

В.І. Голота, І.Т. Когут

## Керований автоемісійний кремнієвий катод субмікронних розмірів на основі структур кремній на ізоляторі

*Прикарпатський національний університет ім. Василя Стефаника, фізико-технічний факультет,  
вул. Шевченка 57, Івано-Франківськ 76000, Україна, e-mail: kre@pu.if.ua*

Запропоновано практичний спосіб формування елементів субмікронних розмірів з використанням стандартної проекційної літографії. Розроблено структуру та топологію високовольтного транзистора на основі структур кремній на ізоляторі монолітно інтегрованого з випромінювачем, отримано його електричні характеристики. Розроблено технологію виготовлення керованих автоемісійних випромінювачів.

**Ключові слова:** автоемісійний кремнієвий випромінювач, елемент субмікронних розмірів, високовольтний транзистор.

*Стаття поступила до редакції 07.03.2007; прийнята до друку 14.09.2007.*

### Вступ

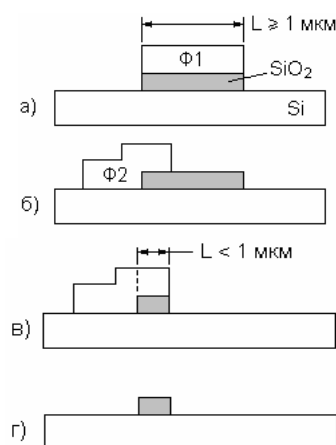
В останній час значна кількість робіт присвячена створенню матриць автоемісійних кремнієвих катодів для нових поколінь засобів відображення інформації, а також безмаскових літографій. Основною тенденцією, у створюваних емісійних катодах, є їх монолітна інтеграція зі схемами керування на одному кристалі 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 елементу для таких пристроїв – керованого автоемісійного кремнієвого катода 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 катода, так і елементів керування.

### І. Формування елементів субмікронних розмірів

Для виготовлення автоемісійних катодів на поверхні кремнієвої пластини необхідно сформувати регулярно розміщені маскуючі зображення

фотолітографією з субмікронною роздільною здатністю. В [3] запропоновано простий спосіб формування топологічних елементів субмікронних розмірів з допомогою стандартної проекційної літографії. Реальні, мінімально-можливі топологічні розміри елементів в проекційній літографії визначаються в основному довжиною хвилі спектральної чутливості фоторезистів і становлять 0,8-1,2 мкм, але точність суміщення для проекційної фотолітографії є достатньо високою і становить 40-100 нм. Цей параметр є визначальним при формуванні субмікронних розмірів елементів. Послідовність формування таких елементів показана на рис. 1.



**Рис. 1.** Формування елементів субмікронних розмірів: а) фотолітографія 1; б) фотолітографія 2 з проектним зміщенням; в) травлення SiO<sub>2</sub>; г) травлення фоторезисту.

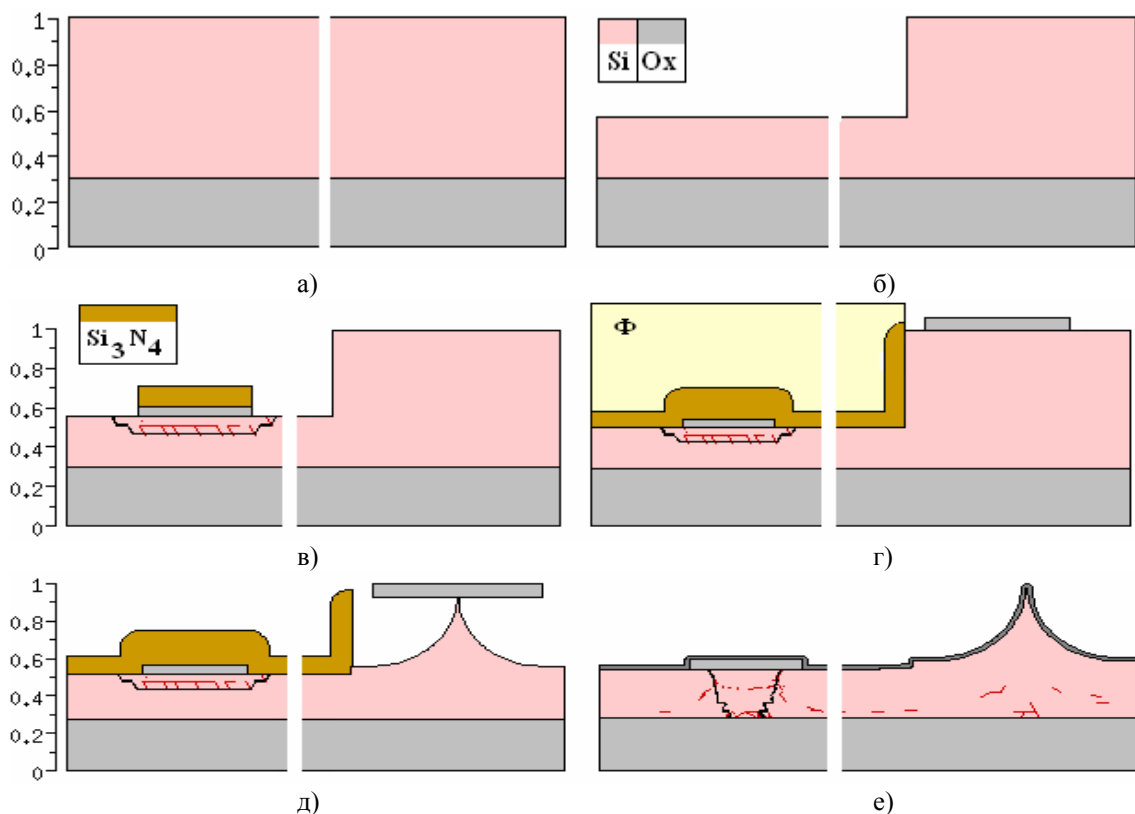
На кремнієву пластину осаджується плівка  $\text{SiO}_2$  і наноситься фоторезист. В результаті експозиції і першої проекційної фотолітографії Ф1 формується плівковий топологічний елемент з розміром  $L \geq 1$  мкм, рис. 1,а. Після зняття першого фоторезисту і другої фотолітографії Ф2 плівка фоторезисту маскує плівку  $\text{SiO}_2$  на запроєктовану величину розміру топологічного елементу з розміром  $L < 1$  мкм, рис. 1,б. Суміщення на обох стадіях виконується до одних базових знаків суміщення проекційної фотолітографії, попередньо створених на так званій «нульовій» фотолітографії. В результаті наступної технологічної операції сухого плазмохімічного травлення плівки  $\text{SiO}_2$  отримується плівка розміром  $L < 1$  мкм покрита фоторезистом, рис. 1,в. Останньою виконується операція зняття фоторезисту, рис. 1,г.

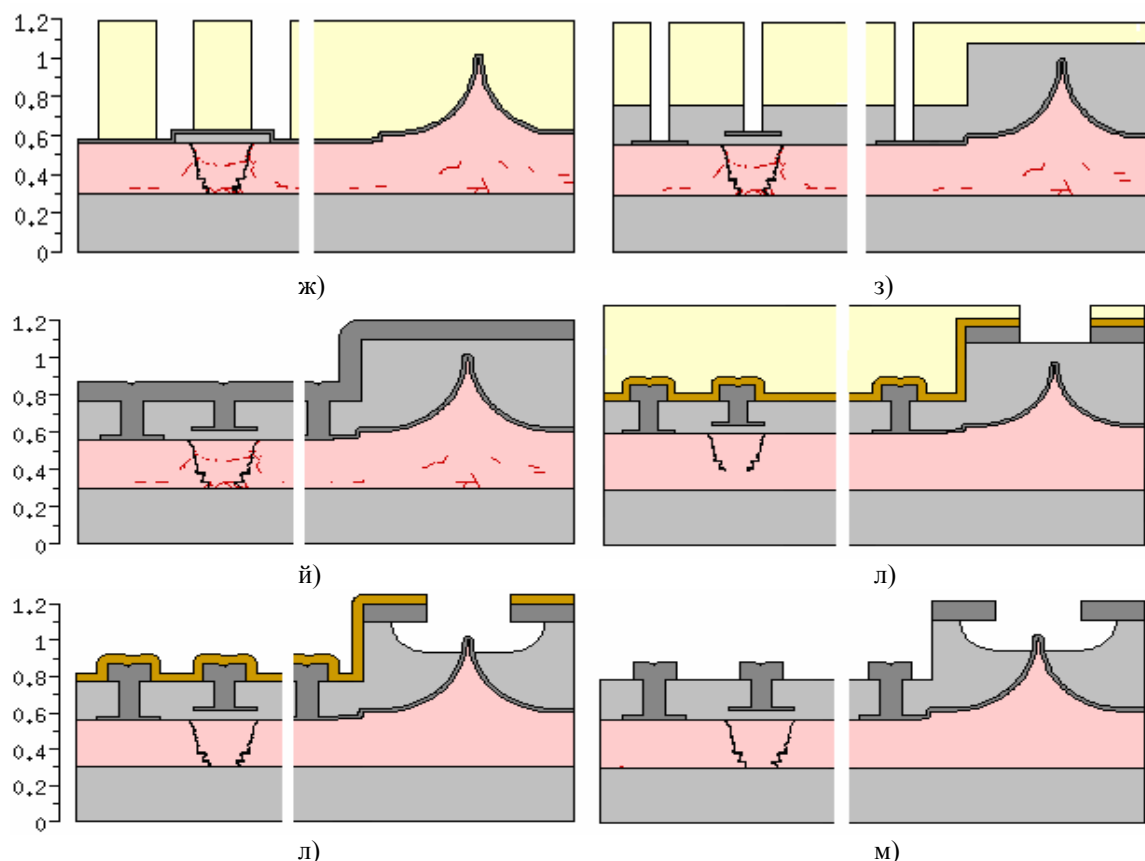
Спосіб практично перевірявся з використанням лазерно-рекристалізованих структур кремній-на-ізоляторі (КНІ) з товщиною кремнієвої підкладки 0,2 мкм, в якій формувалися топологічні елементи типу «затвор» МОН-транзистора, а також плівки  $\text{SiO}_2$  товщиною 0,4 мкм, в якій формувалися топологічні елементи типу «вікно». Були спроектовані набори тестових елементів з початковими розмірами  $L = 1,6$  мкм для першої фотолітографії з використанням фотошаблонів стандартної проекційної фотолітографії з зменшеним зображенням 10:1, а також набори топологічних тестових елементів з різними величинами перекриття фоторезистом витравлюваних елементів з кроком 50 нм. Результати виготовлення показали, що з використанням стандартної проекційної літографії можна стабільно отримувати топологічні елементи субмікронних розмірів в діапазоні 150-100 нм.

## II. Технологія виготовлення керованих автоемісійних кремнієвих катодів

Використовуючи вищевказаний спосіб формування елементів субмікронних розмірів, розроблена і промодельована експериментальна технологія виготовлення керованих автоемісійних кремнієвих катодів, яка включає наступну послідовність основних базових операцій (рис.2, розміри по вісі X показано в мікрометрах):

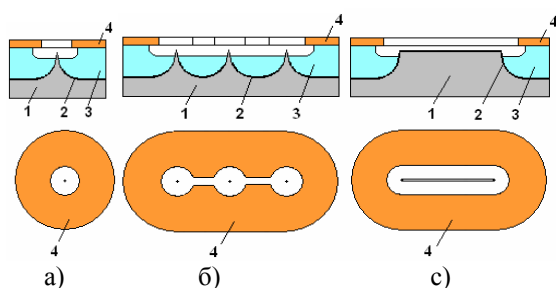
1. Осадження Si на КНІ-підкладку, а).
2. Фотолітографія і формування області випромінювача, б).
3. Фотолітографія і формування шару підзатворного  $\text{SiO}_2$  в).
4. Фотолітографія і формування маски для випромінювача, г).
5. Плазмохімічне травлення Si і для отримання кремнієвого шпिला, д).
6. Осадження на поверхню металу (W) добре сорбуючого газу, е).
7. Фотолітографія для відкриття вікон на поверхні металу для створення витоку, затвору, стоку, ж).
8. Планаризація поверхні шару Si, фотолітографія для відкриття вікон під контакти, з).
9. Осадження металу (Al), й).
10. Фотолітографія і формування апертури електроду, к).
11. Газохімічне ізотропне травлення шару  $\text{SiO}_2$  для відкриття верхівки шпиля, л).
12. Травлення плівки  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , м).





**Рис. 2.** Результати моделювання основних базових операцій виготовлення керованого автоемісійного катоду.

Використовуючи різні набори зображень на фотошаблоні по одній технології можна виготовити регулярні структури з різними формами і розмірами катодів: одношпильові, багатшпильові і лезоподібні. На рис. 3 показані фронтальні і горизонтальні проєкції таких одношпильових (а), тришпильових (б) і лезоподібних (в) катодів.



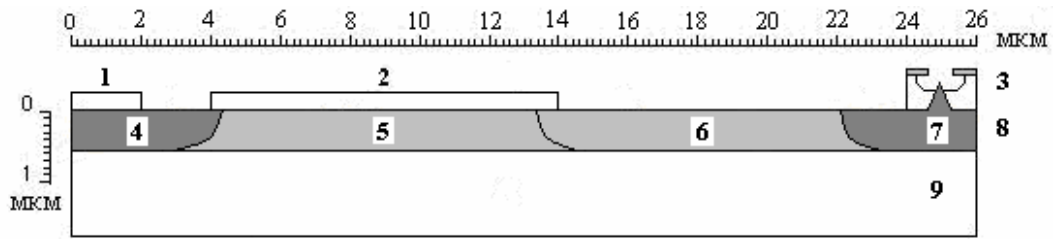
**Рис. 3.** Автоемісійні катоди різних форм: а) одношпильові; б) багатшпильові; в) лезоподібні; 1 – кремнієва пластина; 2 – осаджена плівка W; 3 – шар  $\text{SiO}_2$ ; 4 – екстракційний електрод з Мо.

Запропонована технологія не використовує самосуміщення електродів, в результаті якого утворюються вулканоподібні профілі. Це забезпечує планарність електродів і можливість їхнього розміщення як вище, так і нижче катоду, а також отримання розмірів апертур в 100-50 нм. Осадження на поверхню шпилів металу, краще сорбуючого газу ніж кремній, дозволяє її чистити періодичним

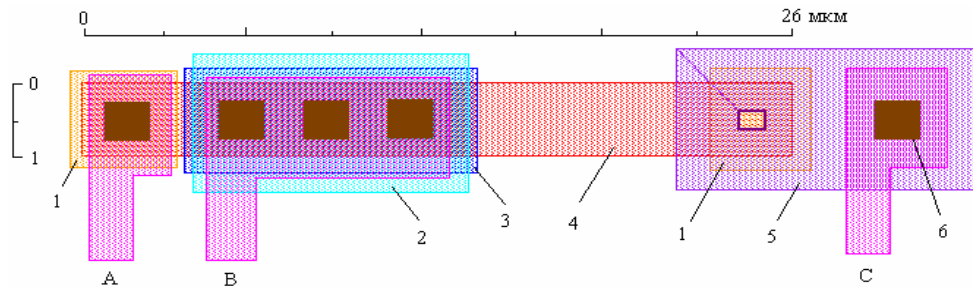
імпульсним нагрівом, що сприяє стабільності геометричних форм і емісійного струму, а також довговічності роботи. Можливість формування регулярних структур з різними формами і розмірами катодів значно розширює їх область застосувань.

### III. Високовольтний КНІ МОН-транзистор

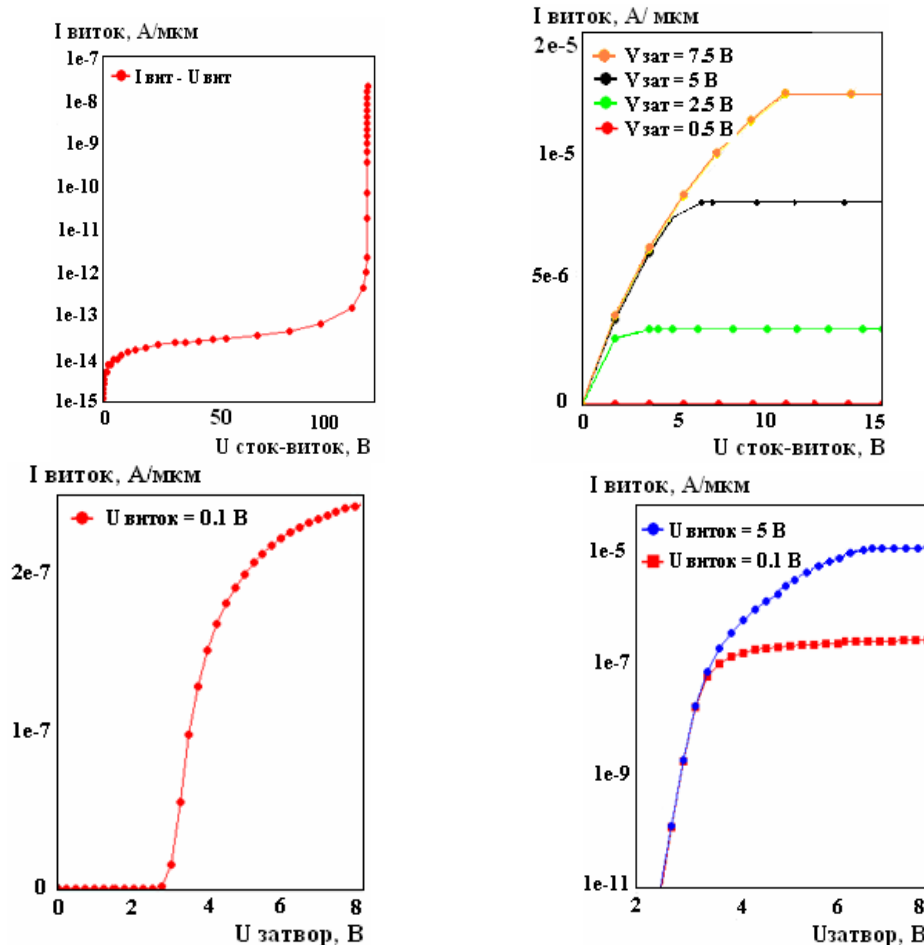
Для стабільної автоемісії електронів потрібна різниця потенціалів між катодом і екстракційним електродом порядку 60 – 100 В залежно від розміру апертури екстракційного електроду і покриття кремнієвого катоду. Керувати роботою автоемісійного катоду може МОН-транзистор, який витримує високі пробивні напруги і забезпечує струми витоку сумірні із автоемісійними струмами. В [4] наведена модель високовольтного МОН-транзистора із дрейфовою областю, опір якої залежить від прикладеної напруги до витоку-стоку. Використовуючи таку дрейфову область авторами розроблено високовольтний КНІ МОН-транзистор, монолітно суміщений із випромінювачем. На рис.4 показана структура такого високовольтного КНІ МОН-транзистора з випромінювачем, а на рис. 5 його топологія.



**Рис. 4.** Структура високовольтного КНІ МОН-транзистора: 1 – виток; 2 – затвор із підзатворним окислом товщиною 30 нм; 3 – випромінювач; 4 – область витoku легована P:1e+19; 5 – підзатворна область легована B:5e+17; 6 – дрейфова область легована P:3e+15; 7 – область стоку легована P:1e+19; 8 – КНІ шар, 9 – шар заглибленого SiO<sub>2</sub>.



**Рис. 5.** Топологія високовольтного КНІ МОН-транзистора монолітно інтегрованого з випромінювачем: 1 – області легування *n*-типу провідності; 2 – затвор із W; 3 – область легування каналу транзистора *p*-типу провідності; 4 – кремнієва плівка на ізоляторі; 5 – екстракційний електрод з Мо; 6 – контактні вікна і міжшарові з'єднання; А, С – шини з Al для подачі напруги живлення, В – шина для подачі керуючих сигналів.

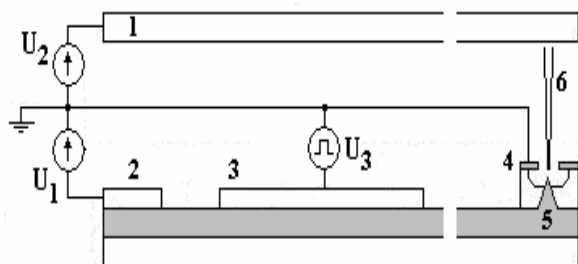


**Рис. 6.** Статичні характеристики високовольтного КНІ МОН-транзистора: а) пробивна; б) вихідна; в), г) передаточні.

На рис. 5 показані топологічні розміри елементів без технологічних припусків на технології виготовлення фотошаблонів і приладних структур.

Результати комп'ютерного моделювання статичних характеристик КНІ МОН-транзистора показані на рис. 6.

Як видно з характеристик КНІ МОН-транзистор функціонує в діапазоні напруг виток – сток до 110 В і при напругах на затворі до 2.5 В забезпечує мікроамперні струми виток, достатні для автоемісії з катоду випромінювача.



**Рис. 7.** Електрична схема управління: 1 – кремнієва пластина (анод) покрита фоторезистом; 2 – виток КНІ МОН-транзистора; 3 – затвор КНІ МОН-транзистора; 4 – екстракційний електрод випромінювача; 5 – сток КНІ МОН-транзистора (катод випромінювача); 6 – автоемісійний пучок електронів;  $U_1 = -100$  В,  $U_2 = 10$  В,  $U_3 = 2,5$  В.

## IV. Електрична схема управління

Електрична схема управління випромінювача інтегрованого з КНІ МОН-транзистором показана рис. 7. При подачі позитивно зміщеного імпульсу напруги  $U_3$  на затвор відкривається КНІ МОН-транзистор. При цьому катод буде зміщений відносно екстракційного електрода на -100 В, що створює умови для автоемісії. Емітовані електрони під дією потенціалу аноду  $U_2$  спрямовуються на кремнієву пластину і засвічують фоторезист.

## Висновки

Запропоновано практичний спосіб формування елементів субмікронних розмірів з використанням суміщення до базових знаків стандартної проекційної літографії, попередньо створених на так званій “нульовій” фотолітографії. Розроблено структуру та топологію високовольтного КНІ МОН-транзистора монолітно інтегрованого з випромінювачем, промодельовані його статичні характеристики. Промодельована технологія виготовлення керованих автоемісійних кремнієвих катодів інтегрованих з КНІ МОН-транзистором. Запропоновано використовувати різні набори зображень на фотошаблоні, що дозволяє за однією технологією формувати регулярні структури з різними профілями і розмірами катодів.

- [1] J.D. Lee, J.H. Nam, H.I. Kwon and B.G. Park. 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] L.R. Baylor, D.H. Lowndes, M.L. Simpson et al. Digital electrostatic electron-beam array lithography. // *Journal Vac. Sci. Technol.*, **В 20**(6), pp. 2646-2650 (2002).
- [3] І.Т. Когут, А.О. Дружинін, В.І. Голота. Спосіб формування топологічних зображень мікроелектронних пристроїв. Патент на корисну модель №18536. Зареєстровано в Держ. реєстрі патентів України 15.11.06
- [4] Y.S. Chauhan, C Anghel et al. A highly Scalable High Voltage MOSFET Model. // *Journal Solid-State Electronics*, **50**, pp. 1801-1813 (2006).

V.I. Holota, I.T. Kohut

## The Controlled Field Emission Silicic Cathode of Sub-Micron Sizes on the Basis of SOI Structure

‘Vasyl Stefanyk’ Prekarpathian National University,  
201, Galytska Str., Ivano-Frankivsk, 76000, Ukraine, E-mail: [kre@pu.if.ua](mailto:kre@pu.if.ua)

The practical method of the sub-micron sizes elements formation with the use of the standard projection lithography is proposed. It is developed structure and topology of high-voltage MOP transistor on SOI structure of that monolithically integrated with the emitter and its electrical characteristics are obtained. It is developed the technology of the production of the controlled field emission silicic emitters of those integrated with SOI MOP transistor. It is proposed to use different collections of images on the photo templates, which makes it possible on one technology to form structures with the different profiles and sizes of cathodes.