

В.В. Довгий, І.Т. Когут, В.І. Голота

## Розробка і моделювання елементів аналітичної мікросистеми-на-кристалі зі структурами “кремній-на-ізоляторі”

*Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, вул. Шевченка, 57,  
Івано-Франківськ, 76000, Україна, e-mail: igorkohut2202@gmail.com*

В роботі наведено результати розроблення архітектури, проектуванню топології аналітичної мікросистеми-на-кристалі зі структурою «кремній-на-ізоляторі» (КНІ) та схемотопологічному моделюванню її елементів для визначення їх електричних і часових характеристик.

**Ключові слова:** аналітична мікросистема-на-кристалі, структура «кремній-на-ізоляторі», базовий матричний кристал, кільцевий генератор.

*Стаття постуила до редакції; прийнята до друку 15.03.2016.*

### Вступ

Сучасний розвиток науки і техніки постійно потребує високого рівня інформаційних систем для виробництва, екології, медицини, космічної техніки тощо. З розробкою і розвитком мікро- і наноелектронних технологій, сенсорних пристроїв на їх основі, дослідженням нових некремнієвих технологій і можливостей їх інтеграції у кремнієві приладні структури, важливим є проведення досліджень зі створення і використання мікросистем-на-кристалі (МнК), як інструментарію для аналізу нових інтегральних елементів, в тому числі з некремнієвими технологіями або інших фізичних об'єктів з мікро- або нанометровими розмірами безпосередньо в складі МнК. Це обумовлено тим, що отримання інформації від таких мікро- і нанооб'єктів підключенням через зонди та зовнішні провідники може спричинити спотворення первинної інформації унаслідок їх паразитних властивостей. Тому видається доцільним проводити дослідження таких елементів безпосередньо в складі мікросистеми-на-кристалі, яку можна вважати аналітичною, і у якій можна було б отримувати первинну інформацію підключенням безпосередньо до інтегральних елементів з мікро- і нанометровими тпологічними розмірами з її первинною обробкою і перетворенням. Така аналітична мікросистема-на-кристалі виконуватиме функції обробки сигналів від досліджуваних об'єктів з подальшою передачею оброблених і підсилених сигналів на вимірювальний або комп'ютеризований пристрій [1].

У реалізації цієї ідеї не менш важливим є необхідність розробки якомога більш універсальної архітектури такої аналітичної мікросистеми, що дало б змогу на її основі у короткі терміни створювати серії спеціалізованих аналітичних МнК. Одним із методів проектування таких систем, зокрема схем первинного опрацювання інформації та зовнішніх інтерфейсних зв'язків як МнК так і «технологічної площадки», покладено відомий метод проектування замовних інтегральних схем (ІС) за аналогією базових матричних кристалів (БМК).

Конструктивно-технологічною базою для створення таких систем-на-кристалі можуть бути стандартні промислові КМОП-технології виготовлення ІС. Проте аналіз існуючих КМОП технологій показує, що найбільш перспективними в цьому плані видаються структури «кремній-на-ізоляторі», які завдяки своїм переважаючим властивостям щодо електричних та температурних характеристик, стійкості до зовнішніх впливів, є суттєво кращими порівняно з відомими на об'ємному кремнії.

Окрім того, КНІ-структури мають суттєві переваги як конструктивний матеріал для створення нових приладних елементів, в тому числі, як і з новими тривимірними конструкціями, так і можливостями інтеграції з герметизованими або негерметизованими мікропорожнинними під поверхнею кремнієвої пластини [2]. Це відкриває додаткові перспективи створення нових інтегрованих приладних структур і дозволяє розширити функціональні можливості аналітичних мікросистем-

на-кристалі та сфери їх застосування.

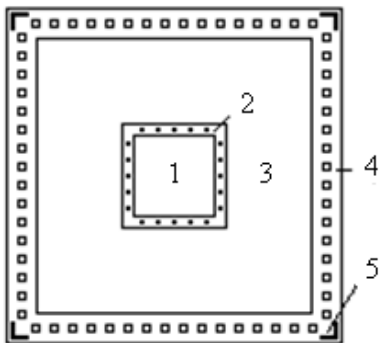
Для створення приладних елементів на основі КНІ-структур, необхідні дані про результати досліджень взаємовпливу параметрів елементів у пристроях, методів їх отримання на електричні, часові, температурні та інші характеристики.

Аналіз літературних даних показує, що вітчизняні дослідження щодо розробок і використання аналітичних мікросистем-на-кристалі проводяться в недостатньому обсязі.

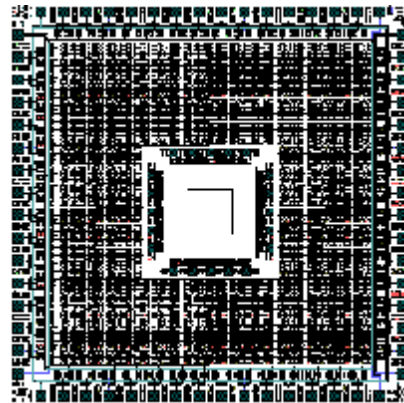
## I. Архітектури та топології аналітичної мікросистеми на кристалі

Розроблена структура та топологія аналітичної мікросистеми зображена на рис. 1.

В центральній частині розробленого кристалу міститься «технологічна площадка», із зовнішніми, розміщеними по її периферії, матричними комірками активних та пасивних елементів, на основі яких використовуючи програмовані шари із 2-ох металізацій і 2-ох шарів контактів, можна реалізувати потрібні схеми зв'язку. Також в цьому блоці розміщені контакти для зондового контролю і спеціальні тести для контролю технології виготовлення самого кристалу. Наступним блоком є поле матриці КНІ КМОП-транзисторів, що побудоване по аналогії з БМК для реалізації аналогових і цифрових схем первинного опрацювання інформації від досліджуваних об'єктів. По периметру кристалу розміщено спеціальні

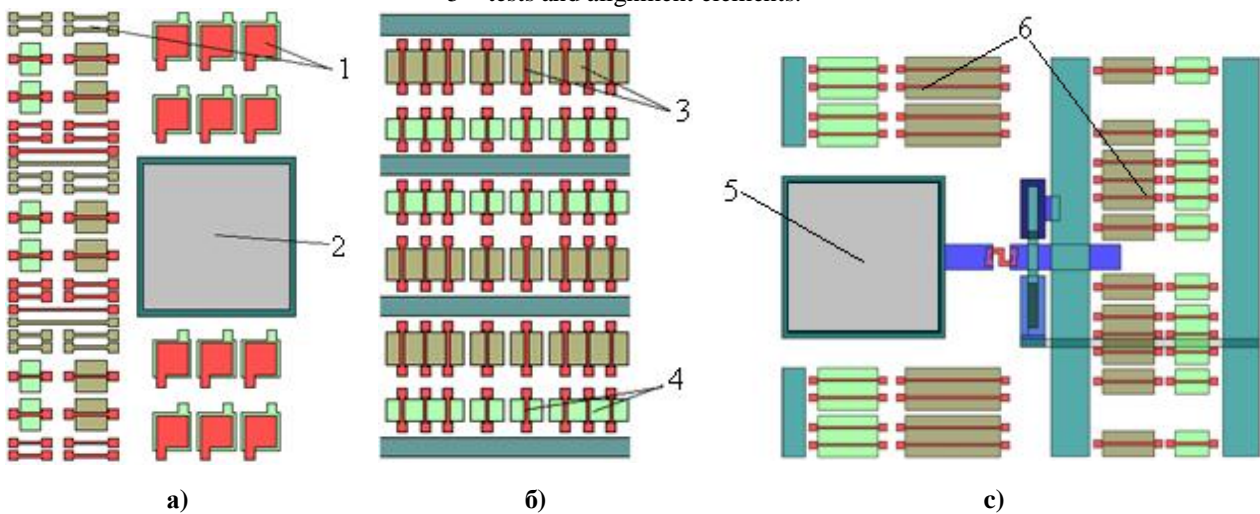


а)



б)

Fig. 1. Structure (a), and general view of the analytical microsystem-on-chip layouts (b): 1 – «technological area»; 2 – active/passive communication elements and contacts for probe measurements; 3 – CMOS transistors matrix on SOI structures for implementation of analog and digital circuits initial information processing; 4 – input/output cascades and contact pads; 5 – tests and alignment elements.



а)

б)

в)

Fig. 2. Functional units layouts of the analytical microsystem-on-chip: a) active and passive communication elements (1), the inner pad (2); b) CMOS transistors matrix: p - channels (3) and n - channels (4) SOI transistors; c) external pad (5) and matrix cells for the input / output buffer cascades designing (6).

матричні комірки для реалізації буферних схем зв'язку із зовнішніми вимірювальними або комп'ютеризованими пристроями, зовнішні контактні площадки, тестові елементи та знаки суміщення.

На рис. 2 зображено також фрагменти топології матричної частини, що спроектована на основі розробленої оптимізованої комірки, вхідні/вихідні каскади та контактні площадки.

«Технологічна площадка» призначена для розміщення на ній чутливих елементів та для дослідження характеристик інтегральних

собою плівку оксиду кремнію, під поверхнею можна створювати тривимірні елементи, конструктивно суміщені з герметизованими та негерметизованими мікропорожнинами. Іншими варіантами застосування можуть бути: гібридна інтеграція сенсорних елементів мембранного типу, в якому «технологічна площадка» є складовою частиною сенсорів; інтеграція досліджуваних ІС та MEMS елементів методом перевернутого кристалу. Топологія «технологічної площадки» та варіанти її використання показано на рис. 3 [3].

Важливим є те, що дослідження можуть бути

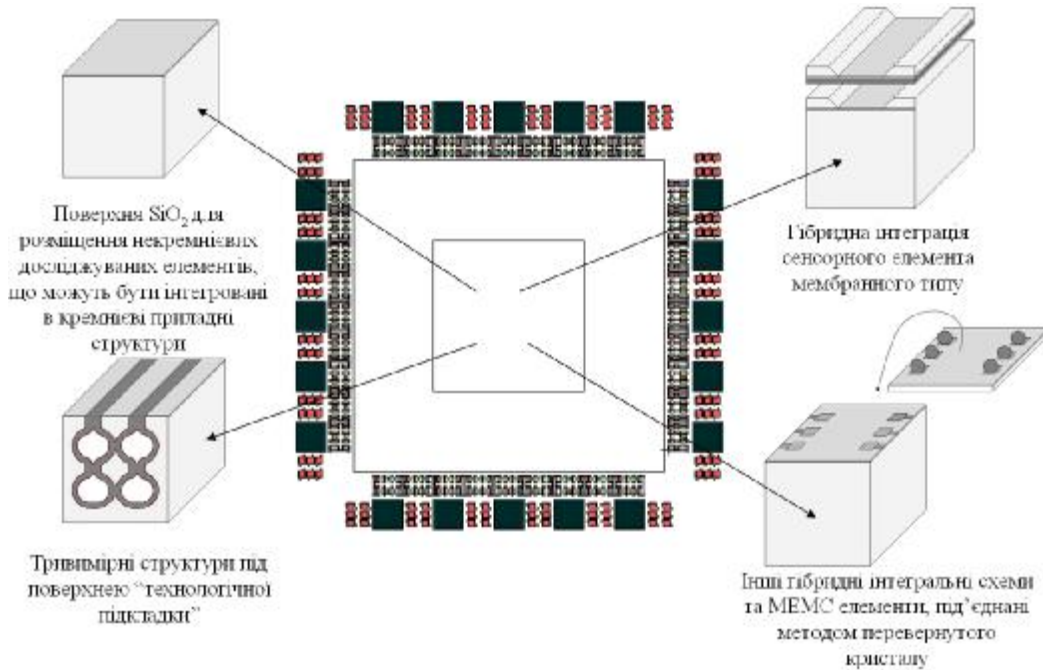


Fig. 3. General view of the «technological area» layouts and some possibilities of using.

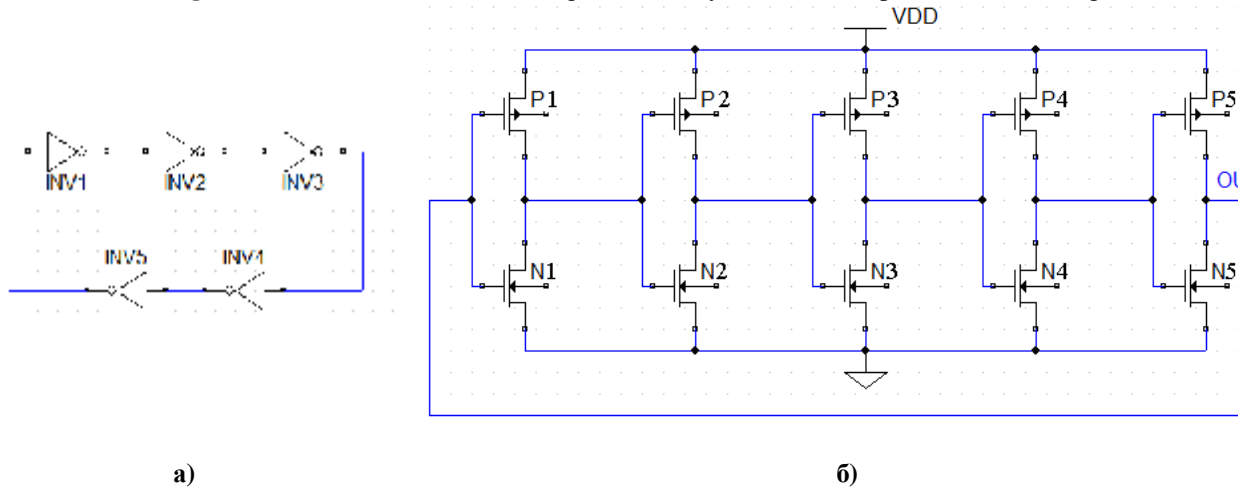
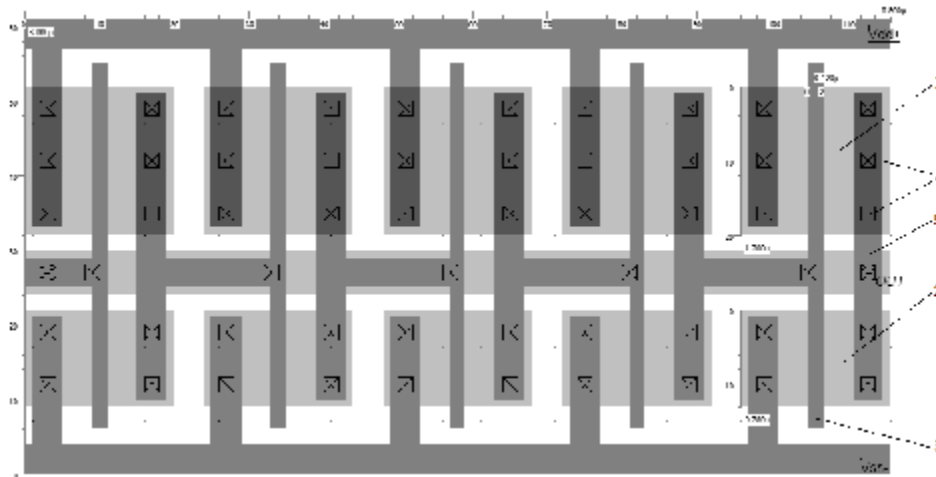


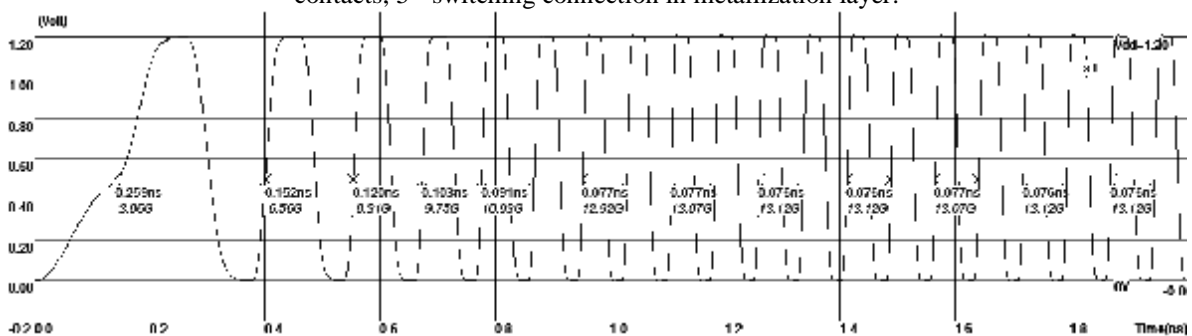
Fig. 4. The block (a) and electrical (b) ring oscillator circuit consisting of five inverters.

некремнієвих елементів. Також передбачено виводи з полікремнію для спрощення підключення досліджуваних елементів, а також для зменшення впливів паразитних ефектів, наприклад, ємності між шаром металізації та КНІ плівкою. Залежно від мети використання, технологічну площадку можна формувати як спеціалізовану. Наприклад, для дослідження некремнієвих елементів, вона являє

проведені безпосередньо за допомогою мікросистеми, що дозволяє отримати більш достовірні результати, оскільки усуваються паразитні ефекти, властиві аналітичним макросистемам, такі як опір провідників, їх індуктивності, ємності та ін.



**Fig. 5.** Specialized ring oscillator layouts: 1 - source-drain area of p-channel MOS transistors; 2 – source-drain area of n - channel MOS transistors; 3 - polysilicon gates p- and n-channel MOS transistors; 4 - contacts; 5 - switching connection in metallization layer.



**Fig. 6.** Simulation results of the ring oscillator based on the bulk CMOS structure

## II. Проектування топології та схемотопологічне моделювання кільцевого генератора

Як джерело тактового сигналу для інтегральних схем і систем-на-кристалі використовуються генератори імпульсів, зокрема кільцевий генератор, що являє собою простий коливальний контур, робота якого ґрунтується на основі затримки перемикання між входом і виходом інвертора. Окрім цього, кільцеві генератори є добрим об'єктом для оцінки параметрів елементної бази з новими і малодослідженими технологіями. В роботі проведено схемотопологічне моделювання кільцевого генератора, що складається з непарної кількості інверторів (в даному випадку п'ятьох). Такий генератор не потребує зовнішніх часозадаючих схем, частота його коливань залежить від кількості вентилів і їх часу затримки [4].

Структурна та електрична схеми кільцевого генератора, що складається з п'ятьох з'єднаних між собою інверторів зображено на рис. 4, а) і б).

Для дослідження характеристик кільцевого генератора безпосередньо із топології відповідно до схеми рис. 4, було розроблено спеціалізовану топологію з використанням об'ємних КМОН

транзисторів, та топологію на основі розробленої комірки базового матричного кристалу з структурою КНІ з Спеціалізовану топологію кільцевого генератора, розроблену на основі об'ємної технології КМОН, зображено на рис. 5.

Ширини каналів для всіх р-канальних транзисторів становлять 1,2 мкм, п-канальних транзисторів – 0,78 мкм, довжини каналів всіх транзисторів є однаковими і становлять 0,12 мкм.

Результати схемо-топологічного моделювання кільцевого генератора відповідно до топології рис. 5 при напрузі живлення 1,2 В зображено на рис. 6.

Робоча частота досліджуваного генератора становить близько 13,1 ГГц, а його споживана потужність – 364 мкВт.

Топологію кільцевого генератора зі структурою КНІ на основі розробленої матричної комірки та його тривимірне представлення зображено на рис. 7 [5].

Позначення на даній топології аналогічні топології рис. 5. Результати схемо-топологічного моделювання цієї структури при напрузі живлення 1,2 В зображено на рис. 8.

Частота генерації у цьому випадку становить 19,6 ГГц. Збільшення частоти при одній і тій же напрузі живлення для кільцевого генератора в другому випадку відбувається через зменшену паразитну ємність в КНІ КМОН елементах. Шляхом зміни напруги живлення було встановлено, що

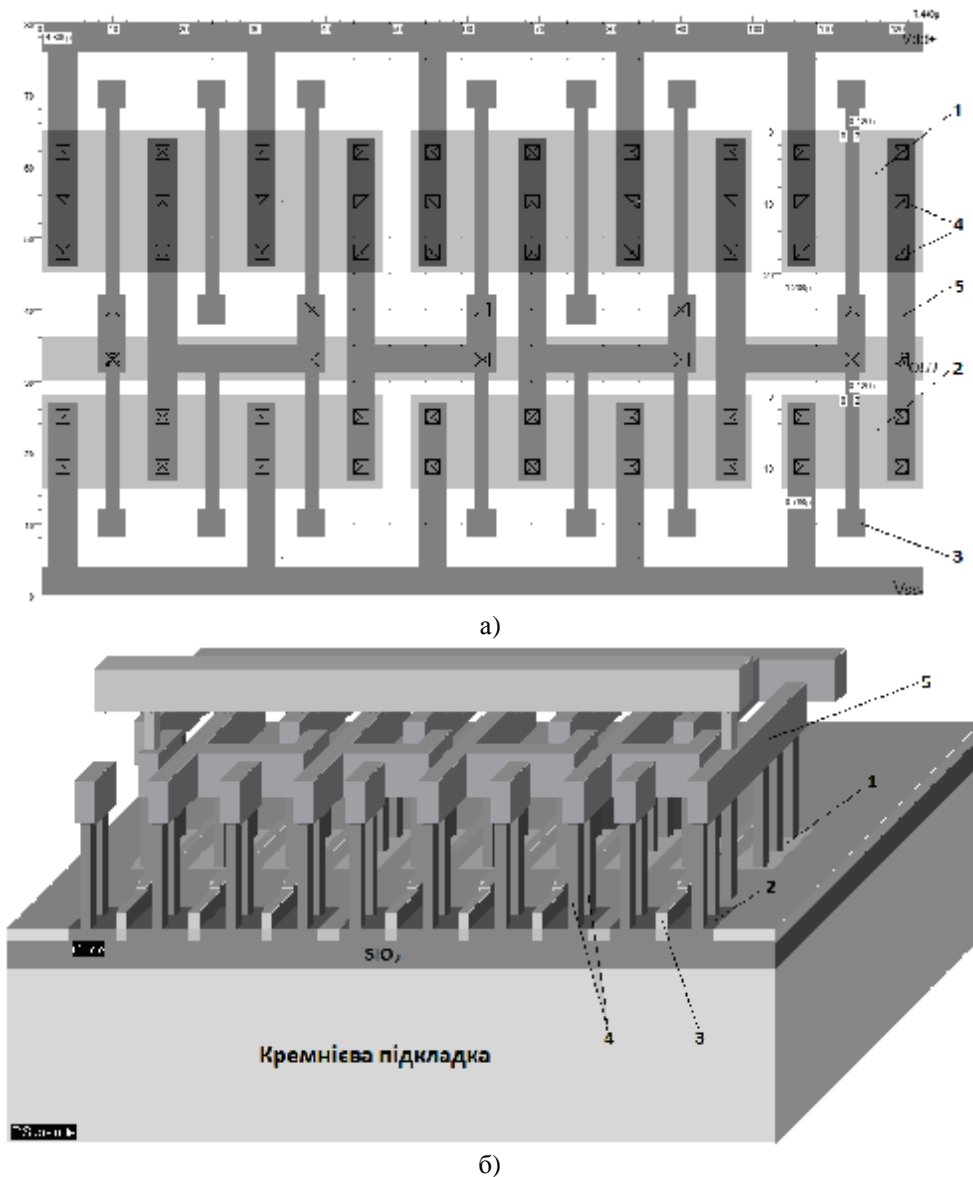


Fig. 7. Ring oscillator based on matrix cell with SOI-structures: a) layouts; b) 3D view.

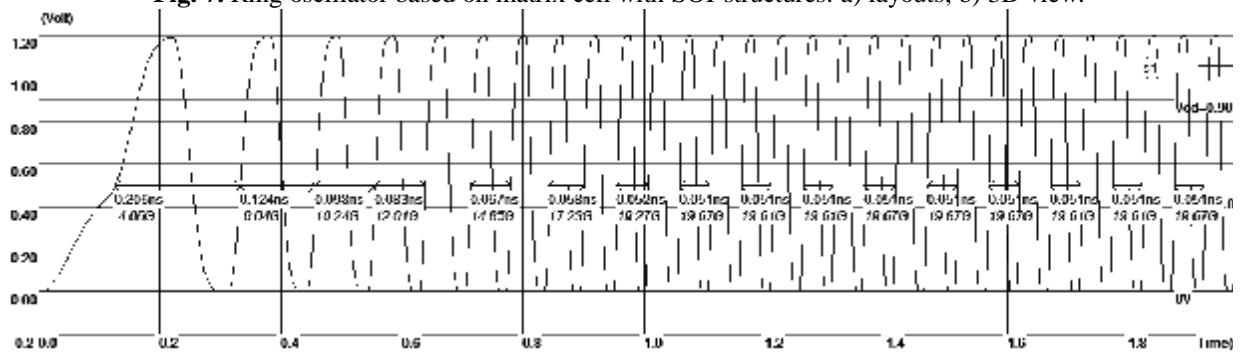


Рис. 8. Результати схемотопологічного моделювання кільцевого генератора на основі матричної комірки структурою КНІ.

частота 13,1 ГГц, що властива для кільцевого генератора, спроектованого на об'ємній КМОН технології у випадку використання КНІ структур досягається при напрузі живлення 0,9 В. Споживана потужність при цьому складає 67,86 мкВт, що в 5 раз менше порівняно з об'ємними КМОН структурами.

## Висновки

Запропоновано і розроблено архітектуру аналітичної мікросистеми-на-кристалі на основі структур кремній-на-ізоляторі, які включають

одновимірні та тривимірні елементи, а також КНІ-елементи під поверхнею кремнієвої пластини на основі мікропорожнин, спроектовано її топологію, запропоновано і розроблено оптимізовану базову комірку поля матриці аналітичної мікросистеми-на-кристалі для реалізації на її основі аналогових і цифрових схем первинного опрацювання інформації від досліджуваних об'єктів. Проведено схемо-топологічне моделювання окремих елементів мікросистеми для визначення їх електричних і часових характеристик. Отримані результати можуть бути використані при створенні аналітичних та

сенсорних мікросистем-на-кристалі з програмованими, за принципом базового матричного кристалу, топологічними шарами комутації та контактів.

**Довгий В.В.**- аспірант кафедри комп'ютерної інженерії та електроніки;

**Когут І.Т.** – д.т.н, професор кафедри комп'ютерної інженерії та електроніки;

**Голота В.І.** – к.т.н., доцент кафедри комп'ютерної інженерії та електроніки;

- [1] I.T. Kohut, A.O. Druzhynin, V.I. Holota, V.V. Dovhyy, Elementy analitychnykh mikrosystem-na-krystali na osnovi tryvymirnykh KNI-struktur. Zbirnyk tez 5-toyi ukrayins'koyi naukovoyi konferentsiyi z fizyky napivprovodnykiv (Uzhhorod, 2011). S.190.
- [2] I.T. Kogut, V.I. Holota, A.A. Druzhinin, V.V. Dovhij, Journal of Nano Research 39, 228 (2015).
- [3] I.T. Kogut, V.I. Holota, A.O. Druzhinin, V.V. Dovhij, NATO Advanced Research Workshop "Functional Nanomaterials and Devices for Electronics, Sensors, Energy Harvesting" (Lviv, Ukraine, 2015). – Sonf. Abs. – P.17.
- [4] <http://www.microwind.org>.
- [5] Patent # 62994 Ukrayiny na korysnu model'. Zayavka u201101326. Komirka bazovoho matrychnoho krystala / Druzhynin A.O., Kohut I.T., Holota V.I., Khoverko Yu.M., Dovhyy V.V., Vuytsyk A.M. - MPK G01B 7/16(2006.01), G01L 9/14(2006.01), opubl. 26.09.2011, byul. #18/2011.

V.V. Dovgiy, I.T. Kohut, V.I. Golota

## Design and Simulation Elements of Analytical Microsystem-on-Chip With the Structures "Silicon-on-Insulator"

*Carpathian National University named after V. Stefanik, Street. Shevchenko, 57, Ivano-Frankivsk, 76000, Ukraine,  
e-mail: igorkohut2202@gmail.com*

In this paper the results of architecture development, layout design of analytical microsystem-on-chip with the structures "silicon-on-insulator" (SOI) and its elements schemotechnical computer simulation for determine their electrical and time characteristics are presented.

**Keywords:** analytical microsystem-on-chip, silicon-on-insulator structure, gate array, ring oscillator.