<1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Зразки піддавались опромінюванню у вільному просторі в режимі $f=2,45 \text{ ГГц}$, $p = 7,5 \text{ Вт/см}^2$. Інтенсивність НВЧ обробки варіювалась зміною тривалості експозиції опромінювання в діапазоні 0-10 хв. Дефектна структура зразків вивчалася фотолюмінесцентним (ФЛ) методом при 77 К у спектральному інтервалі 0,5÷2,0 еВ. Джерелом збудження служила лампа ПЖ-100. Приймачем світла люмінесценції був PbS фотоопір.

У вихідному стані досліджуваного зразка була присутня неелементарна широка смуга, яку використовуючи метод Гаусса, було розділено – 0,82; 1,02; 1,14 та 1,21 еВ. Стосовно смуги $h\nu = 0,82 \text{ еВ}$ дані в літературі відсутні, а за решту смуг ФЛ відповідальні донорно-акцепторні комплекси [V+домішка]. Залежність інтенсивності цих смуг від тривалості опромінювання носить осцилюючий характер, який обумовлений різними домінуючими факторами еволюції дефектної структури при варіюванні дози експозиції: ефектами гетерування центрів безвипромінювальної рекомбінації та розпадом асоційованих комплексів (центрів випромінювальної рекомбінації) з наступним утворенням нових комплексів.

Причиною такої поведінки не може бути розігрів матеріалу, оскільки вимірювання температури показали її підвищення до $\leq 70^\circ\text{C}$ при найтривалішому опромінюванні та незмінній потужності. Тому для пояснення спостережуваних змін були застосовані нетермічні механізми перетворення дефектної структури.

Дериватографические исследования влияния размера частиц на превращения в композиции ($\text{PbO}+\text{V}_2\text{O}_5$)

Миттова И.Я., Пшестанчик В.Р., Кострюков В.Ф., Скорородова С.М.,
Колядинцева Л.В.

Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

На основании термогравиметрических исследований (дериватограф TGA/SDTA 851^e, Mettler Toledo) изучено влияние размерного фактора на интенсивность взаимодействий в порошкообразных композициях $\text{PbO}+\text{V}_2\text{O}_5$ – активаторах термического окисления GaAs. Исследованию подвергли композиции состава 80 мол.% $\text{PbO}+20$ мол. % V_2O_5 с частицами микро- и наноразмерного диапазонов: 120-750 мкм, ≤ 88 мкм и 7-93 нм $\text{PbO}+133-417$ нм V_2O_5 . При нагреве до 1100 °С со скоростью 20 °С/мин на ТГ-кривых отмечена двухступенчатая потеря массы в диапазонах 260-380 °С и 580-700 °С. При этом образцы с наибольшим размером частиц характеризуются большей относительной потерей массы (0,21 и 0,08% соответственно) по сравнению с частицами средних размеров (0,15 и 0,07%). В то же время, при переходе к наноразмерным частицам интенсивность испарения увеличивается, особенно в высокотемпературной области (0,21 и 0,12%). Кроме того, для этих образцов фиксируется потеря массы (0,023%) в диапазоне 420-520 °С. На основании результатов ДТА выявлен экзотермический эффект вблизи 490 °С, обусловленный частичным взаимодействием с образованием $\text{Pb}_2\text{V}_2\text{O}_7$, причем с уменьшением размера частиц температура этого эффекта несколько повышается (486, 489, 490 °С). При более высокой температуре фиксируется эндотермический эффект, соответствующий плавлению образцов данного состава согласно диаграмме состояния системы $\text{PbO}-\text{V}_2\text{O}_5$. Однако температура, отвечающая эндотермическому ДТА-пику заметно повышается при уменьшении размеров частиц (612, 636, 645 °С). Кроме того, при этом существенно усиливается интенсивность пика. Таким образом, уменьшение размера частиц композиции $\text{PbO}+\text{V}_2\text{O}_5$ существенно и немонотонно влияет как на динамику испарения, так и на интенсивность взаимодействий.

Хемостимулированное термоокисидирование InP под воздействием нанесенных композиций оксидов PbO и V_2O_5 различного состава.

Миттова И.Я., Самсонов А.А.

*Кафедра неорганической химии Воронежского Государственного Университета,
ВоронежРоссия*

Целью настоящей работы является исследование влияния различных

добавок V_2O_5 к слою PbO , нанесенному на поверхность InP , на закономерности термического окисления этого полупроводникового материала. В эксперименте были использованы полированные пластины фосфида индия с нанесенными реактивным магнетронным распылением композициями оксидов, причем толщина напыленных слоев составляла порядка 30 нм.

В процессе формально-кинетической обработки результатов, полученных в во время окисления модифицированных поверхностей фосфида индия, были рассчитанные значения эффективное энергии активации(ЭЭА). В результате было обнаружено закономерное снижение ЭЭА с увеличение концентрации V_2O_5 в нанесенной композиции (от 115 кДж/моль для структуры $(V_2O_5+PbO)/InP$, V_2O_5 -10% мол. %, до 32 кДж/моль для структуры $(V_2O_5+PbO)/InP$, V_2O_5 -75% мол. %).

Для получения информации о процессах, протекающих в гетероструктуре при различных температурах, были сняты ИК-спектры пропускания образцов, полученных при различных температурах и временах окисления. Важной особенностью изучаемых систем, очевидной из ИК-спектров, является присутствие V_2O_5 для всех температур, исследованных с помощью ИКС. Важно отметить и то, что интенсивность минимума, отвечающего V_2O_5 , с увеличением температуры меняется незначительно. Эти данные могут говорить о регенерации оксида ванадия в ходе процесса термического окисления, причем по мере протекания процессов на внутренней границе раздела катализатор отесняется к внешней границе раздела. Подтверждением этого предположениям можно считать расслоение в образовавшейся оксидной пленке, то есть увеличение концентрации соединений ванадия вблизи верхней границы раздела, обнаруженное с помощью УМРЭС.

Таким образом было установлено ускоряющее воздействие добавок оксида ванадия к наноразмерному слою PbO на процесс термоокисидирования InP , причем значительное уменьшение ЭЭА, наблюдаемое с увеличением концентрации оксида ванадия в композиции, говорит о увеличении каталитического вклада в процесс термоокисидирования изучаемых структур.

Комбінаторний PVD-синтез плівок Ge-Sb-Te

Михайльонка Р.Я.^{1,2}

¹ Фізико-хімічний інститут, Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, Івано-Франківськ, Україна

² Lehrstuhl für Werkstoffchemie, RWTH Aachen, D-52056, Aachen, Germany

Комбінаторний метод напилення, який за останні роки стрімко розвивається і знаходить все нові й нові застосування, заставляє проводити систематичні дослідження великого діапазону складів сполук і їх фазових

діаграм. Крім того створення так називаємої бібліотеки матеріалів комбінаторним методом дає можливість зрозуміти на даний момент про властивості системи в цілому, зокрема зв'язок між різними властивостями сполук, таких, як структура, склад і оптичні параметри.

Плівки Ge-Sb-Te в роботі отримувалися шляхом осадження у вакуумі за допомогою комбінаторного PVD (Physical Vapour Deposition)-синтезу квазібінарних сполук GeTe і Sb_2Te_3 . Отримані гомогенні і градієнтні Ge-Sb-Te-плівки піддавали гомогенізуючому відпалу при температурах 200, 300 і 400 °C в атмосфері Ar+H₂. В роботі були досліджені такі характеристики плівок, як склад, структура і електричні властивості. Склад осаджених плівок досліджували за допомогою електроннопроменевого мікроаналізу (ESMA) і X-променевої фотоелектронної спектроскопії (XPS); структуру – за допомогою трансмісійного електронного мікроскопа (ТЕМ) і X-променевого дифракційного аналізу (XRD); електричні властивості – 4-ох точковим методом.

На основі одержаних даних побудовано схему області зміни складу осаджених стехіометричних потрійних сполук Ge-Sb-Te з відповідних квазібінарних розрізів GeTe- Sb_2Te_3 фазових діаграм, яку і представлено на рисунку.

Отримані нами матеріали системи Ge-Sb-Te належать до зміннофазних матеріалів, які під дією зовнішніх чинників, таких як температура, змінюють свою фазу з аморфної на кубічну і далі на гексагональну, і можуть використовуватися у пристроях збереження інформації, таких як DVD.

Синтез и модифицирование свойств тонкопленочных сложных оксидов индия и олова

Мячина Т.А., Логачева В.А., Ховив А.М.

Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

Сложные оксиды на основе индия и олова (ITO-структуры – от англ. «indium-tin oxide») – уникальные материалы, обладающие высокой

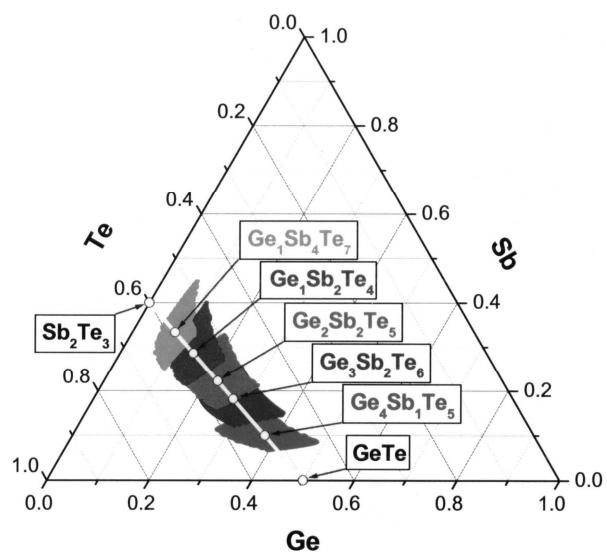


Рис. Схема області зміни складу стехіометричних потрійних сполук Ge-Sb-Te.

проводимостью и прозрачностью, механической твердостью и химической инертностью. Они широко применяются в оптоэлектронных и фотогальванических устройствах, плоско-панельных дисплеях, солнечных элементах и биологических системах, используются как термозащиты и электроды. Свойства тонкопленочных оксидов индия-олова определяются условиями их получения. Данные о механизме формирования этих структур позволяют установить корреляцию между методом получения и оптическими и электрическими свойствами пленок. В будущем это даст возможность модифицировать свойства тонкопленочных ИТО-структур и разработать технологию синтеза поликристаллических покрытий с заранее заданными свойствами.

Тонкие пленки получали магнетронным методом напыления. Для исследования тонкопленочных образцов применяли рентгено-фазовый анализ, электронную микроскопию, лазерную эллипсометрию, рентгено-электронный микроанализ, а также оптическую и ИК-спектроскопию. Для модифицирования свойств ИТО-структур было использовано два пути синтеза: метод оксидирования послойно напыленных пленок металлов и окисление тонких пленок, напыленных из составной мишени.

Модифицирование свойств послойно напыленных тонкопленочных ИТО-структур заключается в изменении механизма формирования всей гетероструктуры в целом вследствие варьирования конфигурации межфазных границ. Показано, что при температуре оксидирования 723 К в пленке состава In – 92,83; Sn – 7,17 ат.% начинают образовываться ИТО-структуры в результате совместного отжига в потоке кислорода двух металлов, напыленных магнетронным способом на монокристаллический кремний. Установлен механизм данного процесса, заключающийся в замещении атомов индия атомами олова в узлах кристаллической решетки In_2O_3 кубической модификации. Методами адсорбционной спектроскопии в области края собственного поглощения установлено существование прямых разрешенных переходов с энергией, характерной для ИТО-структур, что наряду с рентгеноструктурным анализом и данными электронной микроскопии подтверждает предложенный механизм их формирования.

Зміна зарядових властивостей межі розділу Si-SiO₂.

Новосядлий С.П., Бережанський В.М.

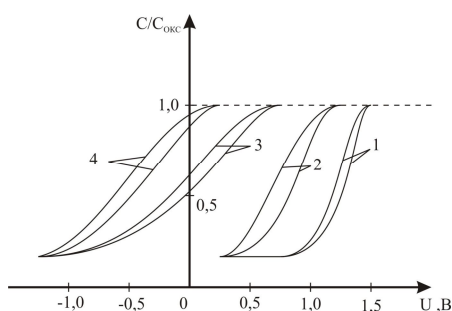
*Прикарпатський національний університет ім. В. Стефаника,
Івано-Франківськ, Україна*

Подальше зменшення топологічних розмірів елементів структур ВІС вимагає подальшого розуміння фізичних процесів, які протікають на межі розділу напівпровідник-діелектрик, зокрема природу виникнення позитивного заряду та пошуку методів управління ним для його

зменшення і зміни зарядового стану з позитивного на негативний [1].

В даній роботі подаються експериментальні дослідження при формуванні від'ємного заряду на міжфазній межі Si-SiO₂ на основі аналізу дефектів, що виникають при термічному рості оксиду. Відповідно аналіз проводився в рамках відповідності кристалічних ґраток на межі розділу. Як відомо, термічний оксид може перебувати в трьох модифікаціях: α-кварц, β-тридіміт, β-кристалоболіт, які мають свої параметри ґраток. Тому змінюючи параметри цих ґраток можна за допомогою зміни напружень змінювати зарядовий стан міжфазної межі з позитивного на негативний.

Нами були проведені дослідження впливу на електрофізичні параметри тестових структур галогеновмісних газів (чотирихлористого вуглецю CCl₄, трихлоретилену CHCl₃, хлористого водню HCl, хлористого цинку ZnCl₂, елегазу SF₆ в концентраціях, що визначають гетерні властивості їх (0,5-3 %). Встановлено, що добавки хлорних сполук CCl₄, CHCl₃, HCl приводять до зменшення позитивного заряду, але до зміни його на негативний не приводять. Це добре видно із вольт-фарадних характеристик структур Si-SiO₂ (рис.1). Навпаки, іони фтору, які мають дуже малий іонний радіус та велику рухливість, спосібні ефективно дифундувати разом з окислювачем до межі розділу Si-SiO₂, змінюючи структуру перехідного шару із SiO₂ на Si₂O-SiO.



зміну дипольних центрів протилежної направленості, бо проходить зміна α-кварца в α-кристалоболіт, тобто напруження ґраток змінюють заряд.

Рис.1. Вольт-фарадні характеристики ТС Si-SiO₂: 1 – без галогена; 2 – O₂+CCl₄; 3 – O₂+SF₆; 4 – ІІ F⁻.

Експериментальними дослідженнями в тому числі багатозарядною імплантацією іонів фтору F⁻ встановлено, що вміст галогенів зростає в SiO₂ (перехідному) на межі Si-SiO₂, особливо сильно іони F⁻. Це забезпечує формування МОН-транзисторів з від'ємною пороговою напругою, що є адекватно формуванню р-канального вмонтованого транзистора з n-канальним (індукованим) як комплементарної пари.

1. Новосядлий С.П. *Фізико-технологічні основи субмікронної технології ВІС*. Сімик, Івано-Франківськ.

Піролітичне осадження оксидних плівок CdO і ZnO, легованих марганцем

Орлецький І.Г., Фрасуняк В.М.

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, Чернівці, Україна

Тонкі оксидні плівки впродовж багатьох років успішно застосовуються в різних галузях техніки. Дослідницький інтерес, що відновився в останні роки до плівок такого типу, пов'язаний з можливістю використання їх у приладах спінтроники. В роботах [1,2] показано, що плівки ZnO, леговані домішками Mn, Co, Ni володіють феромагнітними властивостями з високими температурами Кюрі, що є необхідним для спін-залежної провідності різних пристроїв спінтроники. Отримання плівок методом пульверизації, порівнянно з іншими методами, володіє рядом переваг, серед яких простота обладнання, доступність технології та низька вартість кінцевого продукту.

Для отримання плівок CdO і ZnO, легованих Mn, використовувалися водні розчини ацетатів кадмію (CH_3COOCd), цинку (CH_3COOZn) та спиртовий розчин $\text{MnCl}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ у відповідних співвідношеннях. Розчини заданої концентрації наносили на хімічно оброблені та просушені підкладки зі скла і ситалу. При температурах близьких до 400°C формувалися суцільні, механічно міцні, переважно із дзеркальною поверхнею плівки.

Встановлено, що електропровідність плівок, одержаних методом піролізу, залежить від концентрації марганцю і зменшується при його збільшенні у розчині. При введенні в розчин спеціальних добавок покращується якість і дещо зменшується питомий опір плівок.

На спектральних залежностях коефіцієнта пропускання плівок CdO:Mn та ZnO:Mn спостерігається смуга крайового поглинання у видимій області спектра, положення якої залежить від концентрації носіїв заряду, що зумовлено ефектом Бурштейна-Мосса. У зазначеному спектральному інтервалі плівки CdO:Mn та ZnO:Mn володіють меншим коефіцієнтом пропускання (в межах 20-40%), порівнянно з нелегованими зразками.

Результати дослідження магнітної сприйнятливості показали, що плівки CdO:Mn та ZnO:Mn володіють парамагнетизмом, який описується законом Кюрі-Вейсса.

1. Liu C., Yun F., Markoc H.. Ferromagnetism of ZnO and GaN // *J.Mater.Science: Mater.Electronics*. **16**. p.555 (2005).
2. Sharma P., Gupta A., Owens F.J., Inoue A., Rao K.V.. Room temperature spintronic material – Mn-doped ZnO revisited // *J. Magn.Magn. Mater.* **282**. p.115 (2004).

Модифікація атомами хрому електролітичних покриттів

Петрик І.Я., Дацко П.В.

Прикарпатський національний університет ім. В. Стефаника,
Івано-Франківськ, Україна

Одним із перспективних методів одержання ефективних покриттів на металах є нанесення електролітичних осадів, на поверхню деталі з наступним його дифузійним насиченням іншим металом, що дозволяє на її поверхні отримати покриття цілком відмінним за структурою і властивостями від матриці [1].

Основою для нанесення покриття служили зразки із сталі марки Ст.3 на які електролітичним методом наносили шар нікелю [2]. Поскільки дифузійне хромування нікелевого шару в наших експериментах не дало бажаного результату, нами було проведене електролітичне залізнення зразків з нанесеним нікелевим покриттям. З метою дегазації електролітичних осадів зразки перед хромуванням піддавались відпалюванню у вакуумній печі при температурі 350 – 400 °С.

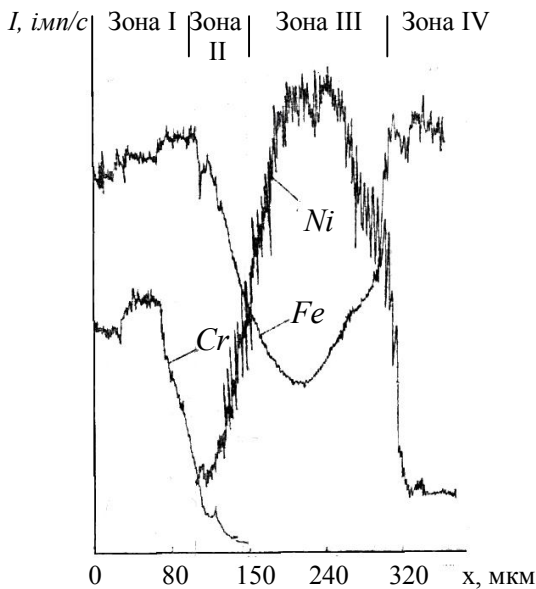


Рис. 1. Розподіл елементів в дифузійному шарі хромованого двошарового електролітичного покриття залізо – нікель на сталі марки Ст. 3.

Проведений рентгеноструктурний аналіз підтвердив відсутність існування карбідів хрому. Атоми хрому не проникали в нікелевий осад рис. 1, а утворювали тверді розчини із залізом та скупчувались на межі розподілу шарів Fe – Ni і границях зерен. Однак помітна вузька зона твердого розчину нікелю в залізі (зона II), що свідчить про зустрічну

дифузію атомів нікелю в залізо. В цій же зоні спостерігається дуже низька концентрація атомів хрому, які знаходились, очевидно, уже в твердому розчині заліза, в який і дифундували атоми нікелю. Зона III відповідає твердому розчину заліза в нікелі, а зона IV стосується матриці, тобто Ст.3, в яку продифундувала незначна кількість атомів нікелю. Зона I характеризується високою концентрацією хрому в електролітичному осаді заліза, однак подальше проникнення атомів хрому в залізо гальмується зустрічною дифузією атомів нікелю в залізо.

1. Архаров В.И., Яр – Мухамедов Ш.Х.. Новые покрытия для защиты стали от коррозии // *Физика твердого тела*. ХПИ, Харьков: 8. сс. 61-66 (1978).

2. Лучка М.В., Мельник П.И. и др. *Износостойкие диффузионно легированные композиционные покрытия*. Техніка, К.: 143 с. (1993).

Молекулярно-динамічне моделювання розпилення поверхневих Си кластерів з поверхонь металевих підкладінок

Пугіна К.В., Корніч Г.В.

Запорізький національний технічний університет, м. Запоріжжя, Україна

Виконано молекулярно-динамічне моделювання іонного розпилення одиночного кластера, що складається з 39 атомів міді (Cu_{39}), з поверхонь (1 0 0) золотої і мідної підкладінок. Міжатомна взаємодія Cu-Cu моделювалася потенціалом Урбасека [1], взаємодія між атомами Au – потенціалом Акланда [2], взаємодія Au-Cu – потенціалом Акланда для сплавів і сумішей [3]. Методики моделювання атомної конфігурації вільного кластера, підкладінки та двохоб'єктної системи кластер-підкладінка аналогічні описаним в [4]. При створенні двохоб'єктної системи структура кластера Cu_{39} змінювалася у відповідності зі структурою (1 0 0) поверхні підкладінки. Для кожної підкладінки моделювалося 2000 тестових випробовувань іонами Ar з енергією 200 еВ. Отримано значення модельних коефіцієнтів розпилення, кутові й енергетичні розподіли розпилених атомів кластера. Досліджувався вплив невідповідностей між значеннями сталих кристалічної ґратки кластера і підкладінки на процес розпилення.

Отримано, що значення коефіцієнту розпилення кластера з поверхні Cu підкладінки перевищує значення коефіцієнту розпилення з Au підкладінки (1.48 атомів/іон порівняно з 1.02 атомів/іон). Ослаблення інтенсивності розвитку каскаду атомних зіткнень в кластері Cu_{39} на поверхні Au є наслідком зменшення щільності атомного пакунку в кластері, яке виникає внаслідок невідповідності між значеннями сталих кристалічної ґратки кластера і підкладінки (12.8%). Коефіцієнт розпилення мідної підкладінки склав значення 0.51 атомів/іон, порівняно з коефіцієнтом розпилення золотої – 0.14 атомів/іон. Оскільки каскад атомних зіткнень в підкладінці розвивається внаслідок його розповсюдження із області кластера, зменшення інтенсивності розпилення підкладінки також є наслідком зниження інтенсивності розпилення кластера внаслідок невідповідності між значеннями сталих кристалічної ґратки кластера і підкладінки.

1. Gades H., Urbasek H.M. // *Nucl. Instr. and Meth. B*, **69**, P. 232 (1992).
2. Akland G.J., Tichy G., Vitek V. et. al. // *Phil. Mag.*, **56**, P. 735 (1987).
3. Akland G.J. and Vitek V. // *Phys. Rev. B*, **41**, P. 10324 (1990).

4. Kornich G.V., Betz G., Zaporozhchenko V. et. al. // *Nucl. Instr. and Meth. B*, 227, P. 261. (2005).

Розсіювання електронних хвиль парою атомів речовини в електроннографії

Рябощук М.М.

Ужгородський національний університет, E-mail: ivanc@mail.uzhgorod.ua

На сьогодні тонкоплівковий стан аморфних речовин є найбільш перспективним з точки зору його практичного використання. А для таких об'єктів особливо ефективним методом структурних досліджень виступає електроннографія. Але методи електронної дифракції на аморфних речовинах методично розроблені набагато слабше рентгенівських і поступаються їм за точністю отримуваних результатів. Це зумовлено тим, що метод електронної дифракції аморфних речовин розроблявся з використанням простого “механічного” перенесення багатьох підходів методу дифракції рентгенівських хвиль з не повним урахуванням суттєвих відмінностей між ними. У зв'язку з цим особливого значення набуває правильне розуміння суті процесу інтерференції електронних хвиль на аморфних речовинах, які зумовлюють утворення їх дифрактограми, що значною мірою може впливати на коректність інтерпретації експериментальних результатів та на точність визначення структурних параметрів.

Найпростішим базовим структурним елементом для дослідження процесів утворення дифракційної картини від аморфних об'єктів зручно вибрати пару атомів (двохатомну молекулу) [1], оскільки інтерференція хвиль на такій парі відображає у найбільш прозорому вигляді більшість особливостей процесу дифракції. Отримувана дифракційна картина є результатом усереднення інтерферуючих хвиль від атомних пар з різною просторовою орієнтацією. При цьому кожна орієнтація атомної пари дає свою специфічну картину інтерференції. Тому вихідним важливим питанням є характер впливу орієнтації пари атомів речовини відносно електронного пучка на загальний характер розподілу інтенсивності інтерференції від неї, а також кількісний внесок пар атомів з різною орієнтацією в загальну дифракційну картину від аморфної речовини. Саме ці питання стали предметом досліджень даної роботи.

Дослідження проводились на ідеалізованій моделі у вигляді двох атомів, взаємне розташування яких у просторі задається вектором міжатомної відстані. Математичний аналіз процесу розсіювання електронів на такій моделі дозволив отримати загальне співвідношення для інтенсивності інтерференції електронних хвиль. В результаті виявилось, що для кожної фіксованої відносно падаючого пучка орієнтації пари атомів

виникає свій кутовий розподіл інтенсивності розсіювання. Характер цього розподілу задається “структурною” частиною розсіювання, яка описується законом косинуса від складного аргументу. Для детального вивчення особливостей такого розсіювання було проведено комп’ютерне моделювання електронogram від пари атомів при її різній орієнтації відносно зонduючого пучка.

Результати моделювання показали, що в загальному електронogram двоатомного газу майже на 80 % формується атомними парами, орієнтованими відносно зонduючого пучка електронів під кутами $40 \div 90^\circ$. Лише 20 % інформації в електронogramі зумовлено атомними парами, орієнтованими під кутами $15 \div 40^\circ$. Атомні пари з орієнтаціями, що відповідають кутам $0 \div 15^\circ$ у формуванні електронogramи практично не беруть участі, оскільки їх дифракційні рефлексии попадають в область векторів розсіювання, яка не фіксується у звичайному електронogramафічному експерименті.

1. Pings C.J. Physics of Simple Liquids (Edited by H.N.V.Temperley, J.S.Rowlinson, G.S.Rushbrooke). Amsterdam. (1968).

Розрахунок ширини забороненої зони тонких плівок $\text{Si}_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_2$

Савченко М.Д.¹, Щурова Т.М.¹, Попович К.О.¹,
Рубіш І.Д.¹, Рубіш В.М.², Лайзинг Г.³

¹Ужгородський національний університет, Ужгород, Україна

²Ужгородський науково-технологічний центр ІПРІ НАНУ, Ужгород, Україна

³Технічний університет, Грац, Австрія

Тонкі плівки $\text{Si}_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_2$ змінного складу знайшли практичне застосування завдяки широкому діапазону зміни ширини забороненої зони (E_g), а саме, від 8,5 еВ до 3,2 еВ для об’ємних зразків SiO_2 і TiO_2 , відповідно. Метою даної роботи є розрахунок величини E_g і її порівняння з експериментальними значеннями E_g для тонких плівок $\text{Si}_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_2$ [1].

Розрахунки проведені методом, який базується на методі лінійної комбінації атомних орбіталей і методі псевдопотенціалу з використанням атомних термів Хартрі-Фока [2]. При розрахунках енергії ковалентного зв’язку використані табличні значення ковалентних радіусів для атомів Si (0,117 нм), Ti (0,161 нм) і O (0,042 нм). Обчислення виконувалися в три етапи. На першому етапі для SiO_2 і TiO_2 розраховувалися енергетичні положення верхньої межі валентної зони і дна зони провідності, які, відповідно, складають -8,65; -0,07; та -9,99; -7,05 еВ. Це дозволило визначити в точці Г зони Бріллюєна величину E_g , яка для SiO_2 рівна 8,58 еВ, а для TiO_2 , - 2,94 еВ. На другому етапі обчислень визначалося енергетичне положення станів у забороненій зоні SiO_2 , індукованих присутністю іонів титану. Виходячи із значення атомного терма Ti 4s,

розрахована енергія вищевказаних станів (-4,95 eV). На третьому етапі будувалася концентраційна залежність $E_g(x)$ виходячи з припущення, що ширина забороненої зони $Si_xTi_{1-x}O_2$ формується при значенні $x \leq 0,98$. Для значення $x = 0,98$ величина E_g складала 4,06 eV. Лінійною апроксимацією визначені величини E_g для інших значень x .

Результати розрахунків порівнювалися з експериментальними значеннями E_g , визначеними оптичними методами та методом відбивальної спектроскопії втрат енергії електронів [1]. Відхилення розрахункових значень E_g від експериментальних не перевищувало 10 %.

Розглядається можливість визначення уточнених значень величини міжатомної відстані Si-O і Ti-O на основі експериментальних значень E_g шляхом розв'язку оберненої задачі.

1. Gracia F., Yubero F., Holgado P., et al., *Surf.Interface Anal.*, **38**, 752 (2006).
2. Harrison W.A., *Elementary Electronic Structure*. New Jersey, London, Singapore, Shanghai, etc: World Scientific Publishing Co. (2004.)

Вплив мікрошорсткості поверхні на контакті явища в парі полімерний композит – метал з трибопокриттям

Сіренко Г.О., Кедик М.В.

*Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника
вул. Шевченка, 57, Івано-Франківськ 76000, Україна*

Відомо, що при терті полімерного композиту на основі ПТФЕ + карбонізоване волокно на суміжній металічній поверхні утворюється трибопокриття з ПТФЕ. Використовуючи теорію випадкового поля для опису шорсткої поверхні, досліджена ізотропна поверхня тертя за допомогою моментів спектральної щільності: нульового порядку m_0 , що пов'язаний з висотним параметром, другого порядку m_2 , що пов'язаний з градієнтом поверхні, і четвертого порядку m_4 , що пов'язаний з кривиною поверхні у вершині мікронерівностей.

Рівняння зв'язку інтенсивності зношування композиту з моментами спектральної щільності m_0 , m_2 , m_4 вихідної металевої поверхні та отриманої поверхні з трибопокриттям в процесі терті без мащення на шляху 50-1200 км отримано за методом Брандона. Інтенсивність зношування композиту залежить від m_0 , m_2 , m_4 вихідної металічної поверхні і шляху тертя таким чином:

0-50 км	$m_0 > m_2 \gg m_4$
50-100 км	$m_0 > m_2 \gg m_4$
200-300 км	$m_2 > m_0 \gg m_4$
300-400 км	$m_4 \gg m_2 > m_0$

.....

 1000-1200 км $m_4 \gg m_2 > m_0$

Досліджено зміни розподілу висот вершин і середньої кривин у вершині мікронерівностей зразків полімерного композиту і суміжної поверхні тертя сталі 45 від шляху тертя. Виявлено, що вихідна поверхня і поверхня, що утворена в процесі тертя, змінюються хвильовим характером і достатньо віддалені від гауссовського розподілу (для всіх випробувань параметр широсмужності спектру $\alpha = m_0 m_4 / m_2^2$ змінювався в межах 2,3-12,6 для конгртіла та 1,85-5,2 для полімерних зразків; граничні значення $\alpha \rightarrow 0,5$ і $\alpha \rightarrow \infty$ (гауссовський розподіл)).

Досліджено розподіл висот вершин і середньої кривини у вершині мікронерівностей ущільнювального кільця, навантаженого змінним тиском, та зразка, навантаженого сталим тиском, після 200год. роботи в компресорі 2РК - 1,5220 БС при стиканні вологого повітря. Виявлено, що змінний тиск суттєво змінює розподіл обох параметрів, ніж сталій.

Лазерна десорбційна мас-спектрометрія полімерів з поверхні графітовмісних мішеней на прикладі поліетиленгліколю із різним ступенем полімеризації

Снегір С.В. Зарко В.І. Покровський В.О.

Інститут хімії поверхні НАН України, Київ, Україна

Розвиток мас-спектрометричних методів дослідження в останні роки із відкриттям методу матрично-стимульованої лазерної десорбції/йонізації (МАЛДІ) набув нового характеру. Превагою над існуючими методами є м'яка йонізація досліджуваних зразків. Така особливість викликана використанням органічних кислот (далі матриць), які поглинаючи випромінення лазера переводять нелеткі сполуки в газовий стан та йонізують досліджувані молекули без значної деструкції. Тобто матриця виступає як аген, який значно знижує потенціал десорбції зразка. Одначе, в залежності від хімічної та фізичної природи досліджуваних сполук вибір матриці стає критичним у проведенні МАЛДІ мас-спектрометричного експерименту. Тому досі не існує оптимальної матриці, яка б могла бути застосовною для широкого кола досліджуваних зразків, чи бути використаною як ефективна матриця для нових синтезованих сполук.

Нещодавно, Black та співавтори [1], встановили, що застосування «звичайного» грифеля олівця, нанесеного певним чином на поверхню підкладки, дає можливості досліджувати цілісні молекули. В роботі Berger-Nicoletti та співавторів [2], показано значні переваги графітової над

стандартними матрицями, як безрідинного методу пробпідготовки для сіліл гідрид-функціоналізованих полімерів.

В даній роботі представлені мас-спектрометричні результати, що свідчать можливості застосування грифельного протоколу приготування поверхні для лазерної десорбції/йонізації. Дослідження показали, що даний мас-спектрометричний підхід дає можливість досліджувати полімери із високим ступенем полімеризації, характеризувати конечні групи, встановлювати їх хімічну структуру. Робота виконана в Центрі Колективного Користування Інституту хімії поверхні НАН України на приладі Autoflex II Bruker Daltonics, Germany

1. Black C., Poile C., Langley J. and Herniman J.// The use of pencil lead as a matrix and calibrant for matrix-assisted laser desorption/ionization: RCM. **20**. сс.1053-1060 (2006).
2. Berger-Nicoletti E., Wurm F., Kilbinger A. F.M., and Frey H. // Pencil Lead as a Matrix for MALDI-Tof Mass Spectrometry of Sensitive Functional Polymers

Дослідження електрооптичних властивостей тонких плівок поліаміноаренів сформованих методом термовакuumного осадження

Стахіра П.Й., Черпак В.В., Волинюк Д.Ю.

Національний університет "Львівська Політехніка", Львів, Україна

Вивчено вплив умов термічного вакуумного осадження на електрохімічні та електрооптичні властивості тонких плівок поліаміноаренів (поліорто-толуїдину, поліаніліну, поліортометоксіаніліну) отриманих на поверхні прозорих ІТО електродів. Знайдено область температур осадження, при яких забезпечується збереження електрохімічної та електро-оптичної активності плівок при значному покращенні їх морфології та окисно-відновної стабільності. Основна увага приділялася вивченню оптичних, електрохімічних і електрооптичних властивостей тонких полімерних плівок, напилених в температурному діапазоні 180-450⁰С, що відповідає основним ділянкам втрати маси, згідно термогравіметричних досліджень. Проведено порівняльний аналіз електрохімічних та електрооптичних властивостей полімерних плівок отриманих методом вакуумного напилення та електрохімічної полімеризації.

Виявлено, що плівки поліаніліну, напилені при низьких температурах (180 і 360⁰С) характеризуються високою хімічною стійкістю. В діапазоні температур 400-450⁰С плівки поліаніліну демонструють помітно більшу електрохімічну активність на відміну від плівок поліорто-толуїдину, поліортометоксіаніліну.

Частоти нормальних коливань адсорбційних комплексів кисню на грані (111) кристалічного силіцію

Теребінська М.І., Лобанов В.В.

Інститут хімії поверхні НАН України, Київ, Україна

Серед фундаментальних методів дослідження просторової структури адсорбційних комплексів на поверхні твердого тіла, поряд з традиційними ІЧ- і Оже – спектроскопією, в останній час широкого розповсюдження набула спектроскопія втрат енергії електронів, що опромінюють твердофазну поверхню. Однак, використання цього методу стикається з певними труднощами, які пов'язані з неоднозначною інтерпретацією одержаних даних. Значну допомогу в трактуванні спектрів втрат енергії електронів можуть надати квантово-хімічні методи.

В даному повідомленні наведені результати розрахунків коливальних спектрів адсорбційних комплексів молекули кисню і продуктів їх подальшого перетворення на грані (111) поверхні кристалічного силіцію. Розрахунки виконувались методом функціоналу густини з базисним набором 6-31G** у кластерному наближенні.

Так, зокрема показано, що частота валентних коливань зв'язку О–О молекулярно адсорбованого кисню складає 756 см^{-1} , в той час як в ізольованій молекулі O_2 вона дорівнює 1580 см^{-1} . Це корелює з видовженням розглядуваного зв'язку в поверхневому комплексі. Для структури з хемосорбованими атомами кисню в top – положеннях відносно поверхневих атомів силіцію частоти валентних Si–O коливань зростає до 936 см^{-1} в порівнянні з аналогічною частотою в молекулі Si–O (853 см^{-1}). Це свідчить про значну взаємодію атома кисню з ґраткою силіцію, що є передумовою вбудування атома кисню в зв'язок Si–Si і утворення оксидного шару на поверхні силіцію.

Досить характерною є різниця між симетричними (916 см^{-1}) та антисиметричними (1044 см^{-1}) деформаційними O–Si–O коливаннями для структури, в якій один атом O вбудований у зв'язок Si–Si, а другий займає top- положення відносно поверхневого атома силіцію. Вона сягає для комплексу ins-top 128 см^{-1} , що значно перевищує типову різницю для ізольованих силіцій-вмісних молекул.

За допомогою теоретично одержаних результатів можна зробити висновки про будову адсорбційних сполук кисню на поверхні кристалічного силіцію, якщо їх порівняти з експериментальними даними щодо спектрів характеристичних втрат енергії електронів.

Физические свойства $\text{Cu}(\text{In,Ga})(\text{S,Se})_2$ тонких плёнок, полученных сульфурризацией/селенизацией слоёв Cu-In-Ga

Тиванов М.С.^{1,2}, Зарецкая Е.П.², Иванов В.А.², Залесский В.Б.³, Романов П.И.³, Леонова Т.Р.³, Дроздов Н.А.¹, Федотов А.К.¹, Жуковский П.В.⁴

¹Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

²Объединённый институт физики твёрдого тела и полупроводников НАН Беларуси, Минск, Беларусь

³Институт электроники НАН Беларуси, Минск, Беларусь

⁴Люблинский технический университет, Люблин, Польша

Представлены результаты исследований физических свойств тонких плёнок $\text{Cu}(\text{In,Ga})(\text{S,Se})_2$ с соотношением $\text{Ga}/(\text{In}+\text{Ga})$ от 0.03 до 0.14 и $\text{S}/(\text{S}+\text{Se})$ от 0.14 до 0.88, полученных методом сульфуризации/селенизации интерметаллических слоёв Cu-In-Ga . Основное отличие предлагаемого метода от известных технологий – синтез проводится в едином технологическом цикле без использования токсичных газов H_2Se и H_2S .

Исследовались фазовый состав плёнок, микроструктура, элементный состав по глубине слоя. Установлено, что повышение температуры стадии рекристаллизации, как и замещение $\text{S} \rightarrow \text{Se}$, приводит к выравниванию профиля концентрации галлия. Получение плёнок $\text{Cu}(\text{In,Ga})(\text{S,Se})_2$ с заданным профилем распределения галлия возможно при более низких температурах синтеза, чем плёнок $\text{Cu}(\text{In,Ga})\text{Se}_2$, что позволяет синтезировать плёнки $\text{Cu}(\text{In,Ga})(\text{S,Se})_2$ на гибких подложках.

Из температурной зависимости электрического сопротивления определены энергии активации энергетических уровней дефектов, возникающих в процессе синтеза тонких плёнок. Установлено, что изменение температуры стадии рекристаллизации, как и взаимное замещение $\text{S} \leftrightarrow \text{Se}$, не оказывает существенного влияния на ансамбль доминирующих дефектов. Все синтезированные $\text{Cu}(\text{In,Ga})(\text{S,Se})_2$ слои имели p-тип проводимости.

Ширина запрещённой зоны синтезированных плёнок, рассчитанная из спектров оптического пропускания, соответствует требованиям высокоэффективного фотопреобразования солнечного излучения.

Предлагаемый метод перспективен для получения тонких плёнок $\text{Cu}(\text{In,Ga})(\text{S,Se})_2$, используемых для создания высокоэффективных солнечных элементов. В первую очередь это обусловлено возможностью синтеза однофазных плёнок твёрдых растворов $\text{Cu}(\text{In,Ga})(\text{S,Se})_2$ большой площади с заданным распределением ширины запрещённой зоны по глубине слоя, что обеспечивается контролем соотношения компонентов и технологических режимов синтеза. Внедрение данного метода позволяет упростить технологию производства тонких плёнок $\text{Cu}(\text{In,Ga})(\text{S,Se})_2$ с одновременным повышением экологической безопасности процесса.

Дослідження внутрішнього тертя в тонких плівках склоподібних напівпровідників методом циклічного наноіндентування

Трунов М.Л.¹, Біланич В.С.¹, Рубіш В.М.², Дуб С.М.³, Гасинець С.М.², Шпирко Г.М.²

¹Ужгородський національний університет, Україна

²Інститут проблем реєстрації інформації НАН України, Україна

³Інститут надтвердих матеріалів НАН України імені В.М. Бакуля, Україна

В даній роботі методика наноіндентування застосована для дослідження внутрішнього тертя в тонких плівках склоподібних напівпровідників системи As-S(Se) та його змін при опроміненні плівок світлом із області краю власного поглинання. В цих плівках при опроміненні світлом із області краю власного поглинання спостерігається негативний фотопластичний ефект, який полягає у фоторозм'якшенні плівок внаслідок атермічного зменшення їх в'язкості до 10^{12} Пуаз. Дослідження проведені на нанотвердомірі Nano Indenter II (MTS Systems) індентором Берковича при циклічному прикладанні навантаження. Приведена оцінка величини внутрішнього тертя і пружного модуля плівок та динаміка їх змін під час опромінення. Встановлено, що на відміну від фотозатемнення, фотоіндуковані зміни внутрішнього тертя і модуля Юнга є складними і немонотонними. Під час лазерного опромінення на часових залежностях внутрішнього тертя та модуля Юнга проявляються максимуми, положення та амплітуда яких залежить від частоти індентування. Виявлена дисперсія фотоіндукованих змін механічних властивостей, яка порівнюється з особливостями змін аналогічних механічних параметрів плівок в області релаксційних переходів. Встановлено, що при зменшенні частоти циклічного індентування дисипативні максимуми зсуваються в область більших часів експозиції. Одержані залежності аналізуються з точки зору теорії самоорганізації, а саме – припущення про можливість формування при конденсації плівок дисипативних структур та їх наступної трансформації під час опромінення, яка приводить систему до мінімуму розсіяння енергії зовнішнього механічного поля. Показано, що при опроміненні плівки проходить самоорганізація її структури, яка приводить до гальмування релаксаційних процесів. Одержані прямі експериментальні докази наявності колективних (синергетичних) процесів такої самоорганізації.

Применение метода конденсации в квазизамкнутом объеме для формирования пленок теллурида кадмия

Н.М. Харченко

*Национальный Технический Университет
«Харьковский Политехнический Институт», Харків, Україна*

Тонкие пленки CdTe являются перспективным материалом для создания базовых слоев фотоэлектрических преобразователей. Эффективность фотоэлектрических процессов в солнечных элементах в значительной степени определяется степенью структурного совершенства базового слоя, что зависит от условий получения.

В работе пленки CdTe толщиной 4-6 мкм. были получены методом конденсации в квазизамкнутом объеме на не ориентирующих подложках. Данный метод позволяет получать тонкие поликристаллические пленки в условиях близких к термодинамическому равновесию, что является основным преимуществом данного метода перед другими вакуумными технологиями. Определены значения начальной температуры конденсации пара CdTe на различные подложки в диапазоне температур испарителя 450-560°C и проведено изучение влияния условий осаждения на структуру пленок CdTe, полученных при низком значении пересыщения пара.

Установлено, что с увеличением температуры конденсации увеличивается доля зерен, в которых параллельно поверхности подложки расположены плоскости с уменьшающейся ретикулярной плотностью. На дифрактограммах образцов наблюдаются все эффекты, связанные с наличием дефектов упаковки для г.ц.к.- кристаллов. Показано, что основной вклад в уширение дифракционных максимумов для пленок CdTe, полученных при низком значении пересыщения пара вносят дефекты упаковки. Повышение температуры конденсации и проведение хлоридной обработки приводит к значительному снижению плотности дефектов. Размер зерен пленки при этом существенно не изменяется и составляет величину 2 – 4 мкм.

Таким образом показано, что использование метода конденсации в квазизамкнутом объеме позволяет получать однофазные поликристаллические слои CdTe высокого качества.

Электрохимическое осаждение пленок Zn-Ni из полилигандного щелочного раствора

Цыбульская Л.С., Пуровская О.Г.

*НИИ физико-химических проблем Белорусского государственного университета г.
Минск, Беларусь*

Увеличить срок защитного действия электролитических цинковых

покрытий можно путем легирования их никелем. Сплав цинк-никель, являясь анодом по отношению к стали, более надежно защищает от коррозии, чем цинк. Наиболее перспективным для получения сплавов цинк-никель является низкоконцентрированный щелочной цинкатный электролит. Содержание в нем никеля по отношению к цинку может быть снижено в 2-4 раза при сохранении требуемого состава сплава и улучшении технологических показателей процесса. Связывание Ni(II) в устойчивые комплексы, исключающие образование гидроксидов никеля в щелочной среде, и проявляющие электроактивность при потенциалах электровосстановления гидросокомплексов цинка, осуществляли посредством введения в электролит соединений из классов аминокислот и алканоламинов.

Установлению влияния состава электролита на химический и фазовый состав пленок, изучению коррозионно-электрохимического поведения их в среде 3% раствора хлорида натрия посвящено данное сообщение.

Рентгенографическое исследование фазового состава пленок Zn-Ni с разным содержанием никеля (8-75 ат.%) показало, что при содержании никеля до 15 ат.% формируется гетерогенная структура, которая состоит из фазы кристаллического цинка и интерметаллида Ni_5Zn_{21} ; при содержании никеля 15-19 ат.% - структура гомогенна и представлена одной γ -фазой (интерметаллид Ni_5Zn_{21}). Увеличение количества никеля в пленке до ~24 ат.% приводит к образованию твердого раствора никеля в γ -фазе. При концентрации никеля в пленке 8-24 ат.% размеры кристаллитов составляют ~20 нм, при концентрации 70-75 ат.% - 5 нм, при этом образуется новая фаза - твердый раствор цинка в никеле.

Коррозионно-электрохимическое исследование пленок Zn-Ni в растворе 3% хлорида натрия, имитирующего среду соляного тумана, показало, что потенциал начала растворения при содержании никеля в сплаве до ~24 ат.% остается отрицательнее потенциала стальной основы, и пленки остаются анодными по отношению к стали. Наиболее коррозионно-стойкими к среде соляного тумана являются пленки Zn-Ni с 15-19 ат.% никеля, представленные гомогенной γ -фазой. Они характеризуются самыми малыми значениями токов коррозии - $0,1-0,2 \cdot 10^{-3}$ мкА/см².

Пленки Zn-Ni, полученные из разработанного нами щелочного полилигандного раствора, проходят опытные испытания на машиностроительных предприятиях Республики Беларусь.

Особливості вирощування епітаксійних плівок ферит-гранатів з ЦМД

Юр'єв С.О., Юрчишин П.І., Ющук С.І.

Національний університет "Львівська політехніка", Львів, Україна

Робота присвячена дослідженню особливостей вирощування методом рідинно-фазної епітаксії монокристалічних плівок ферит-гранатів (МПФГ) для використання їх в запам'ятовуючих пристроях на циліндричних магнітних доменах (ЦМД).

Відомо, що основним методом збільшення густини запису інформації в пристроях на ЦМД є зменшення робочого діаметра ЦМД при задовільних значеннях поля одновісної магнітної анізотропії, рухливості доменних стінок, фактора якості тощо. Для вирощування МПФГ з ЦМД діаметром 1,0...3,0 мкм найбільш використовується система $(Y, Sm, Lu, Ca)_3(Fe, Ge)_5O_{12}$ та розчинник $PbO - B_2O_3$ [1]. Проте, реалізувати технологію вирощування МПФГ мікронних і субмікронних товщин високої якості з відтворюваними покращеними магнітними параметрами на підставі [1] досягти технологічно складно, що пов'язано із підвищеними швидкостями росту МПФГ 1...3 мкм/хв для використаних ферит-гранатової системи та розчинника.

Для зменшення швидкості росту МПФГ з ЦМД, покращення технологічності та відтворюваності їх магнітних параметрів при багатопозиційному методі отримання нами запропоновано ферит-гранатову систему $(Y, Sm, Ca, Bi)_3(Fe, Ge, Si)_5O_{12}$ та розчинник $PbO - Bi_2O_3 - MoO_3$ і встановлені молярні співвідношення між окислами у вихідній шихті. Використання розчинника $PbO - Bi_2O_3 - MoO_3$ дозволяє понизити температуру насичення розплавів до 878...916 °С, температуру росту МПФГ до 875...830 °С та швидкість росту плівок до 0,10...0,60 мкм/хв. Введення до складу шихти окислу вісмуту Bi_2O_3 дозволяє отримати задовільні більш високі значення полів одновісної магнітної анізотропії $H_K = 1800...3150 E$, температури Нееля $T_N = 210...240 °C$ з одночасним покращенням контрастності доменів за рахунок збільшення вмісту в МПФГ іонів Bi^{3+} . Наявність в шихті окислу кремнію SiO_2 дозволило зменшити розузгодженість параметрів ґраток плівок та підкладок до значень $\Delta a = -5 \cdot 10^{-3}... + 9 \cdot 10^{-3} \text{ \AA}$. Встановлені інтервали вмісту окислів в шихті відповідають оптимальним магнітним параметрам та їх відтворюваності у вирощених МПФГ.

1. Parker S.G., Cox W.R. Liquid phase epitaxial growth of Ga-, Ge-substituted garnet films having magnetic bubbles 1,0–3,0 μm in diameter // *J. Crystal Growth.*, **42**, pp. 334-342 (1977).

Магнітні та електричні властивості дрібнодисперсних плівок РЗМ-Ме-Ge

Яцишин Б.П.¹, Фреїк Д.М.¹, Гореленко Ю.К.²,
Миколайчук О.Г.², Байцар Г.С.²

¹Прикарпатський національний університет, Львів, Україна

²Львівський національний університет, Львів, Україна

Досліджено особливості формування структури, зміну електропровідності та магнетоопору (у магнітних полях до 1,5 Тл) тонких аморфних і нанокристалітних плівок $RE_{15}Fe_{18}Ge_{67}$ (RE: Sc, La, Y), отриманих методами термічного напилення.

Температурна залежність електроопору аморфних і нанокристалітних конденсатів $RE_{15}Fe_{18}Ge_{67}$ характеризувалася плавною, без різких перепадів, зміною цього параметру з від'ємним температурним коефіцієнтом опору.

Встановлено, що високий питомий електроопір аморфних плівок, перш за все, зумовлений неупорядкованістю структури при зростанні швидкості росту плівок або при зміні методів отримання (закристалізована фаза у цьому випадку характеризуються дрібнозернистою структурою).

Іншим фактором, який відіграє визначальну роль у процесах переносу носіїв струму в плівках, є магнітне впорядкування (при $T = 100$ К). Конденсати, які містять легкі рідкісноземельні елементи церієвої групи (Sc, La) мають електроопір вищий, ніж ті в склад яких входить важкий РЗЕ – Y.

Магнетоопір аморфних та нанокристалічних конденсатів негативний, незначно зростає при збільшенні величини зовнішнього магнітного поля. Заміна частини атомів перехідного металу на рідкісноземельний призводить до зменшення магнетоопору, аналогічно як і збільшення швидкості росту, чи будь-яких інших технологічних дій, що призводять до дрібнозернистості конденсату. Вплив технологічних факторів напилення (методи отримання, термодинамічні умови) на залежність магнетоопору нанокристалітних конденсатів більш відчутний, порівняно з аналогічними параметрами для аморфних зразків.

Дослідженнями встановлено, що зміни питомого електроопору в аморфних та нанокристалічних зразках $РЗМ_{15}Fe_{18}Ge_{67}$ визначаються трьома факторами впливу:

флуктуаціями ближнього порядку в просторовому розміщенні атомів, які більш суттєві для аморфних зразків;

температурними та часовими умовами обробки (нагрівання, відпалу) після завершення конденсації;

магнітними властивостями конденсату.

Sol-Gel Silica Films Doped with Chromium (III) Acetylacetonate

Davydenko L., Plyuto Y.

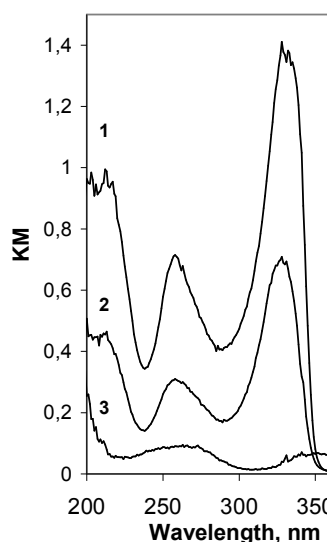
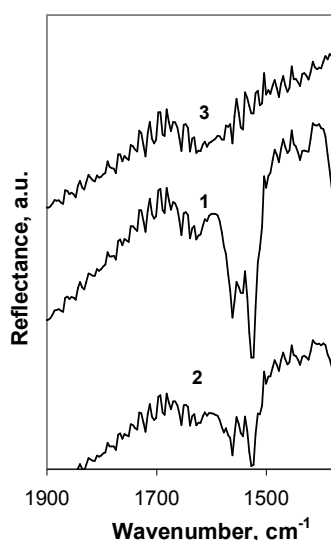
Institute of Surface Chemistry, National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev, Ukraine

Surface nanotailoring of dispersed oxide supports with chromium (III) acetylacetonate has been widely studied mainly with respect to supported catalyst synthesis. Bulky ligands as well as grafting of the complex to surface sites ensure high dispersion of supported species. Obtaining of nanotailored oxide in a filmed form broadens application area of such systems.

The aim of current research is investigation of transformation of chromium acetylacetonate introduced into silica film or anchored to its surface.

The films have been produced by dip-coating of substrate with silica-based sol. Silica sol has been prepared by acid catalyzed hydrolysis of tetraorthosilicate. $\text{Cr}(\text{acac})_3$ has been introduced into sol before film application or supported onto formed film by immersion into ethanol solution of $\text{Cr}(\text{acac})_3$. FTIR and UV-vis reflectance spectroscopy characterization of films has been performed to control structural transformations of $\text{Cr}(\text{acac})_3$ and determine chromium state. Thermal analysis of the corresponding gels has also been performed.

Elimination of excessive introduced $\text{Cr}(\text{acac})_3$ by mild thermal treatment has been stated. FTIR and UV-vis spectroscopy has shown the presence of $\text{Cr}(\text{acac})_3$ fixed in sol-gel SiO_2 film treated at 200°C . Decomposition of $\text{Cr}(\text{acac})_3$ is reported by FTIR to occur at 340°C . Mainly Cr(IV) presence in film structure is registered by UV-vis spectroscopy, whereas Cr(III) and Cr (IV) are observed in the spectrum of corresponding gel treated at the same manner.



FTIR and UV-vis reflectance spectra of $\text{Cr}(\text{acac})_3$ introduced into silica film (1), treated at 200°C (2) and 340°C (3).

Investigation of $\text{Cr}(\text{acac})_3$ anchoring to silica film surface and subsequent thermal transformation is in progress.

Studying of CdTe thin films on the Si and CdHgTe substrates by the ellipsometric method

Evmenova A.Z.¹, Odarych V.A.²

¹*V. E. Lashkariov Institute of Semiconductor Physics NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

²*Taras Shevchenko Kyiv National University, physical department, Kyiv, Ukraine*

Ellipsometric detective method of refractive index, absorptive index and thickness of the film deposited on the substrate with some optical parameters was developed. This method was applied for optical parameters and film thickness detecting in visible and near IR spectrum and was found to be suitable for determination parameters of absorptive CdTe films, obtained on Si and CdHgTe substrates by the hot-wall epitaxy.

Refraction index and film thickness dispersion were studied. Experiments and model calculations have adjusted that in conditions of measuring error existing thickness curves doesn't have generic intersection point but they intercrosses in pairs. In such circumstances refractive index n_2 , absorptive index κ_2 and film thickness d_2 are found by averaging all intersection points of thickness curves. In our case the next film parameters error were obtained: $\Delta n_2 = \pm 0,02 \div 0,04$, $\Delta \kappa_2 = \pm 0,01$, $\Delta d_2 = \pm 1 \div 4$ nm. It was determined that film refractive index (2,6 on average) is 7% less than that of monocrystalline CdTe and difference between refractive index of films on CdHgTe and Si substrates is 13% (2,6 for CdTe/CdHgTe and 2,26 for CdTe/Si).

This method allows eliminating of false solutions that could appear as the result of main ellipsometric equation properties – thickness curves of false solutions don't intercross and/or are situated far from the primary.

Studied films are homogeneous on refractive index and heterogeneous on thickness which decreases from the center to the periphery. Decreasing of refractive index of the film on the substrate could be explained by the incomplete film surface, roughness presence in particular.

СЕКЦІЯ 4, (усні доповіді)
ТОНКОПЛІВКОВІ ЕЛЕМЕНТИ ЕЛЕКТРОННИХ
ПРИСТРОЇВ

8-11 травня 2007 р.

SESSION 4, (oral)
THIN FILM ELEMENTAL COMPOUNDS
FOR ELECTRONIC DEVICES

May, 8-11, 2007

Хемілюмінесцентні методи дослідження властивостей тонких плівок на основі кристалофосфорів (ZnS, CdS-Ag; Zn₂SiO₄-Mn)

Альошін С.В., Волощук С.О., Гранкін В.П.

ІДТУ, Маріуполь, Україна

При взаємодії атомних часток теплової енергії з поверхнею кристалофосфорів виникає люмінесценція, яка може бути обумовлена енергією реакцій адсорбції атомів і молекул – адсорболомінесценція чи енергією рекомбінації атомів – радикалорекомбінаційна люмінесценція (РРЛ). РРЛ є продукт реакцій взаємодії атомів із газової фази з поверхнею і тому несе інформацію про фізико-хімічні процеси на межі розділу фаз - поверхневий шар/газ. Ці процеси в свою чергу обумовлюються властивостями газового оточення поверхневої плівки (концентрація вільних радикалів, тиск у експериментальному об'ємі та ін.) та властивостями люмінесцуючого шару напівпровідника (енергії активації процесів РРЛ, тренування поверхні зразка, біографія поверхневої плівки зразка, наявність домішок та ін.). Внаслідок енергії реакцій взаємодії атомних часток із поверхнею люмінесцує велике число зразків кристалофосфорів (ZnO, MgO, Zn₂SiO₄ – Mn, ZnS, CdS-Ag та ін.) [1].

Задля визначення технологічних параметрів в мікро та наноелектроніці, наприклад, при епітаксіальному рості плівок, плазмовому травлінні, важливо знати тиск активних атомів і радикалів у плазмі. Цю інформацію можна отримати використовуючи запропонований ХЛ сенсор по визначенню наднизьких концентрацій атомних часток Н та О на основі плівок з кристалофосфорів (Zn₂SiO₄ – Mn, ZnS, CdS-Ag).

РРЛ можлива за двома механізмами реакцій – ударному Ріділа-Глі (PI) та дифузійному Ленгмюра-Хіншельвуда. Загальне значення РРЛ [1] –

$$I(t) = 2 \cdot \eta_1 \cdot \Gamma_1 \cdot N_1^2(t) + \eta \cdot \nu_2 \cdot N_1(t) \quad (1).$$

За умов введення додаткового імпульсного потоку атомів та

переважному внеску в РРЛ люмінесценції за механізмом РІ, як впливає з (1) можна побудувати сенсор наднизьких концентрацій атомних часток [2].

Розглянуто експериментальні результати по визначенню потоків атомних часток в плазмі за допомогою розробленого сенсору. Знайдено, що максимум інтенсивності РРЛ поверхневої плівки в потоках атомів Н спостерігался для низьких температур ($100 \div 200\text{K}$), що говорить про наявність температурного гасіння РРЛ на поверхні ZnS, CdS-Ag. Отримано енергію активації температурного гасіння $\Delta E = 0,3 \pm 0,05\text{eV}$.

1. Гранкін В.П.. Хемилюминесценция поверхности ZnS – Tm; ZnS - CdS – Ag в атмосфере атомарного кислорода и водорода // ЖПС, **63**(3), с.211 (1996).
2. Grankin V.P., Voloschuk S.A. Semiconductor chemiluminescent sensor for the determination of the particle pressure of atoms in the gases // *Photoelectronics, Inter-universities scientific articles*, 13, Odessa, pp.8-11, (2004).

Влияние низкодозового лазерного излучения на параметры Pt-n-n⁺-GaAs диодов Шоттки

Бекбергенов С.Е., Камалов А.Б., Конакова Р.В., Кудрик Я.Я., Кулиш Н.Р.,
Малыш Н.И., Миленин В.В.

Институт физики полупроводников им. В.Е.Лашкарева НАНУ, Київ, Україна

При производстве микроэлектронной техники сохраняется устойчивая тенденция к уменьшению размеров пассивных и активных элементов и к использованию фотонных носителей для управления работой больших интегральных схем. Переход к нанометровому диапазону элементов приводит к необходимости оптимизации толщины металлизированных покрытий. Вследствие этого становится актуальным изучение влияния оптических носителей информации, проникающих сквозь полупрозрачное металлическое покрытие, на свойства активных элементов, и в частности на параметры диодов Шоттки. Влияние лазерного излучения высокой плотности ($\geq 10^6$ Вт/см²) на свойства полупроводниковых структур хорошо изучено и сводится к сильному разогреву облучаемой металлической площадки, вызывая термическую диффузию атомов металла в полупроводник, что влечет за собой изменение параметров (преимущественно их деградацию). Низкодозовые эффекты при обработке диодов Шоттки лазерным излучением практически не изучены.

В данном сообщении исследовано влияние низкодозового излучения (400, 600, 800 Вт/см²) рубинового лазера (длительность импульса 20 нс) на вольтамперные характеристики (ВАХ) диодов Шоттки Pt-n-n⁺-GaAs. ВАХ

измерены до и после облучения при комнатной температуре.

В таблице приведены величины интенсивности I_0 и плотности энергии E_0 , использованных при изучении влияния интенсивности света на параметры диодов Шоттки, там же приведены данные I и E на границе раздела Pt-GaAs (для толщины Pt~0,1 мкм) и параметры диодов Шоттки: высота барьера Шоттки ϕ_B , ток насыщения I_S и фактор идеальности n .

I_0 , Вт/см ²	0	400	600	800
E_0 , Дж/см ²	0	$8 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$
I , Вт/см ²	0	0,84	1,26	1,68
E , Дж/см ²	0	$1,7 \cdot 10^{-8}$	$2,5 \cdot 10^{-8}$	$3,4 \cdot 10^{-8}$
ϕ_B , В	0,752	0,780	0,792	0,841
n	1,25	1,22	1,17	1,13
I_S , А	$2,7 \cdot 10^{-8}$	$6 \cdot 10^{-9}$	$6 \cdot 10^{-10}$	$8 \cdot 10^{-11}$

Из приведенных в таблице данных видно, что низкодозовое лазерное воздействие на арсенидгаллиевые диодные структуры с барьером Шоттки приводит к улучшению их параметров. Обсуждаются механизмы, обуславливающие изменение параметров барьеров Шоттки при малых дозах лазерного облучения.

Исследование многослойных поликристаллических структур на основе полупроводников типа A^2B^6

Бобренко Ю.Н., Комащенко В.Н., Шереметова Г.И., Семикина Т.В., Ярошенко Н.В.

Институт физики полупроводников им.В.Е.Лашкарева НАН Украины, Київ, Україна

Одна из актуальных задач современной фотоэлектроники – создание многофункциональных приборов, которые под воздействием внешних параметров изменяют свое функциональное назначение.

Настоящая работа посвящена изготовлению и исследованию фотоприемников (ФП) на основе многослойных тонкопленочных поликристаллических полупроводниковых структур соединений A^2B^6 . На таких структурах были созданы ФП с изменяющейся под действием электрического поля областью спектральной чувствительности.

При этом решались следующие задачи:

1. Разработка технологии получения тонких и сверхтонких слоев p - $Cu_xS(Au)$ - n - $CdS/ZnS/CdSe$. Для уменьшения влияния дефектов на границах разделов водились сверхтонкие варизонные прослойки $(CdSe)_x(ZnS)_{1-x}$ и $(CdS)_x(ZnS)_{1-x}$, толщина которых составляла несколько нанометров.

2. Получение тонких (30 нм) слоев ZnS, служащих барьером для

основных носителей и создания «квантовой ямы» в слоях CdS. Слои наносились последовательно в едином технологическом цикле методом сублимации в квазизамкнутом объеме.

3. Нанесение барьерообразующего слоя Cu_xS (Au) толщиной 30 нм.

4. Исследование вольт-амперных, емкостных и частотных характеристик структур.

5. Изучение спектральных характеристик при приложении поля. Показано, что в фотовентильном режиме (без смещения) благодаря «квантовой яме» чувствителен «ближний» барьерный слой CdS, при обратном смещении – «дальний» барьерный слой CdSe. С приложенным смещением структура работает аналогично фототранзистору. При этом наблюдается увеличение чувствительности на два-три порядка величины и сдвиг максимума спектральной характеристики в длинноволновую область.

Приборы могут быть использованы как ультрафиолетовые приемники в медико-биологических исследованиях, датчиках пламени, для мониторинга окружающей среды.

Оптические свойства и кристаллическая структура плёнок CdS, полученных термическим испарением

Бойко Б.Т., Копач Г.И., Кудий Д.А, Хрипунов Г.С.

*Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”,
Харьков, Украина*

При разработке конструкции тонкопленочных солнечных элементов на основе CdTe для интенсификации фотоэлектрических процессов используется эффект широкозонного «окна», что позволяет уменьшить негативное влияние поверхностной рекомбинации неравновесных носителей заряда за счет удаления области их активной генерации от освещаемой поверхности. В качестве широкозонного «окна» для солнечного излучения актуально использование сульфида кадмия, ширина запрещенной зоны которого составляет $E_g=2,4$ эВ. Для оптимизации характеристик широкозонного «окна» в поликристаллических пленочных гетеросистемах ИТО/CdS/CdTe, перспективных для создания эффективных экономичных солнечных элементов наземного применения, исследовано влияние кристаллической структуры на оптические свойства слоев CdS, полученных термическим испарением.

Рентгендифрактометрически установлено, что с ростом толщины поликристаллических слоев CdS от 0,1 мкм до 0,3 мкм, размеры областей когерентного рассеяния (ОКР) увеличиваются от 8,42 нм до 25 нм. При этом микронапряжения в системе ИТО/CdS также увеличиваются от $4 \cdot 10^{-2}$ до $4,8 \cdot 10^{-2}$. На основе анализа экспериментальных значений

межплоскостных расстояний в слоях CdS, сделан вывод о характере возникающих в процессе конденсации полупроводникового слоя остаточных макронапряжений. При малых толщинах в пленках CdS возникают сжимающие макронапряжения, а при толщинах более 0,143 мкм – растягивающие макронапряжения. Аналитическая обработка спектров поглощения, рассчитанных по экспериментальным спектрам пропускания и отражения, свидетельствует о влиянии толщины слоя CdS на ширину запрещенной зоны. При увеличении толщины слоя CdS до 0,3 мкм ширина запрещенной зоны возрастает до 2,423 эВ, а после отжига – до 2,427 эВ. Среднее значение коэффициента пропускания исследованных слоев CdS в спектральном диапазоне 550-850 нм, что соответствует области фоточувствительности солнечного элемента на основе CdS/CdTe, в зависимости от толщины и термической обработки CdS составляет (80-95) %. Это позволяет использовать их в качестве широкозонного «окна» в фотоэлектрических преобразователях на основе пленочных гетеросистем CdS/CdTe. При этом оптимальная толщина слоя CdS составляет 0,3 мкм.

Новые высокоэффективные фото-термоэлектрические генераторы на основе пленок InN и толстопленочной керамики

Горячев Ю.М., Малахов В.Я., Симан Н.И., Фиалка Л.И., Дехтярук В.И

Институт проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины

В ИПМ НАН Украины проведены детальные исследования и продолжается изучение свойств тонкопленочных датчиков фото-термо-э.д.с. на основе поликристаллических пленок нитрида индия и толстопленочных керамических термоэлектрических материалов на основе высших силицидов марганца и хрома и сплава Si-Ge. Показана перспективность их использования в фото-термоэлектро-преобразователях (ФТЭП) солнечной энергии.

В традиционных ФЭП на основе тонких пленок кремния практически трудно достичь КПД больше 15%, а в преобразователях на основе арсенида галлия – выше 23%.

Предложенный авторами работы новый фотоактивный материал - нитрид индия позволяет повысить КПД ФЭП до 30%. Применение толстопленочных термоэлементов на основе высших силицидов марганца, хрома и кремний-германиевого сплава, в принципе, позволяет поднять КПД до 15% (известно, что КПД современных термоэлектрических преобразователей на основе теллурида висмута практически не превышает 10%), что в объединенном преобразователе даст расчетные 45%. Кроме того, проведенные в ИПМ исследования гидридов показали перспективность использования некоторых из них в качестве эффективных

аккумуляторов водорода (гидриды бора, фуллерены вольфрама, титана и др.). Это в комплексе с использованием фото-термоэлектрических преобразователей для электрогидролиза сероводородной воды позволит существенно продвинуться вперед на пути решения проблемы перехода отечественной энергетики и транспортных средств на топливно-элементную водородную и сероводородную технологию.

Основной целью настоящей работы является следующее: разработать конкретные подходы и оптимизировать методы значительного повышения эффективности фото-термоэлектрического преобразования солнечного потока в электроэнергию путем использования значительной части интегрального солнечного спектра, а также создания максимально допустимого градиента температуры термоэлемента.

Особливості механізму переносу заряду в тонкоплівкових CdS/CdTe сонячних елементах

Грушко Є.В.¹, Савчук А.Й.¹, Косяченко Л.А.¹, Склярчук В.М.¹,
Мотущик В.В.¹, Mathew X.²

¹Чернівецький національний університет, Чернівці, Україна

²Centro de Investigacion en Energia-UNAM, Morelos, Mexico

Окрім полікристалічного кремнію (Si), перспективними напівпровідниковими матеріалами для тонкоплівкових сонячних елементів значної площі, тобто придатних для масового виробництва, є телурид кадмію (CdTe) і діселенід міді-індію (CIS). У разі CdTe найкращі результати з погляду практичного застосування отримані на гетеропереході CdS/CdTe на скляній підкладинці. Проте досягнута ефективність перетворення сонячної енергії в електричну в такій структурі (~16%) значно нижча від теоретично можливої (28-30%), але причина цього на разі до кінця не з'ясована.

Один з основних чинників, що визначають коефіцієнт корисної дії напівпровідникового сонячного елемента, – механізм переносу заряду у фотовольтаїчній діодній структурі. У даній роботі повідомляються результати експериментального дослідження і комп'ютерних розрахунків електричних характеристик гетероструктури CdS/CdTe, виготовленої методом електрохімічного осадження на скляну пластину, покриту прозорою електропровідною плівкою SnO₂ + In₂O₃ (ITO).

У літературних джерелах для інтерпретації експериментальних характеристик гетероструктури CdS/CdTe приймається напівемпірична формула з підгоночним параметром – так званим фактором ідеальності. У представленій роботі показано, що досліджувані вольт-амперні характеристики знаходять математичне описання в рамках теорії Саа-Нойса-Шоклі, розробленої для р-п переходу, але адаптованої для

гетеропереходу з урахуванням ряду особливостей. Показується, що варіюючи параметри гетеропереходу (висоту потенціального бар'єру, концентрацію основних носіїв у напівпровідниковому поглинаючому шарі, концентрацію некомпенсованих домішок), вдається пояснити всі спостережувані експериментальні криві. До їх інтерпретації залучаються результати дослідження електричних, фотоелектричних та ємнісних вимірювань у широкому інтервалі температур. З отриманих результатів впливає також важливий з практичного погляду висновок, що головною причиною низької ефективності досліджуваних CdS/CdTe гетероструктур є малий час життя носіїв заряду в поглинаючому шарі CdTe.

Технологічні аспекти формування активних елементів на основі плівок халькогенідів свинцю

Добровольська А.М.

Івано-Франківський державний медичний університет, Івано-Франківськ, Україна

Встановлено, що для епітаксійних шарів групи $A^{IV}B^{VI}$ і твердих розчинів на їх основі, вирощених з парової фази методом гарячої стінки, головними технологічними факторами, які впливають на їх структурну досконалість, є температура підкладок T_{II} : хімічний склад наважок x .

Одержані, з використанням методу математичного планування і оптимізації багатфакторних експериментів, поліноміальні рівняння другого порядку, які описують залежність електрофізичних параметрів епітаксійних шарів групи $A^{IV}B^{VI}$ та їх твердих розчинів від технологічних факторів вирощування даних матеріалів з парової фази методом гарячої стінки, що визначають умови одержання тонкошарового матеріалу з наперед заданими властивостями. Вперше з використанням методу математичного планування та оптимізації багатфакторних експериментів одержані поліноміальні залежності параметрів фоторезисторів і фотодіодів від технологічних факторів вирощування з парової фази методом гарячої стінки епітаксійних шарів халькогенідів свинцю і твердого розчину системи PbTe-SnTe, на основі яких виготовлені вказані фотоприймачі.

З допомогою одержаних поліноміальних рівнянь другого порядку досліджено вплив технологічних факторів вирощування з парової фази в методі гарячої стінки епітаксійних шарів PbTe і $Pb_{1-x}Sn_xTe$ ($0.164 < x < 0.206$) на фотоелектричні параметри фоторезисторів і фотодіодів, виготовлених на основі даних матеріалів, а також знайдені оптимальні значення технологічних факторів вирощування, при яких можна одержувати такі матеріали, що параметри фотоприймачів набувають екстремальних значень.

Вперше, з допомогою розробленого програмного забезпечення, проведено розрахунок параметрів фотоприймачів, виготовлених на основі

тонких шарів групи $A^{IV}B^{VI}$ і їх твердих розчинів, що залежать від технологічних факторів вирощування даних матеріалів з парової фази методом гарячої стінки, та їх порівняння з результатами експериментальних вимірювань.

Модифікацію епітаксійних шарів $PbTe$ і $Pb_{1-x}Sn_xTe$ для виготовлення фотоприймачів ПЧ-випромінювання оптичного спектру здійснено з допомогою радіаційної і термічної обробки.

Вплив тонких алмазоподібних вуглецевих плівок на радіаційну стійкість сонячних елементів на основі кремнію

Клюй М.І.¹, Костильов В.П.¹, Литовченко В.Г.¹, Лук'янов А.М.¹,
Черненко В.В.¹, Хіврич В.І.²

¹ Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є.Лашкарьова НАН України
² Інститут ядерних досліджень НАН України

Досліджено механізми впливу радіаційного опромінення γ -квантами та протонами на рекомбінаційні і фотоенергетичні параметри сонячних елементів (СЕ), виготовлених на основі моно- та мультикристалітного кремнію, покритого та непокритого алмазоподібною вуглецевою плівкою. Показано, що к.к.д. сонячних елементів, покритих тонкою просвітлюючою алмазоподібною вуглецевою плівкою (АВП) під дією γ -опромінення деградує значно менше порівняно з СЕ без АВП. Ефект впливу АВП на параметри СЕ при опроміненні обумовлений наявністю в плівках водню, його вивільненням під дією опромінення, дифузією в глибину СЕ та пасивацією рекомбінаційно-активних центрів, що призводить до зростання довжини дифузії неосновних носіїв заряду (рис.1).

Тонкоплівкові сенсори інфрачервоного випромінювання на основі органічних полікристалічних сполук

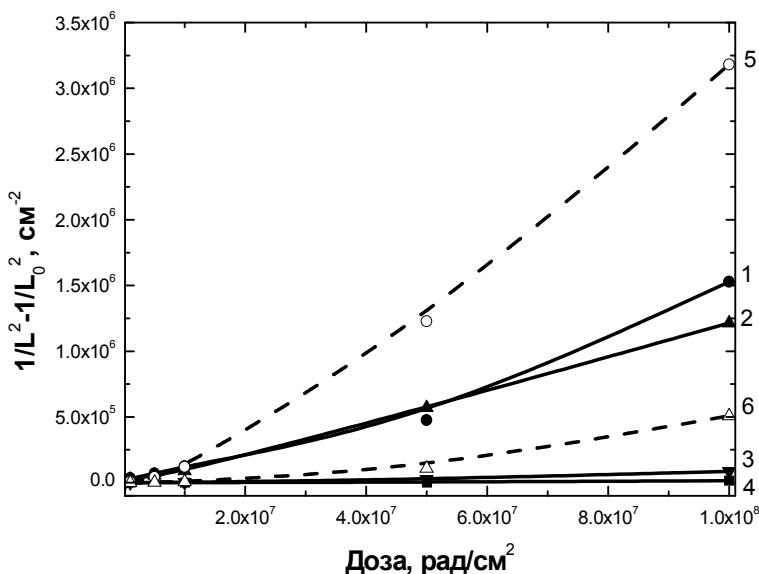


Рис. 1. Дозові залежності $\frac{1}{L^2} - \frac{1}{L_0^2}$ для досліджених зразків СЕ: 1, 2 – СЕ на основі монокристалічного кремнію без АВП; 3, 4 – СЕ на основі монокристалічного кремнію з АВП; 5 – СЕ на основі мультикристалічного кремнію без АВП; 6 – СЕ на основі мультикристалічного кремнію з АВП.

Кравців М.М.¹, Бойчук В.І.¹, Пелещак Р.М.¹, Шпотюк О.Й.²

¹Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка,
Дрогобич, Україна

²Науково-виробниче підприємство „Карат” Львів, Україна

Дослідження присвячені розробці високочутливих тонкоплівкових піроелектричних приймачів інфрачервоного випромінювання на основі полікристалічних органічних поліциклічних сполук.

Розробка ґрунтується на властивостях органічних матеріалів, яким притаманна велика піроелектрична активність, обумовлена сильною температурною залежністю взаємного розміщення полярних груп в органічних молекулах. За своїми основними параметрами орієнтовані полікристалічні плівки органічних речовин по деяких параметрах переважають найбільш відомі піроелектричні матеріали, а саме, володіють великою чутливістю, малою інерційністю, значним динамічним діапазоном, добрими експлуатаційними властивостями.

В результаті проведених дослідно-технологічних робіт отримано полікристалічні органічні поліциклічні сполуки різного хімічного складу, досліджено фізико-хімічні властивості, на основі яких розроблено технологію одержання тонкоплівкових піроелектричних елементів. Дослідження піроелектричного коефіцієнту апробованого матеріалу динамічним методом дають величину біля $3 \cdot 10^{-10}$ Кл/К·см².

Зразки тонких плівок органічних поліциклічних сполук виготовлялися у вигляді сендвіч-комірок, які одержувались послідовним нанесенням на полімерні підкладки термічним випаровуванням у вакуумі нижнього електроду, органічної речовини і верхнього електроду. Робоча область зразків відповідає області перекриття нижнього і верхнього алюмінієвих електродів і становить $25 \cdot 10^{-8} \div 16 \cdot 10^{-6}$ м², а товщина піроелектричного елемента – (0,5÷2,0) мкм.

Отримані сенсори інфрачервоної області спектру володіють такими експлуатаційними параметрами. Питома виявна здатність приймача, чутливим елементом якого є органічна плівка товщиною $5 \cdot 10^{-7}$ м, становить $5 \cdot 10^8$ см · Вт⁻¹ · Гц^{1/2}. На частоті модуляції потоку випромінювання 20 Гц поріг чутливості при температурі 300 К складає $5 \cdot 10^{-9}$ Вт·Гц^{-1/2}, а максимальна вольт-ватна чутливість – 10^4 В/Вт.

Одержані технічні характеристики тонкоплівкових піроелементів вказують на можливість їх практичного використання в оптоелектронних пристроях реєстрації інфрачервоного випромінювання.

Вдосконалення плівок оксиду алюмінію інтегральних сенсорів вологості

Коваленко К.Л., Шаран М.М., Севастьянов В.В., Козловський С.І.¹,
Дубіль Р.Я.², Маєвська Т.В.³

¹Науково-дослідний інститут «Гелій», Вінниця, Україна

²Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є.Лашкарьова, Київ, Україна

³Науково-проектне виробниче підприємство «Техприлад», Львів, Україна

⁴Науково-дослідний центр радіоелектроніки «Полюс», Вінниця, Україна

Аналіз сучасного стану зарубіжної техніки свідчить про випереджаючий розвиток електронних перетворювачів параметрів фізичних величин (сенсорів) в порівнянні з темпами розвитку промислової продукції. Серед інших сенсорів значною є частка сенсорів вологості. Поряд з традиційним використанням – промисловість, сільське господарство, гідрометеорологія, медицина, побут – виділяється клас сенсорів мікрОВОЛОГОСТІ для вимірювання в чистих технологічних газах, в тому числі активних (що містять синглетний кисень, хлор, йод, аміак).

Для створення інтегральних сенсорів вологості проведені дослідження наноплівок оксиду алюмінію як чутливого до вологості компонента композитних шарів на кремнієвій основі.

Збільшення величини ємності сенсора при відповідному зростанні величини вологості вимірювального середовища пов'язано з адсорбцією молекул води тонким шаром оксиду, що в свою чергу веде до зростання величини діелектричної проникності цього шару.

Плівки Al_2O_3 формувались методом магнетронного реактивного розпилення Al в газовій суміші $Ar+(40-60) \% O_2$ на кремнієвій пластині з наступною активацією поверхні автономним джерелом іонів. Треба відмітити, що зміна товщини наноплівок корелює з їх адсорбційними властивостями.

Розроблена технологія та отримані результати підвищення стабільності

чутливих до вологості плівок (розмір зерна 10-20 нм.). Для забезпечення такої технології розроблене та виготовлене експериментальне обладнання. Накінець, для отримання необхідних робочих зразків проведено ряд технологічних операцій прискореного старіння композитних плівок.

Результати обстежень отриманих зразків інтегральних сенсорів вологості визначили наступне:

при зміні вологості середовища зміна ємності сенсорів з модифікованим шаром Al_2O_3 є суттєвою та стабільною;

ємність сенсора як функція відносної вологості має лінійну залежність практично у всьому діапазоні (3-100%);

працездатність сенсора зберігається при низьких температурах (до -

35°C);

конструкція сенсора забезпечує високу динамічність перетворення.

Недоліком отриманих експериментальних зразків залишається низька чутливість сенсора при температурах нижче -15°C, що залишається предметом дослідження.

Сучасні технології формування КНІ- структур

Когут І.Т., Трач А.В., Варцаб'юк А.Р.

*Прикарпатський національний університет ім. Василя Стефаника,
Івано-Франківськ, Україна*

Перспективним матеріалом для створення ІС, сенсорних і мікро-системних пристроїв, особливо для експлуатації в жорстких умовах є плівки кремнію-на-ізоляторі (КНІ-структури). В роботі проведено порівняльний аналіз сучасних технологій формування КНІ-структур і їх короткі характеристики. До сучасних технологій виготовлення 300 мм КНІ-пластин, що відповідають основним вимогам до приладних КНІ-плівок належать: SIMOX, Unibond і ELTRAN.

За технологією SIMOX КНІ-структуру на поверхні кремнієвої пластини формують захований оксид (BOX) високодозовою імплантацією кисню і відпалом в атмосфері аргону при температурі 1350° С. Перевагою процесу є відносні простота, низька вартість, хороші електричні параметри, монокристалічність плівки кремнію на окислі. Як недоліки потрібно вказати поверхневу нерівність, кристалічні дефекти, кремнієві включення і дрібні отвори.

Процес Unibond передбачає з'єднання двох пластин (одна з яких містить оксид), високотемпературний відпал (для зміцнення зв'язків), «розумного» сколу, механічне шліфування і полірування однієї з пластин для отримання потрібної товщини кремнієвого шару-на-ізоляторі. Технологія не створює дефектів трубок, дозволяє отримувати кремнієвий шар і захований окисел наперед визначених товщин, має малі поверхневі дефекти, чудові електричні характеристики. Домінуючим дефектом для цього процесу є високий рівень HF дефектів.

Технологія ELTRAN передбачає формування на пластині подвійного пористого кремнієвого шару, створення епітаксійного кремнію і шару окислу SiO₂, процес з'єднання з другою пластиною, відпал, рідкий розкол (Water-Jet) у пористому шарі, травлення і водневий відпал. Перевагою процесу є створення пластини з відносно вільними від дефектів плівками, а недоліком - складна технологія і висока ціна.

Для створення експериментальних і дослідних мікро-електронних КНІ-пристроїв були успішно використані методи створення КНІ-структур шляхами лазерної (з розтягнутим променем) та мікрозонної лазерної перекристалізацій полікремнієвої плівки з топологічно-структурною

локалізацією дефектів. Перспективною видається також технологія формування об'ємних КНІ-структур.

Особливості люмінесценції, легованих рідкоземельними елементами полікристалів ZnS , отриманих методом самопоширюваного високотемпературного синтезу

Козицький С. В.¹, Волошиновський А. С.²

¹Одеська національна морська академія, Одеса, Україна

²Львівський національний університет ім. І. Франка, Львів, Україна

Сульфід цинку має найбільшу ширину забороненої зони серед сполук A_2B_6 , тому широко застосовується як люмінофор для видимої та ближньої ультрафіолетової області. Метод СВС дозволяє легко отримувати активовані кристали шляхом додатку домішок в початкову шихту. В даній роботі визначалась люмінесценція полікристалічного ZnS , легованого рідкоземельними елементами Ce , Tb , Sm та Y . З області стовпчастих та рівноважних кристалів синтезованих зразків досліджувалися спектри ретгенолюмінесценції при стаціонарному та імпульсному збудженні, спектри фотолюмінесценції при збудженні ртутною лампою та кінетика згасання люмінесценції.

Із проведених досліджень можна зробити наступні висновки.

1. Активація ZnS іонами Ce приводить до підвищення інтенсивностей смуг випромінювання дефектів в області 480-500 нм. При $T = 77$ К, крім згаданої смуги, додатково спостерігається люмінесценція екситонів біля дефектів (360-400 нм).

2. В ZnS , активованих іонами Tb , Sm смуги люмінесценції властиві цим іонам проявляються тільки при оптичному збудженні в області 4f-5d переходів. При збудженні в діапазоні 4f-4f переходів люмінесценція відсутня. Люмінесценція цих іонів відсутня і при високо енергетичному рентгеновському збудженні, що вказує на переважаючу ефективність рекомбінації носіїв струму з дефектами ZnS в порівнянні з іонами рідкісноземельних елементів. Люмінесценція іонів Tb , Sm при оптичному збудженні зумовлена випромінюванням іонів, що знаходяться на поверхні зразків.

3. В зразках, активованих Y , спостерігаються смуги люмінесценції характерні для дефектів матриці ($T = 300$ К) та смуги випромінювання екситонів біля дефектів при 77 К.

4. Спекти люмінесценції досліджуваних зразків можна систематизувати таким чином: область 360-400 нм (випромінювання екситонів біля дефектів), область 460-510 нм (випромінювання дефектів). Для смуг випромінювання дефектів характерні часи загасання 300-500 нс при кімнатній температурі та порядку десятків мікросекунд при 77 К. Для

Люмінесценції екситонів біля дефектів ($T = 77$ К) часи загасання складають одиниці наносекунд (4-9 нс).

Взаимодействие плазмы электрической дуги с поверхностью электрических контактов

Колясик М.

Люблинский технический университет, Люблин, Польша

При розмыкании электрических контактов возникает электрическая дуга, температура плазмы в которой достигает 6000К и выше [1].

Взаимодействие плазмы с поверхностью дуги при многократном повторении циклов вкл – выкл. приводит к эрозии поверхности, ухудшению параметров выключателей (увеличение переходного сопротивления R_p и рабочей температуры выключателей T_p) а в последствии и к их аварии.

Для улучшения параметров работы выключателей часто их контакты гальванически покрывают слоем серебра, что уменьшает величины R_p и T_p . Однако и в этом случае воздействие плазмы дуги на покрытие приводит к его постепенной деградации.

Целью данной работы было опеределение скорости деградации покрытия в зависимости от его толщины и величины силы тока I , прерываемого выключателем.

Для исследований были выбраны выключатели переменного тока W10 польской продукции ($I_n=10A$; $U_n=250V$) с контактами покрытыми слоем серебра толщиной 3,5мкм и 7,5мкм. Толщина слоя серебра контролировалась с помощью Оже-спектроскопии в сочетании с ионным травлением поверхности, аналогично как в работе [2].

Измерения величин переходного сопротивления R_p и температуры выключателя в каждом цикле вкл – выкл. проводились на измерительном стенде, управляемом компьютером. Во время измерений регистрировались сила тока I , величина падения напряжения на замкнутой контактной паре ΔU и температура неподвижного разрывного контакта T_p . На основании полученных результатов определены зависимости R_p от числа циклов вкл – выкл. N для разных толщин серебряных покрытий и величины силы тока I .

Как видно из рис. 1, начальный участок работы выключателей характеризуется низкими величинами R_p – на уровне ок. 2 – 3 мОм. Затем наблюдается рост величины R_p более чем на порядок. Число циклов N_m вкл – выкл., с низкими величинами R_p зависит от толщины серебряного покрытия практически линейно – для $d=3,5$ мкм $N_m \approx 1200$, а для $d=7,5$ мкм $N_m \approx 2500$.

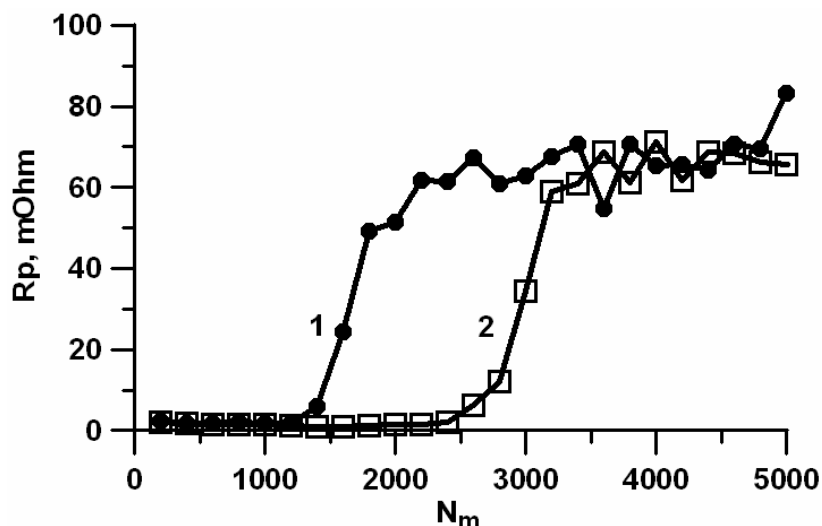


Рис. 1. Зависимость величины переходного сопротивления R_p от числа циклов вкл.-выкл. N для толщин серебряного покрытия 3,5 мкм - 1 и 7,5 мкм - 2. Сила тока $I=4A$.

При увеличении силы тока с 4А до 7А участок с низкими значениями R_p для $d=7,5\mu\text{м}$ уменьшился с $N_m \approx 2500$ до $N_m \approx 1600$. Это означает, что число циклов с низкими значениями R_p обратно пропорционально величине силы отключаемого тока.

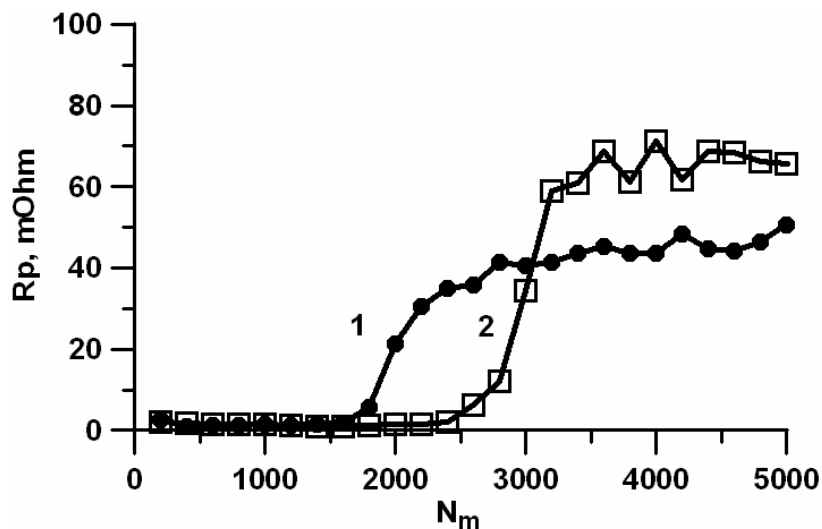


Рис. 2. Зависимость величины переходного сопротивления R_p от числа циклов вкл.-выкл. N для силы тока 7А - 1 и 4А - 2. Толщина серебряного покрытия 7,5 мкм.

Рентгеновский микроанализ поверхности контактов, подвергнутых разному числу циклов вкл – выкл., выполненный на сканирующем электронном микроскопе показал, что началу роста переходного сопротивления R_p соответствует момент очистки поверхности контакта от серебра [3].

Таким образом, воздействие плазмы электрической дуги на поверхность электрических контактов приводит к уменьшению толщины серебряного покрытия. Когда место, в котором происходит контакт,

полностью освобождается от покрытия, происходит увеличение переходного сопротивления и температуры выключателя, что ухудшает его эксплуатационные свойства.

Проведенные исследования позволяют на основании требований потребителя - силы тока и числа циклов вкл-выкл. за время прогнозируемого срока эксплуатации выбрать толщину покрытия, обеспечивающую надежную работу выключателя в течение всего срока эксплуатации.

1. Жуковски П., Карват Ч., Козак Ч., Колясик М., Романюк Ф., Шнип А. Температура опорной точки и энергия электрической дуги. Отключение постоянного тока // *NEET'2005 – New Electrical and Electronic Technologies and Their Industrial Implementation, IV International Conference, Zakopane, Poland*, , pp. 294-297 (2005).
2. Wojko E.B., Karwat Cz., Kiszczak K., Kolasik M., Kołtunowicz T., Komarov F.F., Kozak Cz., Romaniuk F.A., Wdowiak A., Żukowski P.: Electrical properties of contacts covered with multicomponent coatings by the dynamic ion mixing. *Vacuum*, **78**, pp. 495-502, (2005).
3. Karwat Cz., Kolasik M., Kozak Cz.M., Żukowski P., Łyszczik P.A., Ługin W.G.: Określanie szybkości degradacji warstw ochronnych łączników przy pomocy spektroskopii rentgenowskiej // *Czasopismo Naukowo - Techniczne - Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa*, 8/427, Katowice, pp. 34-37, (2006).

CuI-содержащие гель-пленки – возможный световой конвертор для кремниевых солнечных элементов

Малашкевич Г.Е.¹, Шевченко Г.П.², Бокшиц Ю.В.²

¹Институт молекулярной и атомной физики НАН Беларуси, Минск, Беларусь

²НИИ физико-химических проблем Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь

Известно [1], что пленки CuI характеризуются межзонным поглощением при $\lambda \leq 410$ нм и достаточно эффективной люминесценцией. Причем помимо «краевой» люминесценции ($\lambda \sim 430$ нм) может наблюдаться и люминесценция при $\lambda \sim 720$ и 820 нм, связанная с кислородными вакансиями, возникающими из-за примеси Cu₂O. Поскольку при синтезе CuI-содержащих гель пленок возможно достижение высокой концентрации таких вакансий, подобные пленки могут представлять интерес для ряда практических применений.

Целью настоящей работы было создание оксидных гель-пленок, легированных нано- либо микрокристаллами CuI, с интенсивным ультрафиолетовым поглощением и эффективной люминесценцией при $\lambda \sim 720$ нм. В результате были получены пленки с оптической плотностью >

1,5 при $\lambda < 400$ нм, квантовим виходом люмінесценції більше 80 % і долей ізлучаємих в указанній полосі квантів близької к 100 %. Исследовано вплив природи оксидної основи, умов синтезу і різних активуючих добавок на спектрально-люмінесцентні властивості цих плівок. Обнаружена достатньо ефективна передача збуджень в системі активуюча добавка – CuI, дозволяюча значно підвищити ефективність збудження люмінесценції при $\lambda < 350$ нм. Відзначається висока водостійкість отриманих плівок – зниження квантового виходу люмінесценції після двохсуточної витримки в воді не перевищує 10 %. Отримані результати дозволяють розглядати такі плівки як можливі світлові конвертори для кремнієвих сонячних елементів, спектральна чутливість яких при збільшенні довжини хвилі падаючого світла з 400 до 720 нм зростає більше ніж на порядок.

1. Sirimanne P.M., Soga T., Jimbo T.. Identification of various luminescence centers in CuI films by cathodoluminescence technique // *J. Lum.*, **105**, pp. 105-109 (2003).

Фізико-технічні основи побудови запам'ятовуючих елементів та пристроїв на тонких сегнетоелектричних плівках

Мартинюк Я.В.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Просторове переміщення електричним полем атомів в кристалічній решітці та зміна реорієнтаційної електричної поляризації і властивостей сегнетоелектричних матеріалів визначили перспективність використання їх в якості середовища для зберігання інформації та побудови енергонезалежних електронних сегнетоелектричних запам'ятовуючих пристроїв (СЗП). Розвиток технології тонких сегнетоелектричних плівок забезпечив в електронному приладобудуванні конкурентну спроможність СЗП на елементах з руйнівним зчитуванням – сегнетоелектричний конденсатор-МДН транзистор, що отримали назву FRAM.

Проаналізовано стан фізичних, технічних та технологічних основ побудови СЗП. Широке впровадження сегнетоелектричної пам'яті в ЕОМ потребує створення технології більш тонких сегнетоелектричних плівок (10-20нм) та зменшення в 1.5-2 рази до 45-65нм проектно-конструкторських норм (F), розвитку СЗП з неруйнівним зчитуванням, дослідження та удосконалення засобів проектування та технології виготовлення.

На основі технологічних та фізичних досліджень за удосконаленою методикою Мерца розроблено математичну модель перемикання поляризації в сегнетоелектричному конденсаторному запам'ятовуючому елементі

(СКЗЕ), яка враховує вплив перехідних шарів на межі електрод-поверхня плівки, товщину плівки, механічні напруження, що створює підкладка, температуру середовища та дозволяє виконувати аналіз процесів запису, зчитування інформації та накопичення перешкод в СЗП при дії імпульсних та статичних електричних полів. Розроблено спрощені електричні моделі СКЗЕ в режимах запису та збереження інформації на основі лінійної і нелінійної електричних ємностей елемента та еквівалентних обмежувальних резисторів, які дозволяють відображати зміни електричної поляризації в СЗЕ при дії сигналів запису та сигналів перешкод та визначати інформаційні сигнали при зчитуванні в структурі СЗП. Досліджено топологічні структури СЗП FRAM з ЗЕ, розміщеними між паралельними шинами запису та зчитування, або на їх перетині. Перша структура забезпечує менший розмір ЗЕ ($8F^2$ проти $12F^2$ в другій), в 2 рази більші інформаційні сигнали та кількість елементів в шині до 10^4 .

Запропоновано та досліджено інтегральні ЗЕ на основі тонко плівкових п'єзоелектричних трансформаторів та п'єзоконденсаторів і структури СЗП з неруйнівним зчитуванням, які забезпечують побудову СЗП великої ємності з малими розмірами ЗЕ – $4F^2$ для електронної зовнішньої пам'яті ЕОМ.

ІЧ-приймач на основі металодіелектричної плівки

Михайловська К.В., Індутний І.З. і Шепелявий П.Є.

Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, Київ, Україна,

Повідомлялось [1], що напилені в вакуумі металодіелектричні плівки (МДП) на основі SiO та металів перехідної групи за своїми оптичними та термочутливими властивостями є придатними для створення чутливого елемента теплових приймачів випромінювання (ТПВ).

В роботі представлені результати тестування зразків ТПВ болометричного типу, на основі МДП SiO<Co>, за якими визначені параметри їх технічних характеристик.

Дослідження вольт-ватної чутливості зразків в діапазоні (1-12) мкм показали, що спектральна характеристика чутливості S_λ носить селективний характер і добре корелює зі спектром поглинання плівки SiO<Co>. В діапазоні довжин хвиль (8-11) мкм вона має вигляд широкої смуги з максимумом чутливості $S_\lambda = 1835$ В/Вт при 10,2 мкм, що майже на порядок вище порівняно з чутливістю на довжині хвилі 4,75 мкм. Встановлено лінійну залежність між болометричним відгуком та інтенсивністю падаючого випромінювання в інтервалі (1-12) мВт/см².

Досліджені амплітудно-частотні характеристики (10-125 Гц), з яких для зразка болометра на скляній підкладинці визначено сталу часу ($\tau=6,6$ мс). Проведена оцінка порогу чутливості W_p на частоті модуляції 12,5 Гц

при струмовому шумі зразка $\sim 1,43 \cdot 10^{-8} \text{ В} \cdot \text{Гц}^{-1/2}$ і вольтовій чутливості $S_f = 211 \text{ В/Вт}$. Одержане значення W_p для кімнатних температур дорівнює $6,77 \cdot 10^{-11} \text{ Вт} \cdot \text{Гц}^{-1/2}$, а середнє значення виявної здатності D зразка з площею поверхні $0,45 \text{ мм}^2$ становить $\sim 1 \cdot 10^9 \text{ см} \cdot \text{Гц}^{1/2} \cdot \text{Вт}^{-1}$ ($\Delta f = 1 \text{ Гц}$).

Отримані параметри технічних характеристик зразків болометрів підтверджують перспективність використання МДП для створення матриць або лінійок ідентичних неохолоджуваних ГЧ-приймачів.

1. Михайловская Е.В., Индутный И.З., Шепелявый П.Е.. Неоднородные металлодиэлектрические пленки $\text{SiO}_x\langle\text{Fe}\rangle$ как материал для инфракрасных тепловых приемников излучения // Журнал технической физики. - т.73, вып. 2. – сс.129-132, (2003).

Особые зоны в областях прозрачности многослойных интерференционных систем

Овчаренко А.П.¹, Белозерцева В.И.², Северина Я.В.¹

¹*Харьковский Национальный университет им.В.Н.Каразина*

²*Харьковский Национальный технический университет «ХПИ»*

При конструировании многослойных диэлектрических интерференционных отрезающих фильтров, спектроделителей и других подобных систем одной из проблем является подавление вторичных максимумов отражения в областях прозрачности. Одним из основных способов подавления является специальный подбор окружающих сред либо наборов корректирующих пленок, обрамляющих основную многослойную периодическую систему. Последний вариант также может рассматриваться как создание “эквивалентных” обрамляющих сред с необходимыми параметрами.

При проведении подобных исследований мы обратили внимание, что на спектральных зависимостях отражения в областях прозрачности периодических систем существуют некие “особые” зоны, отражение в которых невозможно подавить ни при каких значениях показателей преломления обрамляющих сред. В качестве примера на рис. 1 показаны в относительных единицах спектральные зависимости отражения симметричного четвертьволнового зеркала $S_4(\text{HL})\text{HS}$ при изменении показателей преломления n_s обрамляющих сред S от 1 до 4. По-видимому, именно наличие этих неустраняемых особых зон и заставляет исследователей синтезировать машинными методами сложные, в общем случае нечетвертьволновые и не периодические конструкции для подавления вторичных максимумов.

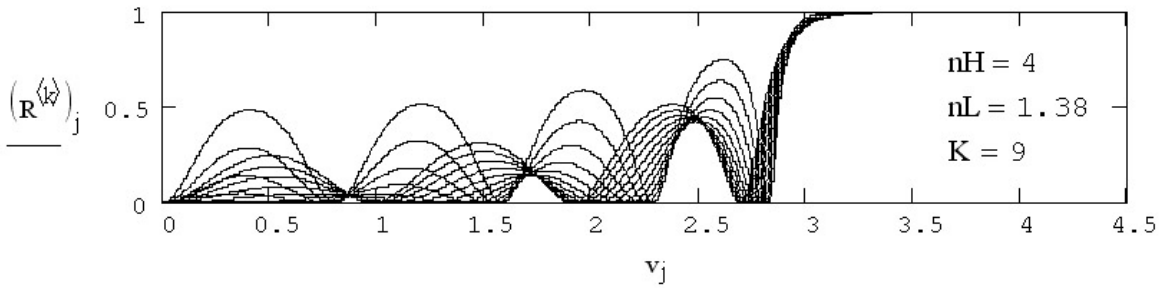


Рис.1

Проведенные нами исследования с использованием эквивалентных и других характеристик многослойников показали, что выявленные “особые” зоны появляются в областях высокого отражения сложнопериодической системы, в качестве основного периода которой взят весь многослойник (в представленном примере 9-слойник). По мере увеличения числа таких периодов в системе, коэффициент отражения на местах “особых” зон стремится к единице и будет формироваться прямоугольная полоса высокого отражения. Наблюдаются особые зоны также и в спектрах отражения несимметричных четвертьволновых периодических систем.

Ефект самоорганізації у світлодіодах GaP.

Оплат В.Я.¹, Пінковська М.Б.², Сараєв Д.Г.³, Тартачник В.П.²,
Худенький М.В.³

¹ *Національний педагогічний університет імені М.П. Драгоманова, Київ, Україна*

² *Інститут ядерних досліджень НАНУ, Київ, Україна*

³ *Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”, Київ, Україна*

Ефекти самоорганізації властиві відкритим нерівноважним системам, у яких ентропія не зростає, а зменшується. Головною особливістю таких процесів є пороговий характер якісних змін системи та нелінійність рівнянь, які їх описують [1]. Суть явища самоорганізації (синергізму) полягає у виникненні якісно іншої властивості системи при накопиченні відхилень від рівноважного стану її параметрів. Така закономірність є універсальною для різноманітних галузей природознавства і дозволяє застосовувати для її вивчення загальний підхід.

Об’єктом дослідження у поданій роботі служили діоди GaP, які містять на вольт-амперних характеристиках (ВАХ) ділянки від’ємного диференційного опору (ВДО) як N-, так і S-типу, що робить їх модельними при вивченні механізмів струмоперенесення та кооперативних ефектів.

Приведені у роботі результати отримані з вимірювань електричних характеристик світлодіодів. Температурні залежності ВАХ знімалися в інтервалі температур 77-300°K в автоматичному режимі. Виявлено, що при

$T < 90^\circ\text{K}$ і перевищенні порогового рівня інжекції носіїв у збіднену область р-п-переходу на прямій гілці характеристик в області ВДО S-типу виникають осциляції кілогерцового діапазону, котрі можуть бути обумовлені ефектом самоорганізації. Переходячи в режим ВДО S-типу, р-п-структура стає генератором низькочастотних автоколиваний.

Додаткове введення глибоких рівнів у базу діода з допомогою опромінення швидкими нейтронами ($E=1\text{MeV}$) спричиняє зростання амплітуди коливаний, величини диференційного опору та зворотного струму. В області N-нестабільності виникають додаткові коливальні піки.

Одержані результати дають змогу зробити висновок про безпосередню участь глибоких рівнів у виникненні осциляційних процесів. Висловлюється припущення, що в основі механізму зародження автоколиваний лежить ефект синергізму.

Відмічається також, що, оскільки стабільність роботи, надійність та довговічність елементів мікроелектронної техніки залежить від наявності на ВАХ нерегулярностей різноманітних видів, приведені в роботі дані можуть бути корисними розробникам приладобудівної галузі.

1. Сугаков В. І «Синергетика», «Київський університет», ІПЦ, Київ, 180 с. (1992).

Особливості рідкофазного отримання діоксиду титану для літєвих первинних джерел енергії

Остафійчук Б.К., Коцюбинський В.О., Челядин В.Л.

*Прикарпатський національний університет імені В. Стефаніка,
Івано-Франківськ, Україна*

Діоксид титану, що одержується рідкофазним методом у нанорозмірній формі, привертає до себе увагу науковців фізико-хімічними властивостям, які не є характерні для його об'ємного аналога. Згідно [1] такі властивості TiO_2 отримує завдяки сформованій дисперсності, структурі та морфології. На основі аналізу літературних даних щодо теоретичної та практичної можливості застосування такого діоксиду титану в джерелах електричної енергії (ДЕ), запропоновано рідкофазною технологією отримання діоксиду титану та досліджено його властивості в модельній електрохімічній системі з інтеркаляційним механізмом струмоутворення в якості активного матеріалу катоду первинного ДЕ.

Зразки TiO_2 отримано з використанням в якості прекурсорів в основному TiCl_4 , а також бутоксид або ізопропоксид титану (IV).

В результаті проведеного синтезу із $\text{Ti}(\text{OCH}(\text{CH}_3)_2)_4$ отримано агломеровані наночастинки добре кристалічного анатазу, що підтвердили дані рентгеноструктурної зйомки. При одержанні TiO_2 із бутоксиду титану (IV) з використанням темплати сформовано «ансамбль» наночастинок

діоксиду титану з гексагональним розташуванням мезопор, який забезпечив високу питому поверхню матеріалу ($350 \text{ м}^2/\text{г}$), а відповідно і теоретично відкритий доступ до поверхні зерна іонів літію.

Синтез TiO_2 на основі тетраклориду титану шляхом кислотного гідролізу забезпечив формування наночастинок, які склалися переважно з зерен, що містили анатазні нанокристаліти, про свідчать відповідні широкі піки рентгенограм та характерні для полідисперсних матеріалів електроннограми зйомки TEM.

1. Diebold U. // *Surface Science Reports*. 48, сс. 53-229 (2003).

Вплив навколишньої атмосфери на характеристики р-п переходів на основі AlGaAs

Пашенко О. О.¹, Пашенко Ф. О.², Шугарова В. В.¹

¹Одеський національний університет ім. І. І. Мечникова, Одеса, Україна

²Одеська національна морська академія, Одеса, Україна

Досліджено вплив парів води, етилену, ацетону та аміаку на стаціонарні вольт-амперні характеристики (ВАХ) і кінетику прямого і зворотного струмів р-п переходів на основі AlGaAs.

Домішка парів аміаку в навколишній атмосфері вела до значного зростання прямого і зворотного струмів у р-п переходах. Зміни ВАХ були оборотними. Це свідчить про фізичну природу адсорбції молекул NH_3 на поверхні AlGaAs. ВАХ прямого струму р-п переходів у парах аміаку мали лінійні ділянки. Така поведінка поверхневих струмів пояснюється утворенням поверхневого провідного каналу з електронною провідністю в р-області під дією електричного поля адсорбованих позитивних іонів аміаку. Утворення такого каналу в р-п переходах при адсорбції позитивних іонів підтверджено двовимірними розрахунками.

Зростання поверхневого струму в досліджених р-п переходах під дією парів води, етилену і ацетону було значно слабкішим, ніж у випадку парів аміаку. Це пояснюється локалізацією адсорбованих молекул на зовнішній поверхні шару власного оксиду товщиною біля 10 нм, тунельно не прозорого для дірок. Поверхневі центри, створені такими молекулами, мають набагато менший переріз захоплення носіїв заряду, ніж поверхневі стани, локалізовані на межі напівпровідник-оксид. Тому пари, молекули яких не іонізуються при адсорбції на поверхні власного оксиду AlGaAs, набагато менше впливають на поверхневі струми в р-п переходах, ніж донорні (як аміак) та акцепторні гази.

На ВАХ зворотного струму спостерігався гістерезис, який можна пояснити перезарядкою глибоких поверхневих центрів.

Криві зростання поверхневого струму після підвищення парціального тиску парів NH_3 мали ділянку швидкої зміни тривалістю до

30с і ділянку повільної зміни. Час спадання струму після зменшення тиску парів аміаку складав біля 10с. Така відмінність кінетики зростання і спаду поверхневого струму свідчить про перезарядку поверхневих рівнів при адсорбції молекул аміаку.

Вплив парів аміаку на поверхневий струм у р-п переходах на основі AlGaAs можна використати для створення сенсора даних парів. Внаслідок більшої ширини забороненої зони AlGaAs, такі сенсори мають менший фоновий струм, ніж р-п переходи на основі кремнію і арсеніду галію.

Утворення захисних плівок на поверхні металу в електромагнітному полі

Старчак В.Г.¹, Костенко І.А.², Олексієнко С.О.², Замай Ж.В.¹

¹ Чернігівський державний педагогічний університет ім. Т.Г.Шевченка, Чернігів, Україна

² Чернігівський державний технологічний університет, Чернігів, Україна

Дослідження, проведені нами [1–6], показали перспективність модифікації поверхні конструкційних матеріалів металохелатуванням для підвищення довговічності, витривалості та експлуатаційної надійності металовиробів. Дуже важливим є вивчення утворення захисних плівок на поверхні металу в електромагнітному полі (ЕМП). Цей актуальний напрямок досліджень був започаткований в роботі [7] щодо встановлення функціональних залежностей коефіцієнтів гальмування корозійно-механічного руйнування (КМР) вуглецевих (сталь 20, сталь 45) та електротехнічних сталей (Е45, Е310): корозійного розтріскування ($K_{кр}$), малоциклової втоми – K_n , корозії (γ) та ін. від параметрів ЕМП в рамках гранично допустимих рівнів (ГДР) за напруженістю електричного – E (0,2...20ГДР) і магнітного полей – H (0,3...≥ГДР) та в діапазоні частот $f=0,05...10^5$ Гц.

Для металохелатування поверхні вуглецевих, низько- та високолегованих сталей і зварних з'єднань розроблені синергічні металохелатуючі композиції (СМХК) з використанням вторинної сировини (регіональних відходів виробництва – ЧВО „Хімволокно” та ін. і споживання – некондиційні за строком придатності пестициди та фармпрепарати) та синергічних добавок – активних хелатоутворювачів (азоли, тіазоли та ін.). Завдяки полідентатності лігандів (з декількома адсорбційними (реакційними) центрами – ендатоми азоту, сірки, екзоатоми азоту, сірки, кисню та ін.) утворюється захисна плівка із металохелатів (макроциклічних, π -металохелатів, макромолекулярних хелатів), яка підвищує ефективність захисту в електричному полі. Це може бути пов'язано із «скін-ефектом» і зростанням, внаслідок цього, активного електричного опору (з підвищенням f). Крім того, зростає в 3...4 рази поляризаційний опір. Магнітне поле знижує захисні ефекти, що може бути

обумовлено позитивним знаком магнітострикційної деформації, а також ефектом Дебая-Фалькенгагена і утворенням напівпровідникової плівки р-типу, що сприяє активізації анодного розчинення металу. Оптимальні СМХК зберігають свою ефективність в умовах дії ЕМП: $K_n = 77...85\%$, $K = 88...97\%$, $K_{кр} = 82...105$.

1. Старчак В.Г., Алексеенко Б.А. Применение некоторых гетероциклов для защиты стали от коррозионно-механического повреждения // Химия гетероциклических соединений. Донецк: АН УССР– с.25 (1978).
2. Старчак В.Г., Грузнова С.В., Клячко Ю.А. Исследование механизма защиты стали в средах газодобычи методами Оже-спектроскопии и РЭМ // Электрохимия, коррозия и защита металлов. Тамбов, сс. 92-94 (1986).
3. Старчак В.Г. Повышение стойкости стали в электрохимических процессах. Автореф. дис. докт. техн. наук: 05.17.14, 05.17.03 / КПИ. Киев, 37 с. (1988).
4. Старчак В.Г., Буяльська Н.П., Цибуля С.Д. та ін. Наукові основи підвищення екологічної безпеки металоконструкцій модифікацією їх поверхні в протикорозійному захисті // *Фіз.-хім. механіка матеріалів. Спецвипуск 2(4)*, сс. 738-741 (2004).
5. Старчак В.Г., Цибуля С.Д., Горбунова Т.А., Іваненко К.Н., Алексеенко С.А. Повышение долговечности материалов наномасштабным металлохелатированием // Современное материаловедение: достижения и проблемы. – Киев: ИПМ им. И.Н.Францевича НАНУ, – сс. 540-541, (2005).
6. Старчак В.Г., Олексієнко С.О., Іваненко К.М., Цибуля С.Д. Підвищення корозійної стійкості, довговічності та екологічної безпеки конструкційних матеріалів поверхневою модифікацією // *Фіз.-хім. механіка матеріалів. Спец. випуск. 2(4)*, сс. 784-788 (2006).
7. Костенко І.А. Протикорозійний захист сталі від матеріальних та енергетичних забруднень. Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.17.14 / НТУУ „КПІ”, Київ, 22 с. (2001).

Гетерозпитаксиальные структуры ZnS_xSe_{1-x} /GaAs – получение, физические свойства, применения.

Фирстов С. О., Еременко А. Л., Школьный В. К., Горбань В.Ф.

*Институт проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН Украины,
Киев, Украина*

Одним из современных методов исследования микромеханических свойств аморфных материалов является микроиндентирование с записью диаграмм нагружение - разгружение. Анализ кривых индентирования позволяет определять не только твердость материала, но и модуль Юнга, характеристику пластичности λ .

В данной работе исследовалось влияние отжига на

микромеханические свойства сверхбыстрозакалённых лент на основе Ni и Co.

Объектом исследования в данной работе были сверхбыстрозакалённые ленты состава $Ni_{68,7}Cr_{6,7}Si_{8,1}B_{13,8}Fe_{2,7}$ (ат. %) (СТЕМЕТ[®] 1301) и $Co_{67,3}Fe_{10,1}Si_{16,2}B_{6,4}$ (ат. %), полученные методом спинингования. Ленты подвергались температурной обработке в защитной атмосфере. Температурная обработка образцов $Ni_{68,7}Cr_{6,7}Si_{8,1}B_{13,8}Fe_{2,7}$ (ат. %) проводилась при температурах $T_{1то Ni}=733K$, $T_{2то Ni}=853K$ и $T_{3то Ni}=983K$ с выдержкой 10 минут с последующим остыванием на воздухе. Отжиг образцов $Co_{67,3}Fe_{10,1}Si_{16,2}B_{6,4}$ (ат. %) проводили при температурах $T_{1то Co}=733K$, $T_{2то Co}=773K$, $T_{3то Co}=843K$, $T_{4то Co}=853K$, и $T_{5то Co}=888K$ с выдержкой 10 минут с последующим остыванием на воздухе. Микромеханические свойства данных образцов определяли с помощью автоматического индентирования с записью диаграмм нагружения - разгружения.

В исходном состоянии ленты $Ni_{68,7}Cr_{6,7}Si_{8,1}B_{13,8}Fe_{2,7}$ (ат. %) и $Co_{67,3}Fe_{10,1}Si_{16,2}B_{6,4}$ (ат. %) имеют твёрдость 8,9 ГПа. Модуль Юнга ленты на основе Ni 80-85 ГПа, на основе Co 68-70 ГПа. Максимальное значение твёрдость никелевого сплава ($H=13,8$ ГПа) имеет при температуре отжига 853K, а кобальтового сплава ($H=13,4$ ГПа) при 773K.

Отношение H/E для данных материалов изменяется от 0,054 до 0,135. Результаты, экспериментально полученные при индентировании плёнок на основе Ni и Co, близки к значениям теоретической твёрдости ($H_{теор} \approx 0,14 \div 0,16E$), которая определяется как максимальная твёрдость материала, которая может быть достигнута при условии, что напряжение, вызывающее пластическое течение в материале под индентором, соответствует теоретической прочности на сдвиг этого материала.

Отримання та фізичні властивості поверхнево-бар'єрних структур ІТО/CdZnTe

Фрасуняк В.М., Орлецький І.Г.

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, Чернівці, Україна

Широке застосування CdTe в якості базового матеріалу для бар'єрних структур і виготовлення ефективних детекторів різного роду випромінювання, зумовлено його високою fotocутливістю і оптимальною для перетворення випромінювання шириною забороненої зони. Однак технологічні проблеми та нестабільність параметрів при зміні температури дещо обмежують можливості широкого використання приладів на його основі. Тверді розчини, які забезпечують плавну зміну основних фізичних параметрів створюють додаткові можливості для оптимізації робочих характеристик напівпровідникових приладів. Крім того, впровадження

нового елемента, зокрема Zn, у ґратку CdTe покращує її стабільність та структурну досконалість кристалів [1].

В якості базового матеріалу для отримання поверхнево-бар'єрних структур ІТО/CdZnTe використовувалися однорідні монокристалічні пластини $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ ($x=0.04$), виготовлені зі злитків, отриманих направленою кристалізацією розплаву. Кристали володіли р-типом провідності і концентрацією вільних носіїв заряду $10^{16}\div 10^{17} \text{ см}^{-3}$ при $T = 300 \text{ К}$. Фронтальна компонента структури наносилася пульверизацією спиртових розчинів хлоридів індію і олова у співвідношенні 10:1 на повітрі на нагріті до 380-400 °С підкладки. Товщина плівок залежала від тривалості процесів пульверизації і досягала 0,2÷0,3 мкм. Визначені параметри плівок: провідність $\sigma = 2 \cdot 10^3 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$, концентрація носіїв $n = (3\div 5) \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$, ширина забороненої зони $E_g = 2,8\div 2,9 \text{ еВ}$. Контакт з боку ІТО формувався у вигляді металевої сітки з індію, з боку CdZnTe – золотом, нанесеним електрохімічним способом.

Для всіх структур спостерігалися чіткі вольт-амперні (ВАХ) випрямляючі характеристики. Прямі вітки ВАХ в напівлогарифмічному масштабі описуються кривими, які містять дві ділянки з різними нахилами, що відтворює різні механізми протікання струму. Всі отримані структури були фоточутливими. На основі дослідження світлових ВАХ та вольт-фарадних характеристик отриманих структур, оцінено ряд параметрів, зокрема, контактну різницю потенціалів $\phi_k = 0,93 \text{ В}$, ширину області просторового заряду $w = 0,65 \text{ мкм}$, концентрацію акцепторів $N_a = 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$.

1. Beell S.L. and Sen S.. Grystal growth of $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ and its use as a superior substrate for LPE growth of $\text{Hg}_{0,8}\text{Cd}_{0,2}\text{Te}$ // *J.Vac.Sci.Technol.* **A3**(1). p.112 (1985).

Термоелектрика напівпровідникових матеріалів на основі телуридів олова, свинцю і германію

Фреїк Д.М.¹, Шперун В.М.¹, Кланічка В.М.¹, Огородник Я.В.²

¹Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, Івано-Франківськ, Україна;

²American Association for Crystal Growth, Ceramare Corporation, USA

Проведено дослідження фізико-хімічних властивостей сплавів на основі телуридів германію, олова і свинцю із заміщенням іонів у катіонній підґратці, запропоновано кристалоквазіхімічні механізми утворення твердих розчинів на їх основі. Показано, що у системах $\text{PbTe-Gd}_2\text{Te}_3$, $\text{PbTe-Tb}_2\text{Te}_3$ початкове різке зростання термоелектричних параметрів (до 2 мол.% Gd_2Te_3 і 1 мол.% Tb_2Te_3) пов'язане із заміщенням свинцю Gd(Tb) , зменшенням концентрації вакансій у аніонній підґратці і утворенням вакансій у катіонній підґратці. Для твердих розчинів $\text{PbTe-Eu}_2\text{Te}_3$ має місце

зменшення катіонних вакансій і утворенням міжвузлового телуру. Складний характер зміни фізико-хімічних властивостей від складу у системі PbTe-SmTe пояснено різною іонізацією самарію.

Досліджено вплив елементів IV групи Періодичної таблиці на термоелектричні властивості телуриду олова. Показано, що якщо для систем SnTe-MnTe(Cu₂Te) переважають механізми заміщення вакансій у катіонній підґратці основної матриці, то для SnTe-In₂Te₃ – утворення домішкових атомів заміщення.

Запропоновано кристалоквазіхімічні рівняння утворення твердих розчинів у системах GeTe-Cu₂Te (I), GeTe-Bi₂Te₃ (II) і GeTe-Cu₂Te-Bi₂Te₃ (III). Встановлено, що якщо для (I) переважає добування катіонної підґратки і залікуванням вакансій германію, а у (II) – утворення нейтральних кластерів $(\text{Bi}_{\frac{2}{3}}\text{V}_{\frac{1}{3}})_{\text{Ge}}$, то подвійне легування GeTe телуридами міді і вісмуту для (III) обумовлює як утворення нейтральних комплексів, так і залікуванням вакансій у катіонній підґратці, що є причиною різкого зменшення концентрації дірок. Виконано порівняльний аналіз фізико-хімічних властивостей сплавів Ge_xSn_{1-x}Te-(Bi_ySb_{1-y})₂Te₃ і Ge_xPb_{1-x}Te-(Bi_ySb_{1-y})₂Te₃ у залежності від вмісту низькотемпературної (Bi_ySb_{1-y})₂Te₃ (0,4 ≤ y ≤ 0,8) та середньотемпературної Ge_xSn_{1-x}Te і Ge_xPb_{1-x}Te (0,8 ≤ x ≤ 0,9) фаз.

Розроблено хіміко-технологічні основи синтезу сплавів, які забезпечують одержання матеріалу із наперед заданими властивостями, необхідними для термоелектричних перетворювачів енергії у середньо температурній області (300-850 K).

Активні елементи електроніки на основі наноструктур напівпровідникових сполук

Чобанюк В.М.¹, Вуйцік В.², Фреїк Д.М.¹

¹*Прикарпатського національного університету імені Василя, Івано-Франківськ, Україна*

²*Люблінський технічний університет, Польща*

Наноелектроніка – нова область напівпровідникової технології і техніки. В міру наближення розмірів твердотільних структур до нанометрової області все більше переважають хвильові властивості квантових частинок, що відкриває перспективи створення нових унікальних елементів для інформаційних систем [1]. Так, зокрема, уже сьогодні техніка наближається до передачі і запам'ятовування інформації за допомогою одного електрона, локалізація якого у просторі може бути задана одним атомом.

Зроблено аналіз роботи транзисторних систем на резонансному тунелюванні [1,2]. Транзистор являє собою бар'єрний діод на квантових

ямах, у якого потенціал ям і відповідні резонансні умови контролюються третім електродом. Такі транзистори мають частоти переривання $\sim 10^{12}$ Гц, що в 10^2 - 10^3 разів перевищує аналогічні характеристики сучасних інтегральних мікросхем на кремнію.

Приведені принципи роботи і характеристики реле на атомних і молекулярних дротах. Загальний розмір такої структури складає менше 10 нм, а робочі частоти $\sim 10^{12}$ Гц, що дає можливість створити суперкомп'ютери із оперативною пам'яттю у 10^9 байт на площі 200 мкм^2 [1].

Розглянуто технологічні аспекти виготовлення і принципи функціонування напівпровідникових лазерів на основі квантових точок [2]. Показано, що у таких структурах має місце зменшення порогового струму лазерної генерації, а також можливі великі швидкості модуляції випромінювання.

Робота частково фінансується МОН України (реєстраційний номер 0106U000221), а також ДФФД МОН України (Проект № 14.1 / 028).

1. Борисенко В.Е. Нанoeлектроника – основа информационных систем XXI века // *Соросовский образовательный журнал*. 5, сс. 100-104 (1996).
2. Белявский В.И. Физические основы полупроводниковой нанотехнологии // *Соросовский образовательный журнал*. 10, сс. 92-98 (1998).

Temperature stress effects on optical nonlinear waveguide sensor

Hala J. El-Khozondar¹, Rifa J. El-Khozondar², Mohammed M. Shabat³

¹*Department of Electrical and Electronics Engineering, Islamic University, Gaza Strip, Palestinian Authority*

²*Physics Department, Al-Aqsa University, Gaza, Gaza Strip, Palestinian Authority*

³*Max Planck Institute for the Physics of Complex Systems, Dresden, Germany*

Controlling temperature sensitivity of optical parameters by thermal stress is an important issue in developing optoelectronics devices. This work is to study the temperature sensitivity of nonlinear optical waveguide sensor containing a dielectric film sandwiched between a linear substrate and a nonlinear cladding. The mode equations are derived for TE and TM as well. Numerical calculations are developed to study the influence of thermal stress of the temperature sensitivity effective refractive index for a nonlinear optical planar waveguide sensor. The results of the numerical calculation are used to plot the thermal sensitivities of TE and TM effective refractive indices as a function of the core thickness.

It is found that thermal sensitivity of nonlinear waveguide sensor can be controlled by thermal stresses. Thermal stress in the waveguide can be

controlled by carefully picking the materials and loading methods. Consequently, the temperature sensitivities of the effective refractive index can be tuned cautiously. Therefore, introducing suitable thermal stresses, elevated temperature sensitivity will cause a wider tuning range in tunable filters and lasers.

Evaluation of Radiology Personnel Practice of Mazandaran university of Medical sciences

Seyed Ali Rahimi

Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

Background and purpose:

Radiology department that provides images with proper quality plays a vital role in diagnosis of diseases. Good image is obtained by proper technical criteria and correct Positioning. Personnel practice of radiology department has a principal role on radiographs quality. This study was carried out to determine the radiology department personnel practice in university hospitals.

Method & Material:

Data collection was made using an observational check list. Its validity and reliability was determined previously. The sample size of which was thirty-nine persons. 29 items of practice related to technical and protect ional aspects at three working shifts were observed and recorded separately.

Results:

Results showed that most of the personnel were female (61.5%), over 40 years old (59%) and technicians (53.8%). On the whole, personnel's score percentages in technical field on three shifts of morning evening and night were 47.5%, 46.2%, and 45.9%, respectively which were less than them in protect ional field (60.3%, 56A% and 55.8%, respectively). Comparison of technical protection and total scores related to individual variables showed significant difference only in organizational grades ($p < 0.0001$, $p < 0.05$, $p < 0.0001$, respectively) Le. The mean scores of radiological technologists holding BSc and associate degrees were more than those of technologists not holding university degrees.

Conclusion:

The quality of the personnel practice is not desirable; therefore continuing education programmers are needed for personnel. Protection against radiation exposure, availability of equipment and continuous evaluation of use of equipment can be effective in dose reduction in patients.

Electrical and photoelectrical behaviour of nanocrystalline CdS films and CdS/InP heterojunction p-n diodes

Rakovics V., Horváth Zs.J.

Hungarian Academy of Sciences, Research Institute for Technical Physics and Materials Science, Budapest, Hungary

The chemical bath (CBD) technique appears to be a relatively simple and inexpensive method to prepare homogenous films with controlled composition. Extensive research has been done on the deposition and characterization of CdS semiconductor thin films due to their potential applications in the area of electronic device and solar cell fabrication. The best thin film solar cells use CdS buffer or window layer.

Nanocrystalline CdS thin films have been deposited on glass or p-type InP substrates using CBD technique. Baths containing CdSO₄, thiourea, and NH₃ were used. The temperature of deposition process was 65 °C and the duration of deposition varied between 20-160 minutes. Heterojunction diodes were fabricated by evaporation of gold-zinc and gold-tin contacts to the InP and CdS, respectively.

The photoelectrical properties of the films were studied by current-voltage measurements in dark and under illumination in spectral range of 400-1000 nm at room temperature. The diodes were studied by current-voltage and capacitance-voltage measurements in the temperature range of 80-360 K.

Acknowledgements. This work has been supported by the European Commission in the frame of FP6 project SEMINANO No. 505285, by the Hungarian Scientific Research Fund under Grant No. T048696, and by the CIGS NKFP project of the Hungarian National Office for Research and Technology.

Principle of the transmission characteristics correction of thin-film optical filters

Sukach G.A., Manko V.A.

State University of Information & Communication Technology, Kyiv, Ukraine

In paper the principle of corrective action of the transmission characteristics of thin-film optical filters guessing importation of a determined optical losses level into the chosen concrete optical layer is considered. The offered method allows at inappreciable boosting of a losses degree to receive practically flat transmission characteristic in a transmission band.

The influence to the transmission characteristics of thin-film filters of optical parameters of films was surveyed in [1]. Thus the necessary index of refraction of a particular film for deriving of the required transmission characteristic is not always possible to ensure. In this connection in offered paper the method of corrective action of transmission filter responses not

requiring variation of refraction index value of components of its films is offered. With the purpose of the characteristic non-uniformity reduction in a transmission band in offered paper by mathematical simulation analysis the importation into optical layers of a different degree of losses was carried out. The conditions providing decreasing with this method of non-uniformity of the thin-film filter transmission characteristic in a transmission band up to value about 0,02 dB are defined. Thus the initial value of non-uniformity was 2 dB. It is possible to cancel some boosting of attenuation in such case by application of optical amplifiers.

1. Manko A.A., Manko V.A., Sukach G.A. Method of calculation of multilayer optical filters using thin films // *Proc. 8th International Conference in Laser and Fiber-Optical Networks Modeling*. Kharkiv, Ukraine, 29 June-01 July, pp. 452-454, (2006).

**СЕКЦІЯ 4 (стендові доповіді)
ТОНКОПЛІВКОВІ ЕЛЕМЕНТИ ЕЛЕКТРОННИХ
ПРИСТРОЇВ**

11 травня 2007 р.

**SESSION 4 (posters)
THIN FILM ELEMENTAL COMPOUNDS FOR
ELECTRONIC DEVICES**

May, 11, 2007

**Вплив парів NH₃ на характеристики поверхні р-п переходів
на основі GaAs та GaP**

Артеменко О.С.¹, Маслєєва Н.В.²

¹*Одеська національна морська академія, Одеса, Україна*

²*Одеський національний університет ім. І.І. Мечникова, Одеса, Україна*

Досліджено характеристики р-п переходів на основі GaAs і GaP як газових сенсорів, та досліджено вплив наступного тривалого зберігання в повітрі на їх чутливість.

Проведено вимірювання вольт-амперних характеристик (ВАХ) прямого і зворотного струмів, вольт-фарадних характеристик, кінетики наростання і спаду поверхневого струму у різних газових середовищах при температурах у діапазоні 290 – 330 К, а також вплив порушеного поверхневого шару власного оксиду на чутливість до аміаку у р-п структурах на основі GaAs і GaP. Під дією парів аміаку в р-п структурах на основі GaAs і GaP прямий та зворотний струми різко зростали. ВАХ прямого струму для всіх зразків мала лінійну ділянку, що пояснюється утворенням поверхневого провідного каналу.

Запропонована Ф. О. Птащенко [1] комп'ютерна модель розрахунку розподілу концентрацій носіїв заряду та густини додаткового струму, у р-п структурах на основі GaAs, зумовленого адсорбцією молекул NH₃, показала, що на всій поверхні р-області створюється канал з високою концентрацією вільних електронів. Даний канал має лінійну ВАХ, що підтверджується експериментальними дослідженнями. В р-п структурах на основі GaP при високих рівнях інжекції адсорбованих молекул аміаку, спостерігалася зміна ВАХ прямого струму, що пояснюється руйнуванням провідного каналу [2].

Зберігання р-п переходів на основі GaP в повітрі протягом кількох років після обробки в парах аміаку вело до зниження прямих і зворотних

струмів. В той же час чутливість поверхневих струмів в р-п структурах на основі GaAs до парів аміаку практично не змінювалась.

Причиною чутливості поверхневого струму до парів аміаку є іонізація молекул NH₃ та утворенням поверхневого провідного каналу. Результати досліджень свідчать, що р-п структури на основі GaAs та GaP можна використовувати для створення сенсорів парів аміаку.

1 Птащенко О.О., Артеменко О.С., Маслеєва Н.В., Птащенко Ф.О. Р-п переходи як селективні газові сенсори // *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Спецвипуск*. сс. 238-240. (2006).

2. Ptashchenko O.O., Artemenko O.S., Dmytruk M.L., Masleyeva N.V., F. O. Ptashchenko Effect of ammonia vapors on the surface morphology and surface current in p-n junctions on GaP // *Фотоелектроніка*. 14. сс. 97 – 101 (2005).

Двосторонньо фоточутливі плівкові сонячні елементи на основі CdS/CdTe

Бойко Б.Т., Хрипунов Г.С.

*Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”,
Харків, Україна*

Одним з перспективних напрямків розвитку фотоенергетики є створення тандемних приладових структур, в яких для більш ефективного фотоелектричного перетворення сонячного випромінювання використовується кілька базових шарів з різною шириною забороненої зони. Однак перспективні для широкомасштабного використання в наземних та космічних умовах економічні плівкові СЕ на основі CdS/CdTe в таких приладах не застосовуються, оскільки до останнього часу не були розроблені прозорі тильні електроди до плівкових шарів CdTe р-типу електропровідності, що дозволяє фотонам, які не поглинулися в телурид кадмію, надходити до наступного СЕ тандемної структури.

Була проведена розробка технології формування прозорих тильних електродів ІТО для використання плівкових СЕ SnO_x:F/CdS/CdTe/ІТО у тандемних структурах. Експериментально було встановлено, що за товщини CdTe 3 мкм, температури осадження плівок ІТО 250°C ефективність плівкових СЕ SnO_x:F/CdS/CdTe/ІТО досягає 7.9%. Дослідження спектрів пропускання приладових гетеросистем SnO_x:F/CdS/CdTe свідчить про те, що в діапазоні (0,82-1,20) мкм, який відповідає спектральному інтервалові, розташованому між довгохвильовими краями фоточутливості CdTe і CuInSe₂ (матеріал який перспективно використовувати як вузькозонний базовий шар в тандемній структурі), середній коефіцієнт пропускання складає більш 70%. Таким чином, розроблені плівкові СЕ SnO_x:F/CdS/CdTe/ІТО можуть ефективно

використовуватися в тандемних фотоелектричних перетворювачах.

Для визначення особливостей фізичних механізмів переносу заряду у СЕ $\text{SnO}_x:\text{F}/\text{CdS}/\text{CdTe}/\text{ITO}$ були проведені дослідження темнових вольт-амперних характеристик $J(V)$. При прямому зсуві понад 0.8 В експериментальна залежність $J(V)$ СЕ лінійна в координатах $\lg J-V^{-1/2}$, що свідчить про реалізацію тунельно-рекомбінаційного механізму переносу заряду. Дослідження темнових ВАХ були доповнені дослідженнями темнових вольт-фарадних характеристик $C(V)$. На ВФХ СЕ можна виділити кілька характерних ділянок. Перша ділянка відповідає зворотному зсуву та низькому прямому зсуву ($V < 0,3$ В). На цій ділянці ВФХ лінійна в координатах $1/C^2-V$. На першій ділянці густина струму, який протікає крізь СЕ багато менша за густину струму насичення тильного контакту. Тому вся напруга, що прикладається, падає на р-п гетеропереході и загальна ємність СЕ відповідає ємності р-п гетеропереходу. Друга характерна ділянка на залежностях $C/S(V)$ досліджених СЕ спостерігається за прямого зсуву більш 0,8 В. На цій ділянці ВФХ СЕ також лінійна в координатах $1/C^2-V$. За таких прямих зсувів геометричні розміри області збідніння р-п гетеропереходу і, відповідно, опір області збідніння зменшуються. Тому на цій ділянці вся напруга, що прикладається, падає, в основному, на тильному діоді $+n\text{ITO}/+p\text{CdTe}$, що включається в цьому випадку у зворотному напрямку, і загальна ємність СЕ визначається ємністю діодної структури тильного контакту. По лінійній частині залежності $1/C^2-V$ визначено висоту потенційного бар'єру тильного контакту ($E_{\text{бт}}=2,20$ еВ) і концентрацію носіїв заряду поблизу тильного контакту ($N_{\text{т}}=2,2 \cdot 10^{21} \text{ м}^{-3}$). Високі значення $E_{\text{бт}}$ та $N_{\text{т}}$ обумовлюють експериментально зафіксований тунельно-рекомбінаційний механізм переносу заряду в СЕ $\text{SnO}_x:\text{F}/\text{CdS}/\text{CdTe}/\text{ITO}$ за прямого зсуву більш 0,8 В.

Дослідження спектральних залежностей коефіцієнту квантової ефективності $Q(\lambda)$ СЕ $\text{SnO}_x:\text{F}/\text{CdS}/\text{CdTe}/\text{ITO}$ свідчать, що для підвищення ККД таких приладових структур необхідно збільшувати вклад в фотовідгук від нерівноважних носіїв заряду, генерованих під дією короткохвильових фотонів. Вперше експериментально виявлено, що поза залежністю від напрямку висвітлення за збільшення прямого зсуву спостерігається ефект зміни полярності фотоструму у всьому спектральному діапазоні фоточутливості СЕ $\text{SnO}_x:\text{F}/\text{CdS}/\text{CdTe}/\text{ITO}$. Зміна полярності фотоструму обумовлена високим потенційним бар'єром тунельного контакту $+n\text{ITO}/+p\text{CdTe}$, що за прямого (відносно основного р-п гетеропереходу) зсуву призводить формування поблизу тильного контакту області електричного вбудованого поля, здатного ефективно розділяти генеровані під дією світла нерівноважні носії заряду. Показано, що в СЕ $\text{SnO}_x:\text{F}/\text{CdS}/\text{CdTe}/\text{ITO}$ при висвітленні з боку шару ITO і прямому зсуві досягається більша $Q(\lambda)$, ніж при висвітленні з боку $\text{SnO}_x:\text{F}$ і зворотному зсуві. Встановлено, що це пов'язано з більш

високими оптичними втратами при висвітленні СЕ з фронтальної сторони. У кліматичній камері були проведені прискорені дослідження впливу часу експлуатації на ефективність СЕ $\text{SnO}_x\text{:F/CdS/CdTe/ITO}$, які свідчать про високу деградаційну стійкість виготовлених СЕ на протязі 7 років.

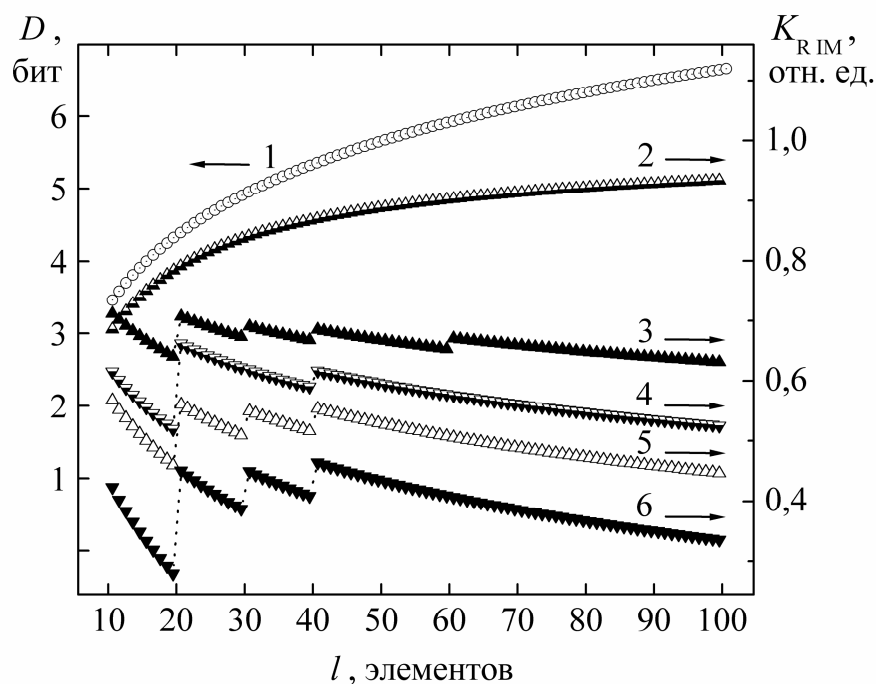
Оценка информационной избыточности шкального и цифрового пленочного индикатора

Бушма А. В.

Государственный университет информационно-коммуникационных технологий,
Киев, Украина

Широкое распространение при визуализации цифровых сообщений получили знаковые (символьные) и дискретно-аналоговые (шкальные) пленочные индикаторы, обеспечивающие высокий уровень параметров надежности канала передачи данных от технических средств оператору в современных информационно-измерительных и управляющих системах.

Получены выражения для оценки избыточности знаковых и шкальной информационной модели при исключении нештатных визуальных образов на индикаторе аппаратными средствами. На рисунке представлены результаты расчета количества передаваемой информации $D(I_v)$ для систем с алфавитом длиной до 100 символов (1), из которого виден его рост с увеличением числа элементов множества сообщений l . Это справедливо для всех рассматриваемых индикаторов. Также приведены зависимости коэффициента избыточности K_{RIM} для шкального (2) и для 9-, 7-, 6- и 5-сегментных цифровых индикаторов:



графики 3 – 6, соответственно.

Представленные результаты показывают, что с ростом длины алфавита избыточность шкальной информационной модели увеличивается, а знаковых – уменьшается, что определяет существенные эргономические преимущества шкальных пленочных индикаторов перед цифровыми.

Оптический метод детектування атомних часток водню з низькотемпературної плазми хемілюмінесцентним (ХЛ) сенсором на основі ZnS,CdS-Ag.

Волощук С.О., Гранкін В.П., Онщенко О.О.

Приазовський державний технічний університет, Маріуполь, Україна

При епітаксіальному вирощуванні плівок, плазмовому травлінні поверхонь потрібно знати властивості газового оточення поверхні (концентрацію вільних радикалів, тиск у експериментальному об'ємі та ін.), а також заповнення поверхневої плівки адсорбованими атомами, швидкості асорбційно-десорбційних процесів на поверхні в залежності від біографії поверхневої плівки, наявності і концентрації домішок та ін. Поверхневий шар може люмінескувати при взаємодії атомних часток теплової енергії із газового оточення з поверхнею, яка обумовлена енергією реакцій адсорбції атомів і молекул – адсорболомінесценція та рекомбінації атомів – радикалорекомбінаційна люмінесценція (РРЛ). Отже РРЛ несе інформацію про фізико-хімічні процеси на межі розділу фаз - поверхневий шар/газове оточення. ХЛ методи дозволяють визначати константи поверхневих процесів, наприклад, для РРЛ – енергії активації ударної та дифузійної рекомбінації, енергії активації дисоціації та ін. Внаслідок енергії реакцій взаємодії атомних часток із поверхнею люмінескує велике число зразків плівок на основі кристалофосфорів (ZnO, MgO, Zn₂SiO₄ – Mn, ZnS,CdS-Ag та ін.) [1].

Пропонується ХЛ сенсор на основі плівкового покриття ZnS,CdS-Ag для визначення наднизьких концентрацій атомних часток Н та О в газових сумішах [2]. Пристрій сенсору дозволяє отримувати абсолютне значення щільностей потоків атомів, а також досліджувати та визначати інші властивості системи - поверхневий шар/газ та фізико-хімічних процесів на межі розділу фаз. Проведено апробацію зразка сенсора ZnS,CdS-Ag на основі ХЛ детектування концентрації атомних часток Н в плазмі. Проведено порівняльний аналіз калориметричного метода визначення щільностей потоків атомів Н (ізотермічно енергія реакції РРЛ дорівнює різниці електричних потужностей - $P_{реакции} = \Delta W = W_2 - W_1 = I_2 \cdot U_2 - I_1 \cdot U_1$, звідки можна дістати щільність потоку атомів Н) із пропонованим ХЛ детектуванням. В роботі визначено діапазони вимірюваних парціальних тисків атомів (10^8 - 10^{14} см⁻³), точність детектування та його відтворюваність.

1. Гранкін В.П. Хемилюминесценция поверхности ZnS – Tm; ZnS - CdS – Ag в атмосфере атомарного кислорода и водорода // *ЖПС*, **63**(3), С. 211 (1996).
2. Grankin V.P., Voloschuk S.A. Semiconductor chemiluminescent sensor for the determination of the particle pressure of atoms in the gases // *Photoelectronics, Inter-universities scientific articles*, 13, Odessa, pp. 8-11, (2004).

Сучасні діелектричні матеріали для формування нанометрових 3D-структур

Варцаб'юк А.Р., Вівчарук В.М., Мельник П.І.

*Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника,
Івано-Франківськ, Україна*

Для покращення характеристик сучасних мікроелектронних пристроїв з субмікронними та манометровими розмірами елементів важливим є питання електроізоляції елементів ІС. Це завдання можна вирішити завдяки використанню high-k-діелектриків (з діелектричною проникливістю до 2000). Використовуючи ці матеріали, можна досягти підвищення рівня інтеграції на 2-3 порядки та підвищивши таким чином густину елементів в сотні разів. Прикладами таких діелектриків є: Ta₂O₅, складні оксидні сполуки BaTiO₃, SrTiO₃, Ba(Sr)_{1-x}O₃.

В даній роботі на основі новітніх літературних даних та Інтернет-інформації проаналізовано сучасний стан та особливості формування тонких плівок діелектриків і шарів металізації для створення нанометрових 3D-елементів інтегральних схем та мікросистемної техніки.

Використання high-k-діелектриків в ІС дає можливість створення 3D-структур. У тому числі досить перспективним є створення 3-затворних транзисторів, для яких як під затворний діелектрик застосовують дані діелектрики з надвисокою діелектричною проникністю.

Найбільш перспективними методами одержання плівок таких діелектриків є плазмохімічні методи. Вони є низькотемпературними, що сильно розширює їх сферу застосування. Одним з таких методів є метод газофазного хімічного осадження, при якому матеріал формується на атомно-молекулярному рівні; він дозволяє досить широко керувати параметрами одержуваних плівок шляхом зміни параметрів і типу плазми.

Діагностику параметрів плівок проводять різними методами. Показник заломлення плівки вимірюють методом еліпсометрії, структуру плівок – методом рентгенофазового аналізу і електронної мікроскопії, а інформацію про типи хімічних зв'язків одержують методом інфрачервоної та фотоелектронної спектроскопії.

В роботі проаналізовано сучасний стан використання high-k-

діелектриків, досліджуються шляхи подальшого розвитку даної технології. Використання запропонованих матеріалів дозволяє значно зменшити розміри елементів інтегральних схем, знизити споживану потужність, підвищити їх надійність.

Модифікація нанорозмірних приповерхневих шарів $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ під дією імпульсного лазерного випромінювання

Гацкевич Є.І.¹, Захарук З.І.², Івлєв Г.Д.¹, Раренко Г.І.², Стребезев В.М.²

¹Інститут електроніки НАН Білорусії, Мінськ, Білорусь
²Чернівецький національний університет, Чернівці, Україна

Імпульсна лазерна обробка є ефективним методом цілеспрямованої зміни фізичних властивостей тонких поверхневих шарів напівпровідникових кристалів. Метою даної роботи було вивчення особливостей впливу імпульсного лазерного випромінювання (80 нс, $\lambda=0,69$ мкм) на поверхню кристалів $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ ($x=0\dots0,3$). Під час опромінення проводилася оптична діагностика теплофізичних процесів шляхом детектування відбитого від опромінюваної зони зондуючого випромінювання (ЗВ) із довжинами хвиль $\lambda_1=0,53$ мкм та $\lambda_2=1,06$ мкм. Ефекти лазерної дії на зразки досліджували методом растрової електронної мікроскопії (РЕМ) в режимі вторинних електронів.

Плавлення нанорозмірного приповерхневого шару зразків $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ ($x=0\dots0,2$) відбувалося при густинах енергій $E>0,1$ Дж/см². В цих зразках при опроміненні з $E=0,12$ Дж/см² залежність величини коефіцієнта відбивання від часу $R(t)$ на λ_1 має два максимуми, тоді як на λ_2 цього не спостерігається. Зростання R проявляється сильніше на λ_2 . Відмінність в динаміці $R(t)$ пов'язана з різними умовами інтерференції при відбиванні ЗВ від шаруватої системи, яка виникає при утворенні рідкої фази. Із збільшенням E немонотонність зміни $R(t)$ спостерігається тільки на λ_2 . При підвищенні густини енергії до $0,25$ Дж/см² спостерігається більш складна поведінка коефіцієнта відбивання зразків на λ_2 внаслідок більш глибокого проплавлення опромінюваного матеріалу та зміни умов інтерференції в шаруватій системі. Збільшення вмісту марганцю (параметра x) приводить при рівних величинах E до більшої тривалості τ фазових перетворень в зв'язку із зміною теплофізичних властивостей твердого розчину. Так, при $x=0,02$ та $0,2$ величини τ відрізняються більше, ніж на 200 нс.

В зразках складу $\text{Cd}_{0,7}\text{Mn}_{0,3}\text{Te}$ лазерне опромінення при $E\leq 0,28$ Дж/см² не змінює морфологію поверхні. Під час лазерної дії величина R на обох довжинах хвиль ЗВ не змінюється. Порогова густина енергії, при якій досягається плавлення поверхні, перевищує $0,35$ Дж/см².

РЕМ-аналіз лазерно-модифікованої поверхні зразків дозволив виявити орієнтовану ниткоподібну кристалізацію розплавленого шару на

окремих ділянках опроміненої зони.

Керований автоемісійний кремнієвий катод субмікронних розмірів на основі КНІ-структур

Голота В.І., Когут І.Т.

*Прикарпатський національний університет ім. Василя Стефаника,
Івано-Франківськ, Україна*

В останній час значна кількість робіт присвячена створенню матриць автоемісійних кремнієвих катодів для нових поколінь засобів відображення інформації, а також безмаскових літографій. Основною тенденцією, у створюваних емісійних катодах, є їх монолітна інтеграція зі схемами керування на одному кристалі з використанням базової КМОН-технології [1, 2]. Недоліком таких пристроїв є наявність багатьох паразитних ефектів та елементів. Наприклад, надмірні струми втрат, які є сумірними або більшими аніж струми емісії, невисока ступінь інтеграції, складна технологія виготовлення, що ускладнює їх практичну реалізацію.

В роботі приведені результати досліджень і комп'ютерного моделювання розробленого оригінального і перспективного елемента для таких пристроїв – керованого автоемісійного кремнієвого катоду субмікронних розмірів на основі КНІ-структур, який має суттєві переваги по стійкості до зовнішніх впливаючих факторів, а головне, стійкого до впливу власної емісії як на характеристики самого катоду, так і елементів керування. В основу технології виготовлення катоду покладено запатентований спосіб, згідно з яким методом подвійної літографії формуються субмікронні розміри структури типу “плівки” та “вікно” в плівці [3], а схему керування розроблено з використанням n-канального КНІ МОН-транзистора. Особливістю керування є те, що на експонований об'єкт подається загальний земляний потенціал, що вигідно відрізняється від аналогів, сигнали управління та емісії подаються окремими шинами, що спрощує реалізацію схем управління в складних системах на кристалі.

За результатами комп'ютерного моделювання технології виготовлення керованого катоду розроблено структуру активного елемента, спроектована топологія і технологія виготовлення, а також електрична схема управління катодом та еквівалентна схема заміщення, отримано перехідні характеристики системи керування в імпульсному режимі при різних параметрах і формах імпульсів.

1. Lee J.D., Nam J.H., Kwon H.I. and Park B.G. Design and fabrication of the driving circuits for one-chip FED on standard CMOS process. // *Journal of the Korean Physical Society*, **40**(4), pp. 592-594 (2002).

2. Bailor L.R., Lowndes D.H., Simpson M.L., Thomas C.E., Guillorn M.A., Merkylov V.I., Whealton J.H., Ellis E.D., Hensley D.K. and Melechko A.V. Digital electrostatic electron-beam array lithography. // *Journal Vac. Sci. Techol.* В **20(6)**, (2002).
3. Когут І.Т., Дружинін А.О., Голота В.І. Спосіб формування топологічних зображень мікроелектронних пристроїв. *Патент на корисну модель №18536*. Зареєстровано в Держ. реєстрі патентів України 15.11.06.

Прозорі провідні тонкоплівкові покриття на основі оксиду цинку

Горлей П.М.¹, Білічук С.В.¹, Голуб В.О.², Вовк А.Я.², Салюк О.Ю.²

*Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, Чернівці, Україна
Інститут магнетизму НАН України та МОН України, Київ, Україна*

До числа найбільш ефективних відносяться конструкції сонячних елементів, у яких широкозонний напівпровідник (наприклад, провідні плівки оксидів металів, зокрема, плівки SnO₂, In₂O₃, ZnO і ZnO:Al), розміщений з боку падаючого світлового потоку і є прозорим у всьому спектрі сонячного випромінювання. Крім цього, він виконує функції пасивуючого матеріалу для поверхні фотоактивного напівпровідника, де переважним чином генеруються нерівноважні носії заряду. Метою даної роботи було дослідження впливу технологічних режимів при магнетронному розпиленні на властивості осаджених плівок прозорих провідних оксидів. При цьому основну увагу приділено вивченню електричних і оптичних властивостей найбільш перспективного для виготовлення елементів оптичної та акустичної електроніки матеріалу - плівок ZnO і ZnO:Al.

Потужність, яка підводилася до катоду при високочастотному магнетронному розпиленні, змінювалася в інтервалі від 7,5 до 38 Вт. Швидкість осадження плівок знаходилася в межах 0,8 - 60 нм/хв. Товщина одержаних плівок оцінювалася за допомогою інтерференційного мікроскопа Цінніка МІИ - 4 і була різною в залежності від технологічних умов осадження (матеріалу мішені, тиску робочого газу в камері, потужності на катоді, температури підкладки, методу та часу напилювання).

Встановлено оптимальні технологічні режими одержання методом реактивного І високочастотного (у середовищі чистого аргону) магнетронного розпилення (якісних у електричному та оптичному розуміннях) плівок ZnO та ZnO:Al. Розроблено технологію виготовлення мішеней для катода із матеріалів: Zn та порошку ZnO, ZnO:Al. Виявлено, що незалежно від методу одержання плівки ZnO:Al є низькоомними на відміну від плівок нелегованого ZnO. Показано, що за допомогою підбору

технологічних умов одержання та легування можна суттєво зменшувати питомий опір плівок ZnO:Al до значень, які придатні для їх застосування при виготовленні ефективних гетероструктурних фотоперетворювачів.

Фотоелектричні властивості структур на основі Cd_{1-x}Mn_xTe, створених дією лазерного випромінювання

Ілащук М.І., Орлецький І.Г., Парфенюк О.А., Грицюк Б.М.,
Ульяницький К.С.

Чернівецький національний університет ім. Ю.Федьковича, Чернівці, Україна

Монокристали CdTe успішно застосовуються для виготовлення фотовольтаїчних елементів, приймачів інфрачервоного випромінювання, детекторів γ -частинок, тощо. Висока ефективність цих приладів визначається як параметрами матеріалу, так і технологією виготовлення бар'єрних структур, наявність яких в деяких випадках є необхідною. Додавання у ґратку CdTe магнітних іонів Mn значно розширює область його практичного використання, зокрема, в приладах „спінтроніки”.

Електричні р-n-переходи можуть бути отримані шляхом утворення інверсного шару на поверхні напівпровідника n-типу провідності внаслідок дії потужного лазерного випромінювання. Такі структури можуть мати велику площу, характеризуватися різким розподілом домішок в перехідній області та їх контрольованою глибиною залягання від поверхні.

У даній роботі наведено результати досліджень р-n-переходів, створених при опроміненні твердих розчинів Cd_{1-x}Mn_xTe (x=0,04) імпульсами лазерного випромінювання ($\lambda=0,694\mu\text{м}$) різної густини енергії.

Кристали, вирощені методом Бріджмена під контрольованим тиском пари кадмію (P=2атм), володіли n-типом провідності і мали такі електрофізичні параметри: $\sigma=4,5\text{Ом}^{-1}\cdot\text{см}^{-1}$; $n=3,8\cdot 10^{16}\text{см}^{-3}$; $\mu=720\text{см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$.

Випрямляючими властивостями володіли структури, створені при опроміненні густинами енергій в межах $6,02\div 11,0\text{ Дж}/\text{см}^2$. Досліджувані р-n-переходи були різкими. Висота потенціального бар'єру при T = 300К становила $0,7\div 0,8\text{ еВ}$, товщина при V=0В дорівнювала 0,2 та 0,8 $\mu\text{м}$ при E = 9,5 та E = 11,0 Дж/см², відповідно. Проходження носіїв заряду крізь бар'єр визначається генераційно-рекомбінаційними процесами в області просторового заряду з врахуванням можливості їх тунелювання при зворотних зміщеннях $|V| > 1\text{ В}$.

Створені бар'єрні структури були фоточутливими. При опроміненні, близькому за спектральним складом та інтенсивністю до сонячного, мали такі параметри: густину струму короткого замикання $I_{\text{кз}}=200\div 300\text{ мкА}/\text{см}^2$; напругу холостого ходу $V_{\text{хх}}=0,45\div 0,5\text{ В}$; фактор заповнення вольт-амперної характеристики $FF = 0,5\div 0,6$.

Проведені дослідження показали можливість виготовлення різких фоточутливих р-п-переходів на основі $Cd_{1-x}Mn_xTe$. Товщину перехідної області створених структур можна контролювати величиною потужності лазерного випромінювання.

Робота виконана при частковій підтримці УНТЦ (проект №3098)

Исследование вольтемкостных характеристик гетероструктур ZnO/CdS/CuInSe₂

Иванов В.А.¹, Гременок В.Ф.¹, Воробей А.В.¹, Залесский В.Б.²,
Леонова Т.П.²

¹*Объединенный институт физики твердого тела и полупроводников Национальной Академии Наук Беларуси*

²*Институт электроники Национальной Академии Наук Беларуси*

В современной фотоэнергетике особое внимание уделяется разработке дешевых высокоэффективных тонкопленочных солнечных элементов, которые в будущем смогут заменить монокристаллические кремниевые и арсенидгаллиевые элементы. Одним из конкурирующих материалов для изготовления солнечных элементов в настоящее время является прямозонное полупроводниковое соединение $CuInSe_2$. Благодаря своим физическим свойствам (ширина запрещенной зоны $E_g = 1,04$ эВ и большой коэффициент оптического поглощения $\alpha \sim 10^5$ см⁻¹) это соединение удачно подходит для использования его в качестве светопоглощающего слоя фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии.

В настоящей работе проведено при температурах 300К и 80К исследование вольтемкостных характеристик (ВЕХ) фоточувствительных пленочных гетероструктур $ZnO/CdS/CuInSe_2$.

Гетероструктуры были сформированы на стеклянной подложке, покрытой слоем молибдена, который являлся нижним контактом структуры. На слое молибдена в порядке очередности была сформирована пленочная структура $CuInSe_2/CdS/ZnO$. Измерение емкости проводилось на частоте 1 МГц. Освещение структуры монохроматическим светом с длиной волны $\lambda = 0,635$ мкм осуществлялось через верхний слой ZnO . Верхним электрическим контактом к структуре служили Al – площадки, расположенные на поверхности пленки ZnO .

Измерение вольтемкостных характеристик показало, что при температурах 300К и 80К зависимость емкости от обратного напряжения $C^{-2} = f(U)$ носит линейный характер, что свидетельствует о том, что гетеропереход является резким. При этом полученное из вольтемкостных характеристик значение напряжения отсечки (контактной разности потенциалов) равно $\varphi_k = 0,45$ В. Токовое напряжение отсечки, определенное из вольтамперных характеристик данных гетероструктур

составляло близкое значение $\varphi_k = 0,47$ В. При освещении и при уменьшении температуры емкость структуры уменьшалась. Рассчитана величина области объемного заряда гетероперехода в зависимости от температуры и освещения.

Концепція побудови інтегрованих мікросистем на основі КМОН БМК зі структурами кремній-на-ізоляторі

Когут І.Т.

*Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника,
Івано-Франківськ, Україна*

Розроблено концепцію побудови багатофункціональних інтегрованих мікросистем із МЕМС, сенсорних елементів (СЕ) та схем обробки інформації, реалізованих на програмованих змінними шарами матрицях КМОН базового матричного кристалу (БМК) зі структурами КНІ. Використання для цієї мети КНІ-структур, порівняно з іншими, напр., КМОН чи біполярними на об'ємному кремнії, як з точки зору параметрів пристроїв, особливо для екстремальних умов експлуатації, а також, як і конструкційного матеріалу для створення СЕ і можливостей їх інтеграції в мікро-системи, в т.ч. і монолітної, видається набагато перспективнішим.

Для цього розроблено і проводяться дослідження експериментальних КМОН КНІ БМК і СЕ в їх складі з наступною архітектурою: - центральна частина кристалу містить інформативні СЕ або їх окремі частини, що є доповненням до відповідних елементів в інших кристалах мікросистеми (рівень СЕ); - обрамлення периметру СЕ складають набори інтегральних аналогів радіокомпонентів для побудови ліній і кіл обробки первинної інформації; - по зовнішньому периметру КНІ БМК- контактні площадки та комірки вводу-виводу інформації для побудови буферних елементів та інтерфейсу зі стандартними рівнями КМОН і ТТЛ логіки. Універсальні буферні елементи дозволяють створення 3-х типів елементів: керовані вхід, вхід-вихід, вихід; - між зовнішнім периметром кристалу і периметром обрамлення СЕ розташовані рівні матриці накопичувача БМК - для аналогової, аналого-цифрової та цифрової обробки сигналів.

Для матриць БМК деталізовано архітектуру типу як «море некомутованих та ізольованих транзисторів», з яких для синтезу схем створено бібліотеку функціональних елементів, проведено їх комп'ютерне моделювання, а також моделі керованого затвором СЕ на р- і n- каналних КНІ МОН-транзисторах зі спільною підзатворною областю, і до затвору яких конструктивно послідовно інтегровані чутливі конденсаторні елементи у вигляді мембран, консолей, інерційних мас і т.п. або їх конструкція є інформативно-чутливою до змін характеристик зовнішнього діелектрика, напр., густини, зарядового стану чи потоку. На цій основі

можна реалізувати мікросистеми для реєстрацій тисків, температур, вібрацій, прискорень, магнітних полів, аналізу газів, рідин, потоків. За даною концепцією можливо розробка серії мікросистем за складністю, виконань як для нормальних, так і екстремальних умов експлуатації.

Структурные особенности силицидообразования при термообработке тонких слоев Ni/Pt на Si

Комаров Ф.Ф.¹, Мильчанин О.В.¹, Турцевич А.С.², Соловьев Я.А.²

¹ *Институт прикладных физических проблем им. А.Н.Севченко БГУ, г. Минск, Беларусь*

² *УП «Завод Транзистор» НПО «Интеграл», г. Минск, Беларусь*

При производстве силовых диодов Шоттки силицидам переходных металлов отводится исключительно важная роль. Одним из распространенных материалов данного класса является силицид платины, отличающийся большей высотой потенциального барьера с кремнием *n*-типа проводимости (0,82 В) и легкостью получения путем твердофазной реакции с кремнием. Отличительной особенностью изделий силовой электроники является большая площадь структуры, которая может достигать десятков квадратных миллиметров, что обуславливает значительные механические напряжения структур, полученных твердофазной реакцией с кремнием при термическом воздействии. Кроме того, граница раздела PtSi/Si данных контактов характеризуется неоднородностью структуры и электрофизических свойств по площади [1].

В работе исследованы структурно-морфологические особенности формирования границы раздела Si/PtSi путем твердофазной реакции тонких пленок Pt, а также тонкопленочных структур Ni/Pt, с монокристаллической подложкой кремния. Установлено, что, предложенный метод герметизации платины пленкой никеля, позволяет существенно улучшать однородность структуры и контактные свойства силицидного слоя PtSi.

1. Larrieu G., Dubois E., Wallart X., Baie X., Katcki J. Formation of platinum-based silicide contacts: Kinetics, stoichiometry, and current drive capabilities. // *J. Appl. Phys.*, **94**(12). pp. 7801-7810 (2003).

Радиационная нанотехнология изготовления гибридных структур тонкопленочного солнечного элемента

Конакова Р.В., Матвеева Л.А., Колядина Е.Ю., Нелюба П.Л.,
Шинкаренко В.В.

Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева НАН Украины, Киев, Украина

Для нанотехнологий и приборов электронной техники научный

интерес представляют гибридные структуры, состоящие из полимера и полупроводника. Включение фуллеренов в полимерную матрицу позволяет расширить функциональные возможности гибридных структур. При изготовлении солнечных элементов используются низкотемпературные полимерные технологии с учетом полупроводниковых свойств фуллеренов C_{60} .

Цель данной работы – исследование параметров омических контактов и качества поверхности и границ раздела в гибридных тонкопленочных структурах Au (Ti) – (полимерный композит с добавкой C_{60}) – Ti – подложка Si, а также управление их электронными свойствами посредством радиационной обработки. Нижний контакт структуры солнечного элемента толщиной 40 нм наносился на неподогретую подложку *n*-Si путем резистивного нагрева титановой проволоки в вакууме. Затем на поверхность титановой пленки равномерно распыляли и высушивали растворенную в толуоле смесь полимеров РСВМ и РЗНТ с добавкой фуллеренов C_{60} . Толщина полимерного слоя составляла 90 нм, а весовые отношения полимеров РСВМ:РЗНТ = 2:1. На полученную структуру через маски наносили золотые или титановые верхние контакты. Радиационная обработка структур солнечного элемента проводилась магнетронным микроволновым излучением с частотой 2,45 ГГц, мощностью $1,5 \text{ Вт} \cdot \text{см}^2$, длительностью 1 сек. Максимальное время облучения не превышало 10 сек.

Для определения омичности контактов к полимерному слою использовали четырехпроводный метод. Для оценки качества границ раздела Ti/Si и полимерного слоя применялась модуляционная спектроскопия дифференциального электроотражения, по результатам измерения которого определяли энергию оптического перехода, феноменологический параметр уширения спектра и энергетическое время релаксации возбужденных светом носителей заряда для подложки Si под слоем Ti до и после нанесения полимерного композита, а также для конверсионного полимерного слоя. В исходной структуре сопротивление контактов Au/полимерный слой существенно превышало сопротивление Ti/полимер. После каждой односекундной радиационной обработки их сопротивление уменьшалось, причем намного эффективнее для титановой металлизации по сравнению с золотой. Было зарегистрировано также улучшение качества других границ раздела в структуре солнечного элемента после радиационных обработок.

Полученные результаты объясняются с точки зрения радиационно-стимулированной интердиффузии на границах раздела под действием внутренних механически напряжений, их уменьшением после микроволнового облучения и структурным упорядочением границ раздела за счет образования карбида титана и $Ti_xO_yC_{60}$.

Структури, технологія та характеристики тонко-плівкових сегнетоелектричних запам'ятовуючих елементів

Мартинюк Я.В.¹, Верба О.А.¹, Клето Г.І.², Кругленко М.П.³

¹Національний технічний університет України «КПІ»

²Чернівецький національний університет

³Інститут ядерних досліджень НАН України

Використання тонких сегнетоелектричних плівок (ТСП) для створення запам'ятовуючих пристроїв є об'єктом досліджень в передових країнах світу на протязі останніх 15 років. Найбільш гострими проблемами в цьому напрямку є суміщення технології сегнетоелектричної плівки з традиційною технологією інтегральних схем, погодження напруги перемикачів поляризації плівки з рівнями стандартних напруг кремнієвих інтегральних схем (3-5 В), забезпечення при цьому достатнього рівня реорієнтаційної поляризації та швидкодії перемикачів.

Визначено склад ТСП для застосування в ЗЕ на основі цирконату-титанату свинцю (ЦТС) з високими значеннями залишкової поляризації, питомого опору, пробивної напруги, температури фазового переходу, а також допустимими значеннями діелектричної сталої та коерцитивного поля. Осадження ТСП проводилось методом плазмового діодного розпилення керамічної мішені складу ЦТС-19 в високочастотному (ВЧ) розряді та кисневому середовищі на кремнієві пластини з КМОН структурами. Запропоновано використання бар'єрного шару оксиду алюмінію між кремнієвою схемою та сегнетоелектричними ЗЕ.

Методом імпульсної переполіаризації отримано залежності реорієнтаційної залишкової поляризації, що є одним з основних параметрів ТСП, від складу та товщини плівки, температури, амплітуди і тривалості поляризації, частоти переполіаризації. Максимальне значення залишкової поляризації ТСП наближалось до значення спонтанної поляризації і складало близько 25 мкКл/см². При низьких полях і великих частотах значення залишкової поляризації складало лише 3...5 мкКл/см², що цілком достатньо для надійної роботи ЗЕ розмірами 1x1 мкм. Заряд перемикачів в цьому випадку складав $5 \cdot 10^{-14}$ Кл, а на ємності шини 1пФ виділявся вихідний сигнал $5 \cdot 10^{-2}$ В. Швидкодія перемикачів становила 30-40 нс при товщині ТСП 0,2 мкм і напрузі перемикачів 5 В.

Запропоновано структури ЗЕ як традиційні, так і нові [1,2] з неруйнівним зчитуванням без перемикачів поляризації.

Опрацьовано технологічний процес формування топології ЗЕ – травлення ТСП методом ВЧ магнетронного розпилення в аргонній плазмі. Досліджено режими травлення на частотах 13,56 та 0,44 МГц. Швидкість травлення складала відповідно 16 та 0,7-2,1 нм/хв.

Запропоновано та опрацьовано технологічний маршрут виготовлення сегнетоелектричних ЗЕ та пристроїв. Виготовлено тестові

зразки.

1. Самофалов К.Г., Мартинюк Я.В., Верба О.А. та ін. Сегнетоелектричний енергонезалежний запам'ятовуючий пристрій з неруйнівним зчитуванням. *Патент України №18752* від 15.11.2006 р., бюл. №11.
2. Мартинюк Я.В., Верба О.А., Скороход І.О. Довгостроковий запам'ятовуючий пристрій. *Заявка на патент України №А200614025* від 28.12.06 р.

Фізико – технологічні аспекти застосування спряжених полімерів в електрохромних пристроях

Польовий Д.О., Аксіментьєва О.І.

Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів, Україна

Принцип дії електрохромних пристроїв ґрунтується на явищі зміни забарвлення речовин під дією прикладеної напруги, подібно до рідкокристалічних систем. Однак фізична суть електрохромності дещо відмінна, оскільки пов'язана з оборотними змінами електронної структури матеріалу, спричиненими електрохімічними перетвореннями. Електрохромні властивості притаманні багатьом речовинам як органічного, так і неорганічного походження. Найбільш перспективними є спряжені полімери з власною електронною провідністю, отримані у вигляді щільної плівки на поверхні оптично прозорих електродів.

Типова конструкція електрохромного пристрою складається з двох скляних пластин, вкритих оксидами стануму та індію, на які наносять електрохромний шар. Простір між електродами заповнюють протонним електролітом. Для більш широкого застосування даних систем в засобах візуалізації (дисплеї, табло, індикатори) необхідно підвищити їх стабільність, контрастність, встановити оптимальні потенціали переключення, які забезпечать прийнятні оптичні та часові характеристики.

Досліджено електрооптичні властивості тонких плівок полі-о-толуїдину, полі-о-анізидину та поліаніліну, одержаних електрохімічною полімеризацією [1] та вакуумним напиленням [2] на поверхню станум (II) оксидних електродів. Методом імпедансної спектроскопії [3] визначено параметри електронного транспорту, зокрема, коефіцієнт дифузії електронів в плівці ($D=10^{-9}-10^{-10}$ см²/с), характеристичний час електрохромного переходу (0.1–0.3 с) при потенціалах переключення (E) від -0.2 до +0.2 В. На основі цих даних сконструйовано електрохромну комірку і досліджено частотні характеристики процесів забарвлення – знебарвлення, час релаксації і контрастність пристрою. Показано, що процеси забарвлення – знебарвлення не є симетричними явищами, що пов'язано з релаксацією структури полімерного ланцюга під дією поля.

1. Aksimentyeva O., Konopelnik O., Martyniuk G. // *Func. Mat.*, 11(2), P. 300, (2004).
2. Аксіментьєва О.І., Черпак В.В., Глушик І.П., Стахіра П.Й., Польовий Д.О. // *Сенсорна техніка*. 4(5), сс. 123-129 (2006).
3. Poliovyi D.O., Bahmatiuk B.P., Aksimentyeva O.I., Konopelnik O.I.. // *Int. Conf, "ICEPOM-6"*, Jalta, Cremea, Ukraine, 26-30 September 2006.- Abstracts, Nauk.Svit, pp.62-63 (2006).

Механізми фононного поглинання гіперзвуку в прямокутному квантовому дроті

Рувінський М.А.

*Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника,
Івано-Франківськ, Україна*

Для випадку прямокутного квантового дроту розглянуто механізми процесів Ландау-Румера і двофононного розпаду звукових квантів. Розраховано коефіцієнти поглинання обмежених акустичних фононів гіперзвуку найнижчої гібридної ширинної моди для дроту GaAs з вільною поверхнею і різними поперечними розмірами. Проведено порівняння фононного і електронного [1] механізмів поглинання гіперзвуку в прямокутному дроті і безмежному твердому тілі. Врахування кубічного ангармонізму у дроті призводить у граничному випадку низьких температур до експоненціальної температурної залежності поглинання гіперзвуку для процесу Ландау-Румера і переважаючого поглинання за рахунок розпадного процесу з пониженням степеня його частотної залежності до ω^4 на відміну від закону ω^5 для тривимірної речовини.

Поглинання гіперзвуку за механізмами Ландау-Румера і двофононного розпаду в прямокутному квантовому дроті суттєво визначається квантово-розмірними ефектами, що обумовлено характерними особливостями гібридних обмежених акустичних фононів. Отримані спектральні і температурні залежності фононного поглинання гіперзвуку найнижчої моди в прямокутному квантовому дроті свідчать про зменшення поглинання у низькотемпературній області і переважання механізму двофононного розпаду при $\Theta \ll \hbar\omega$. При достатньо високих температурах домінує фононний механізм поглинання у прямокутному квантовому дроті GaAs, а при низьких температурах слід враховувати для виродженого квантового дроту електронне поглинання [1] і двофононний розпад.

1. Рувінський М.А., Остафійчук Б.К., Рувінський Б.М. // *Металлофиз. новейших технолог.* 27(8), с. 1075 (2005).

Вплив непружних електронних переходів на поглинання і підсилення гіперзвуку в прямокутному квантовому дроті

Рувінський Б.М.

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
Івано-Франківськ, Україна*

В роботі досліджено механізм електронного поглинання і підсилення гіперзвуку в прямокутному дроті, пов'язаний з міжканальними квантовими переходами, тобто з участю збуджених станів поперечного руху електронів дроту.

Для високочастотного звуку поглинання розглядається як процес абсорбції електронами обмежених акустичних фононів гіперзвуку, який поширюється вздовж осі дроту з хвильовим вектором γ . Це відповідає випадку, коли $\gamma\ell \ll 1$, де ℓ – середня довжина вільного пробігу електрона в напрямку осі дроту. Для найнижчої "ширинної" моди гіперзвуку і напрямку $\gamma \parallel [001]$ поглинання зумовлене лише деформаційною електрон-фононною взаємодією [1] з екрануванням носіями заряду при розмірному квантуванні електронів і фононів дроту. Визначено коефіцієнт поглинання найнижчої ширинної моди гіперзвуку при врахуванні непружних електронних переходів $|n, k\rangle \leftrightarrow |m, k'\rangle$ для невиродженої статистики носіїв струму в напівпровідниковому квантовому дроті. Детально розглянуто випадок квантового переходу між двома сусідніми найнижчими станами електрона з різницею енергій Δ . У граничному випадку низьких температур поглинання і випромінювання гіперзвуку на цьому переході має квазірезонансний характер з максимумом на частотах

$$\omega^\pm \approx \omega_{0\gamma} \left(1 \pm \frac{\hbar\omega_{0\gamma}}{2\Delta} \right),$$

(де верхній знак відповідає поглинанню, а нижній – випромінюванню),

$$\omega_{0\gamma} = (2m^* c_\gamma^2 \Delta)^{1/2} / \hbar,$$

m^* – ефективна маса електрона, c_γ – фазова швидкість звуку.

Визначено ту ступінь інверсної заселеності електронами двох різних найнижчих квантових "каналів", при якій підсилення звуку електронами вищого каналу переважає над його ослабленням в основному каналі. Показано, що механізм непружних переходів електронів може дати істотний внесок в поглинання і підсилення гіперзвуку в прямокутному квантовому дроті. При цьому квантово-розмірні ефекти визначають спектральні характеристики поширення гіперзвуку в невиродженому дроті.

1. SeGi Yu, Kim K.W., Strosio M.A., Iafate G.F., Ballato A. // *Phys.Rev.B.* **50**(3), P. 1733 (1994).

Поглинання і підсилення гіперзвуку при наявності електричного поля в прямокутному квантовому дроті

Рувінський Б.М.

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
Івано-Франківськ, Україна*

Метою роботи є теоретичне дослідження впливу постійного і однорідного електричного поля, напрямленого вздовж осі прямокутного квантового дроту, на поглинання і з'ясування можливості підсилення гіперзвуку з врахуванням квантово-розмірних ефектів для електронів і фононів дроту, включаючи відмінність електрон-фононної взаємодії та її екранування від об'ємного випадку масивних кристалів. Розглянуто модель [1] прямокутного дроту з вільною поверхнею і поперечними розмірами, обмеженими потенціальною ямою з нескінченно високими стінками. Включення постійного і однорідного електричного поля $E_z \equiv E$ викликає дрейф вільних носіїв вздовж осі дроту. Крім зовнішнього електричного поля, дрейф може бути викликаний також утворенням градієнта температури вздовж осі дроту. Тоді $E = \alpha_T (\partial T / \partial z)$, де α_T – диференціальна термо-е.р.с.

Показано, що під дією електричного поля можливим є підсилення гіперзвуку в прямокутному квантовому дроті при звичайній умові, коли дрейфова швидкість електронів перевищує фазову швидкість гіперзвуку. При цьому квантово-розмірні ефекти в значній мірі визначають основні характеристики підсилення. Чисельні результати наведено для дроту GaAs з різними поперечними розмірами. На рис.1 представлено залежність від електричного поля коефіцієнта електронного поглинання $\alpha_w(x_d)$ найнижчої "ширинної" моди [1] гіперзвуку частоти $\omega_\gamma = c_\gamma \gamma$ при $\gamma = 1 \cdot 10^6 \text{ см}^{-1}$,

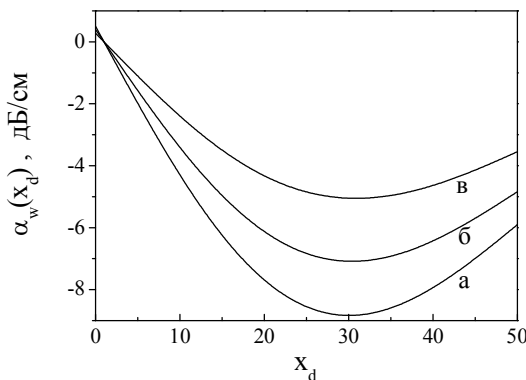


Рис. 1

50 Å × 150 Å і в) 100 Å × 200 Å.

Отримані результати свідчать про можливості квантового напів-

температурі $T = 77\text{K}$ і концентрації електронів $n = 10^{14} \text{ см}^{-3}$ (γ – складова хвильового вектора в напрямку осі дроту, c_γ – фазова швидкість звуку, $x_d = (v_d / c_\gamma) \propto E$, v_d – дрейфова швидкість електронів).
Рис.1 відповідає невідродженому дроту GaAs з поперечними розмірами: а) $28.3 \text{ Å} \times 56.6 \text{ Å}$, б)

провідникового дроту як акустичного підсилювача в електричному полі.

1. Рувінський М.А., Остафійчук Б.К., Рувінський Б.М. // *Металлофіз. новіших технолог.* 27(8), с. 1075 (2005).

Властивості гетероструктур CdS/CIGS виготовлених магнетронним розпиленням

Хомяк В.В., Білічук С.В.

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, м. Чернівці, Україна

Створення тонкоплівкових фотоелектричних перетворювачів (ФЕП) на основі сполук CuInSe_2 (CIS) і Cu(In,Ga)Se_2 (CIGS) є однією з альтернатив ФЕП на основі монокристалічного кремнію, які широко використовуються в різних умовах. Коефіцієнт корисної дії (к.к.д.) кращих лабораторних поодиноких зразків перетворювачів на основі CIGS отриманого методом термічного випаровування з кількох незалежних джерел досягає 18%, що конкурує з к.к.д. промислових монокристалічних кремнієвих ФЕП. Однак така технологія потребує постійного контролю співвідношення парових потоків для осадження шарів заданого складу, в зв'язку з чим її важко адаптувати для промислового виробництва. Однією з таких перспективних технологій нанесення тонких шарів ФЕП на основі CIGS є магнетронне розпилення.

В роботі наведено результати технологічних досліджень створення ФЕП на основі базового шару CIGS методом магнетронного розпилення. Створено два варіанти ФЕП – Mo/CIGS/CdS/TCO та TCO/CdS/CIGS/Mo , де TCO – прозорий провідний шар оксиду металу. Аналізуються переваги і недоліки кожного із запропонованих варіантів. Другий варіант, при застосуванні магнетронного розпилення дозволяє істотно зменшити температуру осадження базових шарів CIGS приладової якості в порівнянні з технологією термічного випаровування, що дозволяє знизити енергоємність процесу виготовлення ФЕП і є перспективою для створення шарів на полімерній основі.

Досліджено вольт-амперні характеристики (ВАХ) створених гетероструктур з різними прозорими провідними оксидними покриттями (SnO_2 , ITO, CdO , ZnO:Al) і визначені механізми струмопереносу, струми короткого замикання і напруги холостого ходу. Проаналізовано вплив товщини шару сульфід кадмію на ефективність роботи ФЕП.

Тонкоплівкові сенсори на основі органічних напівпровідників для моніторингу свіжості харчових продуктів

Чохань М.І., Ціж Б.Р., Аксіментьєва О.І., Конопельник О.І.

¹*Львівська національна академія ветеринарної медицини імені І.З.Гжицького, Львів, Україна*

²*Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів, Україна*

При зберіганні харчової продукції (молочні, м'ясні, рибні вироби) можуть відбуватись зміни як фізико-хімічних властивостей (рН, температури, кольору), так і виділення газоподібних речовин (аміак, сірководень, оксиди азоту та ін.). У зв'язку з цим виникає особлива потреба у моніторингу якості продуктів тваринництва у процесі їх зберігання і переробки.

На даний час існує велика кількість електронних сенсорних пристроїв, призначених для визначення різних газів. Як правило, це сенсори резистивного типу, або електрохімічні газові сенсори. Перспективним є використання оптичних сенсорів, оскільки вони не вимагають зовнішнього електричного сигналу, а їх оптичний відгук можна передавати із застосуванням волоконо-оптичних систем. Цікавими сенсорними матеріалами є органічні напівпровідники – молекулярні кристали та спряжені електропровідні полімери.

Для моніторингу якості продуктів тваринництва нами запропоновано використання сенсорних матеріалів на основі органічних напівпровідників, зокрема, пентацену, поліаніліну та його похідних. Показано, що оптичні спектри тонких шарів пентацену, отриманих методом вакуумного напилення на прозорі носії, чутливі до зміни концентрації аміаку на довжинах хвилі 625, 675 та 765 нм. Для тонких плівок поліаніліну, отриманих методом електроосадження, найбільш чутливою є смуга в області 650-720 нм. При подачі аміаку в камеру відбувається різка зміна не тільки оптичної прозорості, але й кольору плівки, що використано для конструювання кольорового індикатора свіжості.

Використання хімічного травлення для виготовлення ферогранатових плівкових елементів

Ющук С.І., Юр'єв С.О., Костюк П.С., Ніколайчук В.Й.

Національний університет "Львівська політехніка, Львів, Україна

Епітаксійні плівки ферогранатів є перспективним матеріалом для пристроїв електроніки, працюючих на нових фізичних принципах. При цьому доводиться виготовляти плівкові ферогранатові елементи (ФЕ) з різними формами і розмірами. При виготовленні ФЕ з допомогою

ультразвукового або механічного різання виникає дефектність по його периметру, яка негативно впливає на параметри сенсора при вимірюванні високочастотних змінних магнітних полів.

В данній роботі досліджені процеси хімічного травлення епітаксійних плівок залізо-ітрієвого гранату $Y_3Fe_5O_{12}$ (ЗІГ) і ЗІГ заміщеного $(Y, Sm, Lu, Ca)_3(Fe, Ge)_5O_{12}$ гранатів, нанесення локальних захисних покриттів на поверхню ферогранатової плівки і формування з неї ферогранатових елементів діаметром 0,5...3 мм. Плівки вирощували методом рідкофазної епітаксії на підкладках з монокристалла $Gd_3Ga_5O_{12}$ орієнтації (111). Відсутність рельєфу по периметру ФЕ контролювали з допомогою феромагнітного резонансу.

Травлення ферогранатових плівок проводили в 85% розчині ортофосфорної кислоти в інтервалі температур 60...175°C. Отримані залежності товщини ЗІГ і ЗІГ- заміщених плівок від часу травлення при різних температурах. В температурному інтервалі 125...165 °C швидкості травлення для ЗІГ – плівок становили 0,052...0,296 мкм/хв., для ЗІГ – заміщених – 0,063...0,470 мкм/хв. Найкраща якість ФЕ отримується при температурах травлення 145...155 °C.

При виготовленні ФЕ використовують стандартний метод, що полягає в нанесенні на ферогранатову плівку діелектричного шару SiO_2 товщиною 0,5 мкм і формуванні в ньому з допомогою фотолітографії рисунка певної конфігурації, утворенні вікон в діелектричному шарі і витравлюванні незахищених ділянок фериту гарячою ортофосфорною кислотою.

Встановлено, що застосування в якості захисних покриттів – масок при хімічному травленні, силіконового клею ПМС-200 і фоторезиста ФП-383 є більш простою і дешевшою альтернативою до діелектрика SiO_2 без пониження якості ферогранатових елементів.

Fabrication of thermally stable ohmic contacts for wide band-gap GaN and SiC semiconductors

Kuchuk A.V.¹, Kladko V.P.¹, Lytvyn O.S.¹, Piotrowska A.², Kaminska E.²,
Minikayev R.A.³, Ratajczak R.⁴

¹*V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev, Ukraine*

²*Institute of Electron Technology, Warsaw, Poland*

³*Institute of Physics, Polish Academy of Sciences, Warsaw, Poland*

⁴*The Andrzej Soltan Institute for Nuclear Studies, Warsaw, Poland*

Recently, great interest both for science and for industry exists, to the wide band-gap semiconductors, such as SiC and GaN, due to their unique material properties (see Table). These properties enable the making a wide

variety of high power, high temperature and high frequency semiconductor devices.

High quality ohmic metallizations with low contact resistance, high thermal stability, high uniformity over the area of the contact, and a reliable long-life operation are crucial to fully exploit the potential of GaN-, SiC-based devices. Therefore, to achieve suitable contacts is to use multilevel metallization schemes: 1) metal which form ohmic contacts with semiconductors; 2) and high temperature stable thin film diffusion barriers.

In this study, Au/Pd-based contact to p-GaN and Ni/Si-based contact to n-SiC, with intermediated Ta-Si-N diffusion barrier is presented. Ohmic contact resistance measurements combined with X-ray diffraction (XRD), Rutherford backscattering spectrometry (RBS) and Atomic Force Microscopy (AFM) will be presented to evaluate the performance of ohmic contacts.

We show, that Au(130nm)/Pd(20nm) form ohmic contact ($r_c \sim 1 \text{ m}\Omega\cdot\text{cm}^2$) with p-GaN:Mg ($p = 3\cdot 10^{17} \text{ at/cm}^3$) after heat treatment at 300°C (N_2 , 3 min.). However, annealing of structure at high temperature ($\geq 500^\circ\text{C}$) indicate the contact degradation. Nanocomposite $\text{Ta}_{34}\text{Si}_{25}\text{N}_{41}$ diffusion barrier (DF) prevent interdiffusion of neighboring metallization layers in Au/DB/AuPd/GaN up to 800°C . Nickel silicides (Ni_2Si , NiSi , NiSi_2) was selected for formation of ohmic contact to n-SiC.

Physical properties of GaN and SiC semiconductors

	Band gap E_g , eV	Breakdown field E_{cr} , 10^6 V/cm	Electron drift velocity V_{sat} , 10^7 cm/s	Thermal conductivity λ , $\text{W/cm } ^\circ\text{C}$
GaN	~ 3.4	> 1	2.2	1.3
SiC	~ 3.0	3-5	2.0	3.7-4.9

Acknowledgements. The work was supported by INTAS (Grant Ref. Nr 06-100014-5957) and partially by NATO (Grant Ref. Nr NUKR.RIG 981275).

ЗМІСТ

ПЛЕНАРНІ ДОПОВІДІ PLENARY SESSIONS

Алиев И.И., Бабанлы М.Б., Фарзалиев А.А. <i>Оптические и фотоэлектрические свойства тонких пленок стекол $(As_2Se_3)_{1-x}(TeSe)_x$ ($x = 0,05 - 0,10$)</i>	8
Анатичук Л.І., Разіньков В.В. <i>Швидкодіючі термоелектричні плівкові приймачі випромінювання підвищеної чутливості</i>	9
Беркутов И.Б., Комник Ю.Ф., Андриевский В.В., Миронов О.А., Волл Т. <i>Магнитоквантовые осцилляции и квантовые интерференционные эффекты в 2D системах (на примере $Si_{1-x}Ge_x$ квантовых ям p-типа)</i>	9
Бойко Б.Т., Хрипунов Г.С. <i>Двосторонньо фоточутливі тонкоплівкові сонячні елементи на основі телуриду кадмію</i>	11
Бойчук В.І., Білинський І.В., Шаклеїна І.О. <i>Коефіцієнт відбивання для одновимірної тришарової гетероструктури</i>	13
Буджак Я.С. <i>До питання про кореляційні залежності кінетичних властивостей тонких плівок від їх товщини</i>	14
Волошко С.М., Макогон Ю.М., Сидоренко С.І., Павлова О.П., Замулко С.О., Червоний С.В. <i>Формування силіцидних фаз при реакційній дифузії в системі шар $Ti(30\text{ нм})$ - монокристалічний $Si(100)$</i>	15
Вуйчик М.В., Білевич Є.О., Апатська М.В., Смолій М.І., Цибрій З.Ф., Сизов Ф.Ф. <i>Формування напівпровідникових низькорозмірних структур на основі сполук типу II-VI та IV-VI методом „гарячої стінки”</i>	16
Гладких Н.Т., Крышталь А.П., Сухов В.Н. <i>Диффузия, плавление – кристаллизация и процессы самоорганизации при формировании островковых структур в слоистых пленочных системах</i>	17
Горлей П.М., Білічук С.В., Голуб В.О., Вовк А.Я., Салюк О.Ю. <i>Прозорі провідні тонкоплівкові покриття на основі оксиду цинку</i>	18
Даниленко Н.И., Фирстов С.А. <i>Применение аналитической электронной микроскопии при изучении наноматериалов (Институт проблем материаловедения НАН Украины, Киев, Украина)</i>	19
Дмитрук М.Л., Коровін О.В., Кондратенко О.С. <i>Тонкі металеві плівки як основа сучасної фотоніки – наноплазмоніки</i>	20
Дружинін А.О., Мар’ямова І.Й., Ховерко Ю.М., Когут І.Т. <i>Шари полікремнію на ізоляторі як чутливі елементи сенсорів криогенних температур</i>	22
Зауличний Я.В. <i>Рентгеноспектральне вивчення енергетичного перерозподілу валентних електронів і методи оцінки зміни зонної енергії матеріалів внаслідок їх диспергування до нанорозмірів</i>	23
Заячук Д.М., Круковський С.І., Мрихін І.О., Михащук Ю.С. <i>Домішки в технології РФЕ тонких плівок $A^{III}B^V$</i>	24
Зінченко В.Ф., Соболев В.П., Кочерба Г.І., Тімухін Є.В. <i>Оптичні та експлуатаційні властивості тонкоплівкових систем інтерференційної оптики</i>	25
Жуковски П., Колтунович Т., Венгерэк П., Партыка Я., Комаров Ф.Ф., Власукова Л.А. <i>Температурные и частотные зависимости проводимости GaAs облученного высокоэнергетическими ионами Au</i>	27

Игнатенко П.И., Гончаров А.А., Терпий Д.Н., Кляхина Н.А. <i>Физика и технология получения пленочных соединений на основе переходных металлов</i>	29
Козицький С. В. <i>Особливості люмінесценції легованих полікристалів ZnS-Mn, отриманих методом самопоширюваного високотемпературного синтезу</i>	30
Косевич В.М., Багмут А.Г. <i>Аморфные пленки Au-O: получение, структура, естественное старение и кристаллизация (</i>	31
Корбутяк Д.В., Калитчук С.М. <i>Світловипромінюючі пристрої на основі квантових точок A_2B_6</i>	32
Литвин П.М., Литвин О.С., Прокопенко І.В. <i>Визначення локальних механічних характеристик наноструктур методами зондової мікроскопії</i>	33
Маршалек М., Одноворець Л., Проценко І., Чешко І. <i>Концентраційна залежність параметра решітки ГЦК-твердого розчину в плівках на основі Co і Si</i>	34
Матвєєва Л.О. <i>Електровідбивання світла в фізиці і технології тонких плівок (Інститут фізики напівпровідників НАН України, Київ, Україна)</i>	35
Миронюк І.Ф., Остафійчук Б.К., Коцюбинський В.О., Ільницький Р.В., Челядин В.Л., Гергель Т.В. <i>Будова та жаротривкість наночастинок діоксиду титану</i>	37
Овандер Л.Н., Шадура В.А. <i>Особенности комбинационного рассеяния в тонких пленках</i>	39
Островська Л.Ю. <i>Капілярні властивості наноструктурних тонких плівок вуглецю</i>	40
Птащенко О.О., Птащенко Ф.О., Ємець О.В. <i>Кремнієві p-n переходи як газові сенсори</i>	41
Середа Б.П., Кругляк И.В. <i>Получение силицированных покрытий в условиях СВС</i>	42
Сидоренко С.І., Ту К-Н., Макогон Ю.М., Павлова О.П., Вербицька Т.І., Мохорт В.А., Нестеренко Ю.В., Тернавських А.Г. <i>Фазоутворення в плівковій композиції Ti(200 нм)/Cu(200 нм)/Ti(100 нм)/SiO₂(370 нм) на монокристалічному кремнії (001</i>	43
Сукач Г.О., Ревенко А.С., Кідалов В.В. <i>Підкладки для епітаксійного вирощування тонких плівок GaN</i>	44
Стасюк І.В., Величко О.В., Мисакович Т.С. <i>Теоретичний опис інтеркальованих металами напівпровідникових кристалів</i>	46
Стасюк З.В. <i>Балістичний перенос заряду в тонких плівках металів</i>	46
Ткач М., Маханець О., Грищук А. <i>Електрони, екситони і фонони у шестикутних нанотрубках</i>	48
Томашик В.М., Іваніцька В.Г., Томашик З.Ф., Фейчук П.І., Моравец П., Франц Я. <i>Особливості хімічного травлення монокристалів CdTe різної кристаліграфічної орієнтації розчинами на основі I₂ та H₂O₂-HI</i>	49
Точицький Э.И. <i>Алмазоподобные углеродные пленки полученные из импульсных потоков катодно дуговой плазмы: структура, свойства, применение</i>	52
Фодчук И.М. <i>Особенности двух- и многоволновой дифракции рентгеновских лучей в наноразмерных многослойных системах</i>	53
Фреїк Д.М. <i>Особливості явищ переносу в тонких напівпровідникових плівках</i>	54
Чуйко Г.П., Мартинюк В.В. <i>Можливість застосування моделі Кілдал для «товстих» плівок</i>	55

Шелудько Е.В., Ковтун Г.А., Цыпина О.Н. Синтез и исследование фторсодержащих плёнок Ленгмюра-Блоджетт на основе полиимидов и полиамидоимидов	57
Шпилевский Э.М. <u>Фуллерены и углеродные нанотрубки в плёночных структурах</u>	58
Шпак А.П., Шевченко А.Б., Куницкий Ю.А. Квантове тунелювання лінії блоха в тонких магнітних плівках з одноосною магнітною анізотропією	59
Ющенко А.В., Рибак В.В., Ільченко В.В. Особливості ВАХ структури Al - наноплівка CeO ₂ -Al	60
Abu Tair G., Shabat M., Abadla M.M., El-Khozondar H.H.J. Thermal-stress effects on nonlinear thin film waveguide sensors	61
Dzhagan V.M., Valakh M.Ya., Raevskaya A.E., Stroyuk A.L., Kuchmiy S.Ya., Zahn D.R.T., Schulze S. Optical properties of CdS- AND ZnS-passivated CdSe quantum dots in gelatin films	62
Grigonis A., Medvid A., Rutkūniene Ž., Tribandis D., Laurikaitiene J. Laser pulse irradiation of amorphous diamond-like carbon films	63
Gurevich Yu.G., Logvinov G. N., Titov O.Yu. Excess of nonequilibrium charge carriers due to heating by electric fields in thin films	64
Komarov F., Vlasukova L., Milchanin O., Wesch W., Kamarou A., Grechnyi S., Mudryi A., Ivaniukovich A. Properties of InAs nanoclusters formed in Si by high-fluence ion implantation	64
Konopelnyk O.I., Aksimentyeva O., Tsizh B.R., Chokhan M.I. Physical and technological properties of the sensor materials based on conjugated polyaminoarenes	65
Lashkarev G.V. Nanostructured Thin Films based on A ^{II} B ^{VI} , A ^{III} B ^{VI} and A ^{IV} B ^{VI} Semiconductors	66
Lisauskas V., Vengalis B., Šliužienė K., Butkutė R. Nonlinear electrical properties of p-n heterostructures based on ferromagnetic Fe ₃ O ₄	68
Litovchenko V.G. Stimulated self-aligned technology fabrication of the thin films with imbedded semiconductor nanocrystals	68
Mar'yan M.I., Szasz A. Hyper sensibility of the dissipative structures and self-organizing processes in non-crystalline materials	70
Palistrant N., Bivol V., Robu S., Barbu N. Investigation of physical properties of polymer composition layes on the base of aminostirole	71
Rogacheva E.I., Dresselhaus M.S. Effect of near-surface oxidation on transport properties of IV-VI thin films	72
Savchuk V., Kotlyarchuk B., Lesyuk R. New progress in laser technologies for designing semiconductor nanostructures	73
Shiptyak M., Kikineshi A., Beke D., Sangunni K. Amorphous chalcogenide nanomultilayers for photonics	74
Todoran R., Todoran D. The optical parameters of the organic thin films for the xanthats adsorption at the surface of some natural semiconductor mineral	75

Секція 1

Технологія тонких плівок (метали, напівпровідники, діелектрики, провідні полімери) і методи їх дослідження
(усні доповіді)

Session 1

Thin films technology (metals, semiconductors, dielectrics, conductive polymers) and their research methods
(oral)

Андрєєва А.Ф., Касумов А.М. Деякі властивості наноплівки $KNbO_3$	76
Баловсяк С.В., Фодчук И.М. Использование искусственных нейронных сетей для определения параметров нанорельефа поверхности полупроводников за данными метода полного внешнего отражения рентгеновских лучей	77
Бекиш Ю.Н., Цыбульская Л.С., Гаевская Т.В. Получение и исследование нанокристаллических и аморфных борсодержащих пленок на основе никеля	78
Білозерцева В.І., Гаман Д.О., Дяковенко Н.Л., Мамалуй А.О., Хляп Г.М. Одержання і властивості тонких плівок $NaBiTe_2$	79
Бригова А., Пазуха І., Проценко І., Синашенко О. Методика визначення впливу зовнішніх і внутрішніх меж поділу на параметри електроперенесення та електрофізичні властивості плівкових матеріалів	80
Вірт І.С., Шкумбатюк Т.П., Курило І.В., Рудий І.О., Линник Л.Ф. Структурні властивості тонких плівок Bi_2Te_3 і Sb_2Te_3	81
Голтв'янський Ю.В., Мачулін В.Ф., Оліх Я.М., Попов В.Г., Романюк Б.М. Поліпшення фоточутливості Si – сенсорів, виготовлених методом акустостимульованої імплантації йонів B^+ та As^+	82
Горлей П.М., Хомяк В.В. Властивості плівок $ZnMnO$ отриманих магнетронним розпиленням	83
Дивакова Н.А., Логачева В.А., Ховив А.М., Тихонова Ю.А. Механізм оксидирования тонких пленок ниобия	84
Задорожний В.Г., Поліщук С.Г., Кобрін В.Л., Кейбал О.О. Отримання тонких полімерних плівок осадженням у вакуумі	85
Зломанов В.П., Межиловская Л.И., Френк Д.М. Кристаллохимия и инженерия точечных дефектов в технологии кристаллов и пленок соединений $A^{II}B^{VI}$	86
Іваницький В.П. Нові методичні підходи дослідження структури аморфних речовин	87
Ковальчук М.Л., Колісник М.Г., Косенков Є.М., Раренко А.І., Склярчук В.М., Склярчук О.Ф. Електричні, оптичні та фотоелектричні властивості монокристалічної структури $HgMnInGaTe$	88
Крупко О.В., Волощук А.Г., Щербак Л.П. Термодинаміка і кінетика хімічного осадження плівок MnS	89
Кудрик Я.Я. Исследование влияния микроволнового излучения на сопротивление омических контактов $GaAs-Ge-Au$	90
Микитин І.М., Курта С.А. Будова реакційних центрів на поверхні дисперсного $\gamma-Al_2O_3$ з нанесеними хлоридами міді	91
Новиков С.Н., Федоров Д.Г., Гевик В.Б., Фодчук И.М. Дифрактофотография дислокационных петель и их комплексов в кристаллах	92

Панасюк О.А., Баглюк Г.А., Маслюк В.А., Апининская Л.М., Вергелес Н.М., Власова О.В. <i>Химическое восстановление как один из методов получения покрытий на порошках металлов и неметаллов</i>	93
Пилипів В.М., Коцюбинський В.О., Григорук О.О. <i>Термостимульоване відновлення магнітної мікроструктури приповерхневого шару епітаксійних плівок залізо-ітрієвого гранату імплантованих іонами фосфору</i>	95
Попович Д.І., Котлярчук Б.К., Павлюк В.С., Середняцький А.С. <i>Особливості структури і фотолюмінісцентних властивостей тонких шарів нітриду галію одержаних з допомогою лазера</i>	96
Проценко С.І. <i>Автоматизований лабораторний комплекс для вимірювання динамічних і статичних тензорезистивних характеристик пліткових матеріалів</i>	97
Рогозин И.В., Мараховский А.В. <i>Структурные и люминесцентные свойства пленок ZnO полученных оксидированием цинк содержащих соединений группы A^2B^5</i>	99
Савельєва І.С., Єфанов О.М., Кладько В.П., Мачулін В.Ф. <i>Новий підхід до діагностики параметрів багатощарових надграткових структур</i>	100
Старчак В.Г., Грузнова С.В., Олексієнко С.О., Буяльська Н.П. <i>Запобігання водневої деградації металів наномасштабним поверхневим металохелатуванням</i>	101
Сухочев А.С., Томина Е.В., Мещерякова Е.К. <i>Наноразмерные эффекты в процессе термического окисления гетероструктур «металл/GaAs»</i>	103
Теребінська М.І., Лобанов В.В. <i>Дисоціативна адсорбція молекули води на нерелаксованих гранях (111) та (100) кристалічного силіцію</i>	104
Фреїк Д.М., Малашкевич Г.Є., Гридчук М.Я., Насипайко О.В. <i>Синтез нанокристалів і гранульованих плівок напівпровідникових сполук, осажденням пари газодинамічного потоку</i>	105
Хандожко О.Г., Ластівка Г.І., Ковалюк З.Д., Слинько Є.І. <i>Аксіальне кристалічне поле і політипи в GaSe</i>	106
Ходаківський В.В., Москвін П.П. <i>Термодинаміка керування процесом рідкофазової епітаксії шарів твердих розчинів $Cd_xHg_{1-x}Te$</i>	107
Шинкаренко В.В. <i>Модификация электрофизических параметров МДП структур с тонким диэлектриком Ta_2O_5 кратковременным СВЧ отжигом</i>	108
Golub V., Danilevich A., Vovk A., Malkinski L., Yu M. <i>Microwave absorption of patterned arrays of Permalloy nano-strips with different aspect ratios</i>	109
Grebenyuk A.G. <i>Principles of quantum chemical simulating two-dimensional structures of inorganic compounds</i>	110
Demianenko E.M., Grebenyuk A.G. <i>Quantum chemical study on the formation of high-molecular products of thionine chloride thermal destruction on silica surface</i>	111
Lisovsky I.P., Litovchenko V.G., Evtukh A.A., Muravska M.V., Voitovyh V.V., Manojlov E.G. <i>Effect of radiation-induced ordering in structures with nanocrystalline silicon</i>	112
Shaginyan L.R. <i>Novel Model for Film Formation in Plasma Processing</i>	113
Vovk A., Golub V., Pogoriliy A., Malkinski L., O'Conno C.J., Tang J. <i>Magnetic And Transport Properties of Heusler Alloys Thin Films</i>	113

СТЕНДОВІ ДОПОВІДІ

Секція 1

**Технологія тонких плівок (метали, напівпровідники, діелектрики, провідні полімери) і методи їх дослідження
(стендові доповіді)**

Session 1

**Thin films technology (metals, semiconductors, dielectrics, conductive polymers) and their research methods
(poster)**

- Андрєєва А.Ф., Касумов А.М., Крисюк О.І.** *Властивості легованих іонами міді плівок $KNbO_3$.* 115
- Баганов Є.О., Буряченко В.І., Коваленко В.Ф., Лебедь О.М., Шутов С.В.** *Люмінесценція епітаксійного $GaAs$, отриманого з розчину в розплаві вісмуту* 116
- Баталов Р.И., Баязитов Р.М., Крыжков Д.И., Ивлев Г.Д., Гайдук П.И., Marques С.Р., Alves E.** *Импульсный отжиг слоев кремния, имплантированных ионами эрбия: структура и фотолюминесценция* 117
- Безкровная О.Н., Саввин Ю.Н., Добротворская М.В.** *Пленки Ленгмюра-Блоджетт с иммобилизованными комплексами рутения и исследование их оптических свойств* 118
- Бесов А.В., Долгов Н.А., Зубрецкая Н.А.** *Влияние технологических режимов напыления на прочностные свойства плазменных покрытий* 119
- Бобик М.Ю.** *Статистичне моделювання структури ближнього порядку аморфних плівок селенідів миш'яку* 120
- Борисенко В.Е., Жвавий С.П., Зыков Г.Л.** *Динамика процессов плавления и кристаллизации, инициируемых в $ZnTe$ наносекундным лазерным излучением* 121
- Борча М.Д., Кройтор О.П., Кшевецкий О.С., Ткач О.О., Фодчук И.М.** *Определение абсолютных значений периодов решетки кристаллических соединений с помощью многоволновой рентгеновской дифрактометрии* 122
- Бутенко А.Ф., Сергеева А.Е.** *Новый метод изучения электрической релаксации в тонких пленках полимерных сегнетоэлектриков* 123
- Галочкін О.В., Стребежев В.М., Рибак Є.В., Жихаревич В.В., Раренко І.М.** *Кристалічна структура, фотоелектричні властивості епітаксійних плівок, одержаних проплавкою мілісекундним рубіновим лазером поверхні n - $CdTe$* 124
- Горват Г.Т., Лоя В.Ю., Крафчик С.С., Соломон А.М.** *Градiєнтні тонкопліvkові сплави халькогенідів германію: технологія, властивості, застосування* 125
- Горлей П.М., Воробець О.І., Воробець Г.І., Стребежев В.М., Обедзинський Ю.К.** *Структурні зміни в оксидних та металевих плівках на поверхні монокристалів $CdTe$, зумовлені дією лазерного опромінення* 126
- Григоров С.М., Космачов С.М., Таран А.В.** *Електронно-мікроскопічне дослідження структури плівок $Cu-In-Se$* 127
- Дійчук В.В., Волощук А.Г., Нечипорук В.В.** *Електрохімічне модифікування поверхні $CdTe$* 127
- Ермоленко О.А., Корнич Г.В.** *Молекулярно-динамическое моделирование нормальной бомбардировки кристаллов полиэтилена и пентацена ионами Ar с энергией 100 эВ* 129
- Закржевський О.Ю., Курга С.А.** *Вивчення будови тіоколових полімерів методами ДТА та ІЧ-спектроскопії* 130

Иванов В.А., Зарецкая Е.П., Залесский В.Б., Ковалевский В.И., Ермаков О.В., Чигирь Г.Г., Ухов В.А., Белоус А.И. <i>Получение и свойства пленок $Cu(In,Zn)Se_2$</i>	131
Ільчук Г.А., Кусьнеж В.В, Петрусь Р.Ю., Українець В.О. <i>Відпал плівок кадмію в атмосфері телуру та їх властивості</i>	132
Иодко В.Н., Гацкевич Е.И., Зыков Г.Л. <i>Лазерное легирование теллурида цинка</i>	133
Казимірчик С.Ю., Грицюк Б.М., Нічий С.В., Рокочук В.В. <i>Автоматизований комплекс для вимірювання кінетичних та оптичних властивостей напівпровідникових плівок і кристалів</i>	134
Карпець М.В. <i>Високотемпературний стан дифузійних покриттів на вуглецевих сталях</i>	135
Квич М.Б., Сіренко Г.О. <i>Відновлення міді в поверхневих шарах металізованого карбонового волокна в присутності PbS</i>	136
Киприч В.И., Корнич Г.В. <i>Моделирование в диффузионном приближении напыления тонких окисленных пленок атомными пучками</i>	137
Кобаса І.М., Кондратьєва І.В. <i>Фізико-хімічне дослідження та розробка фоточутливих компонентів і діелектричних матеріалів на основі TiO_2-WO_3</i>	138
Ковальчук М.Л., Косенков Є.М., Раранський М.Д., Раренко І.М. <i>Фізико-хімічні особливості вирошування, структура та електричні властивості варізонних епітаксійних плівок $Cd_xHg_{1-x}Te$, $Mn_xCd_yHg_{1-x-y}Te$</i>	139
Комаров Ф.Ф., Карпович В.Б., Мильчанин О.В., Гречный С.С. <i>Структурные и электрофизические свойства бумаги, сформированной из углеродных нанотрубок</i>	140
Комаров Ф.Ф., Комаров А.Ф., Миронов А.М., Заяц Г.М., Цурко В.А., Величко О.И. <i>Двумерное моделирование быстрого термического отжига As, имплантированного в Si с низкими энергиями</i>	140
Копач Г.И., Ключко Н.П., Волкова Н.Д., Добротворская М.В., Копач В.Р., Ли Т.А. <i>Механизм процесса электрохимического осаждения и состав пленок теллурида кадмия</i>	141
Кравченко О.Є., Бордун О.М., Аксіментьєва О.І. <i>Застосування методу оптичного поглинання у дослідженні зонної структури плівок поліепоксипропілкарбазолу (ПЕПК)</i>	142
Крушельницька Т.Д., Стахіра Й.М., Товстюк Н.К. <i>Термодинаміка кристалізації плівок сполук селенідів індію</i>	143
Кучеренко Е.Т., Бедюх А.Р., Лаврукевич Ю.А. <i>Магнетронное распылительное устройство для нанесения двухкомпонентных покрытий</i>	144
Левицький С.М., Власенко О.І., Генцарь П.О., Криськов Ц.А., Киселюк М.П. <i>Технологія отримання та спектри відбивання плівок $PbTe$, $PbSe$, $PbS/p-Si(100)$ у видимій області спектру</i>	145
Леонтъев А.В., Бойко Е.Б., Камышан А.С., Комаров Ф.Ф., Леонтъев Ю.А. <i>Оптические свойства пленок ПГМС, облученных легкими ионами</i>	146
Лесюк Р., Савчук В., Котлярчук Б., Загіней А., Ошвальдовський М., Жешутек Я. <i>Термічний відпал в атмосфері повітря та ртуті плівок $CdTe$, виготовлених методом імпульсного лазерного напилення</i>	147
Лысюк Л.С., Огенко В.М., Волков С.В. <i>Формирования углеродных структур из аренов на оксидированной поверхности металлов</i>	148
Медвідь М.А., Бойчук В.І., Гадзаман І.В., Кравців М.М. <i>Технологічні аспекти одержання тонких плівок органічних поліциклічних матеріалів для створення елементної бази оптоелектронних пристроїв</i>	149

Мельничук Т.А., Стребезев В.М., Юрійчук І.М., Маковій В.В. Отримання і оптимізація тонкоплівкових інтерференційних відрізаючих фільтрів на базі монокристалів In_4Se_3 , In_4Te_3	150
Міленін В.В., Редько Р.А., Редько С.М. Особливості випромінювальної рекомбінації епітаксійних шарів InP при мікрохвильовій обробці	151
Миттова І.Я., Пшестанчик В.Р., Кострюков В.Ф., Скороходова С.М., Колядинцева Л.В. Дериватографические исследования влияния размера частиц на превращения в композиции ($PbO+V_2O_5$)	152
Миттова І.Я., Самсонов А.А. Хемостимулированное термоокисидирование InP под воздействием нанесенных композиций оксидов PbO и V_2O_5 различного состава	152
Михайльонка Р.Я. Комбінаторний PVD-синтез плівок $Ge-Sb-Te$	153
Мячина Т.А., Логачева В.А., Ховив А.М. Синтез и модифицирование свойств тонкопленочных сложных оксидов индия и олова	154
Новосядлий С.П., Бережанський В.М. Зміна зарядових властивостей межі розділу $Si-SiO_2$	155
Орлецький І.Г., Фрасуняк В.М. Піролітичне осадження оксидних плівок CdO і ZnO , легованих марганцем	157
Петрик І.Я., Дацко П.В. Модифікація атомами хрому електролітичних покриттів	158
Пугіна К.В., Корніч Г.В. Молекулярно-динамічне моделювання розпилення поверхневих Si кластерів з поверхонь металевих підкладок	159
Рябощук М.М. Розсіювання електронних хвиль парою атомів речовини в електронографії	160
Савченко М.Д., Щурова Т.М., Попович К.О., Рубіш І.Д., Рубіш В.М., Лайзинг Г. Розрахунок ширини забороненої зони тонких плівок $Si_xTi_{1-x}O_2$	161
Сіренко Г.О., Кедик М.В. Вплив мікрошорсткості поверхні на контакті явища в парі полімерний композит – метал з трибопокриттям	162
Снегір С.В., Зарко В.І., Покровський В.О. Лазерна десорбційна мас-спектрометрія полімерів з поверхні графітовмісних мішеней на прикладі поліетиленгліколю із різним ступенем полімеризації	163
Стахіра П.Й., Черпак В.В., Волинюк Д.Ю. Дослідження електрооптичних властивостей тонких плівок поліаміноаренів сформованих методом термовакуумного осадження	164
Теребінська М.І., Лобанов В.В. Частоти нормальних коливань адсорбційних комплексів кисню на грані (111) кристалічного силіцію	165
Тиванов М.С., Зарецкая Е.П., Иванов В.А., Залесский В.Б., Романов П.И., Леонова Т.Р., Дроздов Н.А., Федотов А.К., Жуковский П.В. Физические свойства $Cu(In,Ga)(S,Se)_2$ тонких плёнок, полученных сульфуризацией/селенизацией слоёв $Cu-In-Ga$	166
Трунов М.Л., Біланич В.С., Рубіш В.М., Дуб С.М., Гасинець С.М., Шпирко Г.М. Дослідження внутрішнього тертя в тонких плівках склоподібних напівпровідників методом циклічного наноіндентування	167
Харченко Н.М. Применение метода конденсации в квазизамкнутом объеме для формирования пленок теллурида кадмия	168
Цыбульская Л.С., Пуровская О.Г. Электрохимическое осаждение пленок $Zn-Ni$ из полилигандного щелочного раствора	168
Юр'єв С.О., Юрчишин П.І., Ющук С.І. Особливості вирощування епітаксійних плівок ферит-гранатів з ЦМД	170

- Яцишин Б.П., Фреїк Д.М., Гореленко Ю.К., Миколайчук О.Г., Байцар Г.С.** *Магнітні та електричні властивості дрібнодисперсних плівок РЗМ-Me-Ge* 171
- Davydenko L., Plyuto Y.** *Sol-Gel Silica Films Doped with Chromium (III) Acetylacetonate* 172
- Evmenova A.Z., Odarych V.A.** *Studying of CdTe thin films on the Si and CdHgTe substrates by the ellipsometric method* 173

Секція 4

Тонкоплівкові елементи електронних пристроїв

(усні доповіді)

Session 4

Thin film elemental compounds for electronic devices

(oral)

- Альошін С.В., Волощук С.О., Гранкін В.П.** *Хемілюмінесцентні методи дослідження властивостей тонких плівок на основі кристалофосфорів (ZnS, CdS-Ag; Zn₂SiO₄-Mn)* 174
- Бекбергенов С.Е., Камалов А.Б., Конакова Р.В., Кудрик Я.Я., Кулиш Н.Р., Малыш Н.И., Миленин В.В.** *Влияние низкодозового лазерного излучения на параметры Pt-n-n⁺-GaAs GaAs диодов Шоттки* 175
- Бобренко Ю.Н., Комащенко В.Н., Шереметова Г.И., Семикина Т.В., Ярошенко Н.В.** *Исследование многослойных поликристаллических структур на основе полупроводников типа A²B⁶* 176
- Бойко Б.Т., Копач Г.И., Кудий Д.А, Хрипунов Г.С.** *Оптические свойства и кристаллическая структура плёнок CdS, полученных термическим испарением* 177
- Горячев Ю.М., Малахов В.Я., Симан Н.И., Фиалка Л.И., Дехтярук В.И** *Новые высокоэффективные фото-термоэлектрические генераторы на основе пленок InN и толстопленочной керамики* 178
- Грушко Є.В., Савчук А.Й., Косяченко Л.А., Склярчук В.М., Мотушук В.В., Mathew X.** *Особливості механізму переносу заряду в тонкоплівкових CdS/CdTe сонячних елементах* 179
- Добровольська А.М.** *Технологічні аспекти формування активних елементів на основі плівок халькогенідів свинцю* 180
- Клюй М.І., Костильов В.П., Литовченко В.Г., Лук'янов А.М., Черненко В.В., Хіврич В.І.** *Вплив тонких алмазоподібних вуглецевих плівок на радіаційну стійкість сонячних елементів на основі кремнію* 181
- Кравців М.М., Бойчук В.І., Пелешак Р.М., Шпотюк О.Й.** *Тонкоплівкові сенсори інфрачервоного випромінювання на основі органічних полікристалічних сполук* 182
- Коваленко К.Л., Шаран М.М., Севастьянов В.В., Козловський С.І., Дубіль Р.Я., Маєвська Т.В.** *Вдосконалення плівок оксиду алюмінію інтегральних сенсорів вологості* 183
- Когут І.Т., Трач А.В., Варцаб'юк А.Р.** *Сучасні технології формування КНІ-структур* 184
- Козицький С.В., Волошиновський А.С.** *Особливості люмінесценції, легованих рідкоземельними елементами полікристалів ZnS, отриманих методом самопоширюваного високотемпературного синтезу* 185
- Колясик М.** *Взаимодействие плазмы электрической дуги с поверхностью электрических контактов* 186

Малашкевич Г.Е., Шевченко Г.П., Бокшиц Ю.В. <i>SiI-содержащие геле-пленки как возможный световой конвертор для кремниевых солнечных элементов</i>	188
Мартинюк Я.В. <i>Фізико-технічні основи побудови запам'ятовуючих елементів та пристроїв на тонких сегнетоелектричних плівках</i>	189
Михайловська К.В., Індутний І.З., Шепелявий П.Є. <i>ІЧ-приймач на основі металодіелектричної плівки</i>	190
Овчаренко А.П., Белозерцева В.И., Северина Я.В. <i>Особые зоны в областях прозрачности многослойных интерференционных систем</i>	191
Опилат В.Я., Пінковська М.Б., Сараєв Д.Г., Тартачник В.П., Худецький М.В. <i>Ефект самоорганізації у світлодіодах GaP</i>	192
Остафійчук Б.К., Коцюбинський В.О., Челядин В.Л. <i>Особливості рідкофазного отримання діоксиду титану для літєвих первинних джерел енергії</i>	193
Птащенко О.О., Птащенко Ф.О., Шугарова В.В. <i>Вплив навколишньої атмосфери на характеристики p-n переходів на основі AlGaAs</i>	194
Старчак В.Г., Костенко І.А., Олексієнко С.О., Замай Ж.В. <i>Утворення захисних плівок на поверхні металу в електромагнітному полі</i>	195
Фирстов С.О., Еременко А.Л., Школьный В.К., Горбань В.Ф. <i>Гетерозепитаксиальные структуры ZnS_xSe_{1-x}/GaAs – получение, физические свойства, применения</i>	196
Фрасуняк В.М., Орлецький І.Г. <i>Отримання та фізичні властивості поверхнево-бар'єрних структур ITO/CdZnTe</i>	197
Фреїк Д.М., Шперун В.М., Кланічка В.М., Огородник Я.В. <i>Термоелектрика напівпровідникових матеріалів на основі телуридів олова, свинцю і германію</i>	198
Чобанюк В.М., Вуйцік В., Фреїк Д.М. <i>Активні елементи електроніки на основі наноструктур напівпровідникових сполук</i>	199
El-Khozondar Hala J., El-Khozondar Rifa J., Shabat Mohammed M. <i>Temperature stress effects on optical nonlinear waveguide sensor</i>	200
Rahimi Seyed Ali <i>Evaluation of Radiology Personnel Practice of Mazandaran university of Medical sciences</i>	201
Rakovics V., Horváth Zs.J. <i>Electrical and photoelectrical behaviour of nanocrystalline cds films and cds/inp heterojunction p-n diodes</i>	202
Sukach G.A., Manko V.A. <i>Principle of the transmission characteristics correction of thin-film optical filters</i>	202

Секція 4

Тонкоплівкові елементи електронних пристроїв

(стендові доповіді)

Session 4

Thin film elemental compounds for electronic devices

(poster)

Артеменко О.С., Маслєва Н.В. <i>Вплив парів NH₃ на характеристики поверхні p-n переходів на основі GaAs та GaP</i>	204
Бойко Б.Т., Хрипунов Г.С. <i>Двосторонньо фоточутливі плівкові сонячні елементи на основі CdS/CdTe</i>	205
Бушма А.В. <i>Оценка информационной избыточности шкального и цифрового пленочного индикатора</i>	207

Волощук С.О., Гранкін В.П., Оніщенко О.О. <i>Оптичний метод детектування атомних часток водню з низькотемпературної плазми хемілюмінесцентним (ХЛ) сенсором на основі ZnS, CdS-Ag</i>	208
Варцаб'юк А.Р., Вівчарук В.М., Мельник П.І. <i>Сучасні діелектричні матеріали для формування нанометрових 3D-структур</i>	209
Гацкевич Є.І., Захарук З.І., Івлєв Г.Д., Раренко А.І., Стребезев В.М. <i>Модифікація нанорозмірних приповерхневих шарів Cd_{1-x}Mn_xTe під дією імпульсного лазерного випромінювання</i>	210
Голота В.І., Когут І.Т. <i>Керований автоемісійний кремнієвий катод субмікронних розмірів на основі КНІ-структур</i>	211
Горлей П.М., Білущук С.В., Голуб В.О., Вовк А.Я, Салюк О.Ю. <i>Прозорі провідні тонкоплівкові покриття на основі оксиду цинку</i>	212
Ілащук М.І., Орлецький І.Г, Парфенюк О.А., Грицюк Б.М., Ульяницький К.С. <i>Фотоелектричні властивості структур на основі Cd_{1-x}Mn_xTe, створених дією лазерного випромінювання</i>	213
Иванов В.А., Гременок В.Ф., Воробей А.В., Залесский В.Б., Леонова Т.П. <i>Исследование вольтамперных характеристик гетероструктур ZnO/CdS/CuInSe₂</i>	214
Когут І.Т. <i>Концепція побудови інтегрованих мікросистем на основі КМОН БМК зі структурами кремній-на-ізоляторі</i>	215
Комаров Ф.Ф., Мильчанин О.В., Турцевич А.С., Соловьев Я.А. <i>Структурные особенности силицидообразования при термообработке тонких слоев Ni/Pt на Si</i>	216
Конакова Р.В., Матвеева Л.А., Колядина Е.Ю., Нелюба П.Л., Шинкаренко В.В. <i>Радиационная нанотехнология изготовления гибридных структур тонкопленочного солнечного элемента</i>	216
Мартинюк Я.В., Верба О.А., Клето Г.І., Кругленко М.П. <i>Структури, технологія та характеристики тонко-плівкових сегнетоелектричних запам'ятовуючих елементів</i>	218
Польовий Д.О., Аксіментьєва О.І. <i>Фізико – технологічні аспекти застосування спряжених полімерів в електрохромних пристроях</i>	219
Рувінський М.А. <i>Механізми фононного поглинання гіперзвуку в прямокутному квантовому дроті</i>	220
Рувінський Б.М. <i>Вплив непружних електронних переходів на поглинання і підсилення гіперзвуку в прямокутному квантовому дроті</i>	221
Рувінський Б.М. <i>Поглинання і підсилення гіперзвуку при наявності електричного поля в прямокутному квантовому дроті</i>	222
Хомяк В.В., Білічук С.В. <i>Властивості гетероструктур CdS/CIGS виготовлених магнетронним розпиленням</i>	223
Чохань М.І., Ціж Б.Р., Аксіментьєва О.І., Конопельник О.І. <i>Тонкоплівкові сенсори на основі органічних напівпровідників для моніторингу свіжості харчових продуктів</i>	224
Ющук С.І., Юр'єв С.О., Костюк П.С., Ніколайчук В.Й. <i>Використання хімічного травлення для виготовлення ферогранатових плівкових елементів</i>	224
Kuchuk A.V., Kladko V.P., Lytvyn O.S., Guziewicz M., Piotrowska A., Kaminska E., Minikayev R.A., Ratajczak R. <i>Improvement of stability of Pd-based/GaN and Ni-based/SiC ohmic contacts by nanocomposite diffusion barriers</i>	225

ДЛЯ НОТАТОК

ДЛЯ НОТАТОК

Наукове видання

Фізика і технологія тонких плівок та наносистем

**Матеріали
ХІ міжнародної конференції**

МКФТТПН-ХІ

Physics and Technology of Thin Films and Nanosystems

**Materials
of the XI International Conference**

ІСРТТФН-ХІ

Редактор *Дмитро Фреїк*

Технічний редактор *Богдан Дзундза*

Комп'ютерна верстка *Галина Бабуцак, Олександр Соколов*

Відповідальний за випуск *Володимир Прокопів*

Здано до набору 30.03.2007. Підписано до друку 5.04.2007.

Папір офсетний. Тираж 300.

Віддруковано у Видавничо-дизайнерському відділі ЦІТ
Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника
Тел. 59-60-50

Ф 83 **Фізика і технологія тонких плівок та наносистем. Матеріали ХІ Міжнародної конференції:** У 2 т. – Т. 1. / За заг. ред. Заслуженого діяча науки і техніки України, д.х.н., проф. **Фреїка Д.М.** – Івано-Франківськ: Видавничо-дизайнерський відділ ЦІТ Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, 2007. – 240 с.