



УКРАЇНА

(19) UA (11) 36463 (13) U

(51) МПК (2006)

С30В 31/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ВИГОТОВЛЕННЯ ЛОКАЛЬНИХ ТРИВИМІРНИХ СТРУКТУР "КРЕМНІЙ-НА-ІЗОЛЯТОРІ"

1

2

(21) u200806941

(22) 19.05.2008

(24) 27.10.2008

(46) 27.10.2008, Бюл.№ 20, 2008 р.

(72) КОГУТ ІГОР ТИМОФІЙОВИЧ, UA, ГОЛОТА
ВІКТОР ІВАНОВИЧ, UA, ДРУЖИНІН АНАТОЛІЙ
ОЛЕКСАНДРОВИЧ, UA, САПОН СЕРГІЙ ВАСИ-
ЛЬОВИЧ, UA(73) ПРИКАРПАТСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІ-
ВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ВАСИЛЯ СТЕФАНИКА, UA(57) Спосіб виготовлення локальних тривимірних
структур "кремній-на-ізоляторі", який включає мас-
кування поверхні пластини за заданою топологією
ділянками плівки нітриду кремнію, створення в
пластині проміжків, як між ділянками маскуючого

покриття, так і на заданій глибині під поверхню пластини для формування в цих місцях анодування пористого кремнію та його проокислення з формуванням ізолюючого окислу кремнію, який відрізняється тим, в немаскованих за заданою топологією місцях в кремнієвій пластині витравлюють на задану глибину вертикальні щілини, покривають їх нітридом кремнію, який селективно витравлюють на дні щілини, витравлюванням кремнію поглиблюють щілини та формують порожнини, після чого їх локально окислюють, знімають маскуюче покриття і планаризують поверхню піролітичним окислом з наступним його частковим видаленням на потрібну глибину у вертикальних щілинах.

Спосіб належить до мікро- та наноелектронних технологій і може бути застосований у формуванні локальних тривимірних структур типу «кремній-на-ізоляторі» (КНІ) та виготовлення на цій основі активних приладних елементів, зокрема тривимірних, для інтегральних схем (ІС), сенсорної мікроелектроніки і пристроїв мікросистемної техніки (МСТ) та їх монолітної інтеграції при створенні мікросистем-на-кристалі.

Відомим є метод одержання КНІ-плівок методом імплантації іонів кисню в кремнієву пластину за SIMOX-технологією на задану глибину з наступним термічним відпалом цієї структури [1]. Цей метод дозволяє формувати суцільні по всій поверхні пластини КНІ-плівки, в основному тонкі, з товщинами 0,2-1,0 мкм.

Проте SIMOX-технологія є достатньо складною, і КНІ-пластини, одержувані цим методом є дорогими, а в КНІ-плівці мають місце дефекти внаслідок порушень кристалічної ґратки в процесі високоенергетичного легування іонами кисню. SIMOX КНІ плівки мають невеликі товщини, є однаковими по всій поверхні пластини, і як правило, можуть використовуватися для одного типу приладів, наприклад, інтегральних схем. Проте для побудови інтегрованих мікросистем-на-кристалі, які б включали сенсорні та актуаторні елементи та схеми обробки було б доцільним мати можливості

конструювання на одному кристалі об'ємних, тривимірних КНІ-елементів з різними товщинами КНІ-плівок, а також безпосередньо і на об'ємній частині кристалу. Ці недоліки обмежують широке використання SIMOX КНІ-пластин.

Відомим є спосіб формування методом HI-FIPOS локальних, планарних і частково ізольованих від кремнієвої пластини р-типу провідності КНІ-структур n-типу провідності [2], розташованих на поверхні пластини у вигляді сітки регулярно - повторюваних острівців із заданими кроками по координатних осях. Згідно із цим методом в місцях майбутніх КНІ-структур в кремнієвій пластині локально формують поверхневий шар ділянок n-типу провідності, наприклад, легуючи домішками n-типу, маскують їх нітридом кремнію, а через немасковані, відкриті ділянки проводять високоенергетичне легування на задану глибину іонами водню для зміни типу провідності кремнієвої пластини з р-типу на n-тип провідності з формуванням при цьому на заданій глибині під поверхню пластини шару утоплених острівців n-типу провідності. В процесі температурних обробок і дифузійних процесів утоплені острівці n-типу провідності латерально ростуть і розташовуються на нижчому рівні і частково під шаром регулярних ділянок n-типу, сформованих перед цим на поверхні кремнієвої пластини. При цьому, між поверхню пластини у

(13) U

(11) 36463

(19) UA

відкритих місцях та пластиною, а також між проміжками як в шарі утоплених острівців, так і між поверхневим та утопленими шарами острівців n-типу провідності залишаються проміжки p-типу провідності.

Методом анодування вказані проміжки перетворюють у пористий кремній, а при наступному їх проокисненні формують локальні, утоплені ділянки окислу кремнію, що заповнює вертикальні проміжки між ділянками поверхневого шару n-типу провідності, так і частково, за рахунок бокового росту окислу, заповнюються проміжки під ними, тобто між ділянками поверхневого і утопленого шарів n-типу провідності. Оскільки анодуванню підлягають кремнієві пластини p-типу провідності, вказаним методом можна створювати локальні, і з частковою ізоляцією від пластини, KHI-структури n-типу провідності, які розташовані на пластині за певною заданою топологією, в даному випадку, регулярно-розташованими у вигляді сітки. Такі структури можуть бути вигідними для створення, наприклад, інтегральних схем з регулярною структурою. Проте недоліком даного методу є те, що KHI-структури мають лише один тип провідності, чим обмежуються можливості їх використання, а застосування високоенергетичного обладнання для легування протонами водню для зміни типу провідності у локальних місцях на заданій глибині під поверхнею пластини ускладнює технологію одержання таких структур і робить їх дорогими.

Аналіз реальних топологій мікроелектронних пристроїв показує, що в більшості випадків, для створення активних елементів мікроелектронних приладів в інтегральних схемах (IC), мікросенсорних або мікросистемних пристроях, як правило, використовується лише 20-40% площі для їх реалізації. Решта частини площі поверхні KHI-плівки використовується, наприклад, для міжелементної ізоляції, і підлягає проокисненню або утворенню ізолюючих каналок. Окрім цього, із ростом ступеня інтеграції, суттєво зменшуються до субмікрометрових та десятків нанометрових топологічні розміри активних елементів інтегральних пристроїв, актуальними є проблеми інтеграції на одному кристалі різноманітних як сенсорних так і актюаторних елементів, схем контролю і управління, тобто створення мікросистем-на-кристалі, формування тривимірних елементів, що вимагає необхідності мати на одному кристалі різні типи вихідних структур для розширення можливостей конструювання на їх основі приладів.

Тому виходячи із наведених аргументів, перспективним підходом формування KHI-структур можуть бути методи створення локальних, «прив'язаних» до конкретної топології, із високою досконалістю, тривимірних KHI-структур в яких будуть реалізовані активні приладні елементи, з можливостями створення як тривимірних архітектур, так і стандартних планарних, а також можливостей використання на одному кристалі як KHI-структур, так і стандартних об'ємних.

В основу корисної моделі пропонуваного способу поставлене завдання спрощення і створення недорогої промислової технології формування KHI-структур, розширення можливостей конструювання різноманітних приладних архітектур на од-

ному кристалі, в тому числі для проектування інтегрованих мікросистем-на-кристалі.

Поставлене завдання вирішується тим, що в способі одержання структур типу «кремній-на-ізоляторі» (за аналогією із методом HI-FIPOS), який включає маскування поверхні пластини за заданою топологією ділянками плівки нітриду кремнію, створення в пластині проміжків як між ділянками маскуючого покриття так і на заданій глибині під поверхнею пластини для формування в цих місцях анодуванням пористого кремнію та його проокислення з формуванням ізолюючого окислу кремнію. Після цього унезамаскованих за заданою топологією місцях в кремнієвій пластині витравлюють на задану глибину вертикальні щілини, покривають їх нітридом кремнію, який селективно витравлюють на дні щілини, витравлюванням кремнію поглиблюють щілини та формують порожнини, після чого їх локально окислюють, знімають маскуюче покриття і планаризують поверхню піролітичним окислом з наступним його частковим видаленням на потрібну глибину у вертикальних щілинах.

Новим у цьому способі є те, що локальні, тобто, розташовані за заданою топологією, тривимірні KHI-структури створюють комбінуючи методи маскування, селективного плазмохімічного анізотропного та ізотропного травлення зі сторони робочої поверхні кремнієвої пластини для формування вертикальних щілин, їх поглиблення, формування горизонтальних порожнин-тунелів під поверхнею кремнієвої пластини в місцях KHI-острівців, їх локального окислення, планаризації поверхні пластини піролітичним окислом та його витравлення у вертикальних щілинах на задану глибину.

Приклад конкретного виконання.

Суть пропонованого способу пояснюється Фіг.1-10, на яких зображено результати приладно-технологічного комп'ютерного моделювання послідовності базових технологічних операцій створення локальних тривимірних структур типу «кремній-на-ізоляторі» згідно із корисною моделлю у вигляді поперечних перетинів структур, а на Фіг.11-12 зображено результати моделювання технології формування тривимірної приладної KHI МОН-транзисторної структури.

На Фіг.1-12 цифрами позначені: 1 - кремнієва пластинка, наприклад, КДБ-40 з кристалографічною орієнтацією поверхні (100); 2 - локальні ділянки плівки нітриду кремнію Si_3N_4 (або оксинітриду кремнію) товщиною 0,1мкм; 3 - осаджений і сформований літографією і травленням шар окислу кремнію SiO_2 товщиною 0,1мкм; 4 - дно щілини в пластині, отримане плазмохімічним травленням; 5 - нижня частина незахищеної поверхні щілини після бокового плазмохімічного травлення кремнію (горизонтальний тунель); 6 - термічний окисел на поверхні горизонтального тунелю 5, утворений термічними проокисленням кремнію до змикання із сусіднім тунелем; 7 - локальна тривимірна KHI-структура, ізольована від пластини 1 термічним окислом 6; 8 - осаджений планаризаційний окисел кремнію; 9 - термічний підзатворний окисел кремнію для формування тривимірної приладної МОН-структури; 10 - тривимірний полікремнієвий затвор МОН-транзистора, канал якого утворений на пове-

рхні і вертикальних стінках локальної КНІ-структури 7.

На кожній із фігур 1-12 подані горизонтальні і вертикальні шкали у мікрометрах, які дозволяють оцінити реальні топологічні розміри елементів і товщини елементів на поперечних перетинах КНІ-структури. Всі перетини структур, зображені - на Фіг.1-12, були одержані в результаті приладно-технологічного комп'ютерного моделювання. Технологічна послідовність формування локальних тривимірних КНІ-структур і технології формування тривимірної приладної КНІ МОН-транзисторної структури відповідно Фіг.1-12 є наступною:

- на Фіг.1 зображено кремнієву пластину 1 після осадження шару нітриду кремнію товщиною 0,1мкм, на якій методом фотолітографії та плазмохімічного травлення нітриду кремнію на всю його товщину до поверхні з пластиною утворюють вікна шириною 1мкм і необхідної довжини, яка визначається топологічними розмірами приладних структур, наприклад, довжиною каналу КНІ МОН- транзистора;

- на Фіг.2 зображено поперечний перетин структури після ізотропного плазмохімічного травлення незамаскованих ділянок кремнієвої пластини на глибину 1,5мкм;

- на Фіг.3 зображено поперечний перетин структури після повторного осадження шару нітриду кремнію товщиною 0,02мкм, осадження шару окислу кремнію товщиною 0,1мкм та формування фотолітографією і плазмохімічним травленням маскуючих ділянок на горизонтальній поверхні кремнієвої пластини;

- на Фіг.4 зображено поперечний перетин структури після наступної технологічної операції, а саме, після анізотропного плазмохімічного травлення нітриду кремнію на дні протравлених щілин в кремнієвій пластині;

- на Фіг.5 зображено поперечний перетин структури після наступного кроку анізотропного плазмохімічного травлення окислу кремнію для збільшення висоти протравлених щілин в кремнієвій пластині на 0,5мкм;

- на Фіг.6 зображено поперечний перетин структури після наступної технологічної операції ізотропне травлення кремнію на глибину 0,5мкм для створення об'ємних заглиблених порожнин в кремнієвій пластині;

- на Фіг.7 зображено поперечний перетин структури після наступної операції термічного окислення кремнію впродовж 90хв. для створення ізольованих від пластини тривимірних локальних областей кристалічного кремнію;

- на Фіг.8 зображено поперечний перетин структури після травлення окислу кремнію товщиною 0,1мкм;

- на Фіг.9 зображено поперечний перетин структури після операцій осадження піролітичного окислу кремнію розкладом моносилану для заповнення порожнин і щілин та планаризації поверхні;

- на Фіг.10 зображено поперечний перетин структури після травлення піролітичного окислу кремнію в щілинах на глибину 0,8мкм з отриманням тривимірних локальних КНІ-структур, придатних для створення приладів, наприклад, КНІ МОН-транзисторів;

- на Фіг.11 зображено поперечний перетин структури після операцій термічного окислення тривимірної поверхні локальної КНІ-структури для одержання підзатворного діелектрика МОН-транзистора з тривимірною поверхнею підзатворної області;

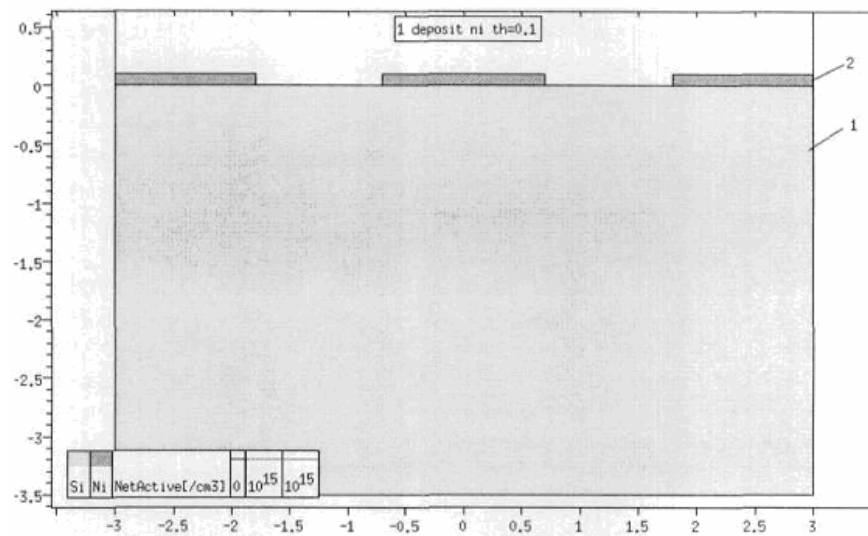
- на Фіг.12 зображено поперечний перетин структури після операцій осадження шару полікремнію, його легування для зменшення поверхневого опору та фотолітографії для одержання КНІ МОН-транзистора з тривимірною конфігацією затвора;

Отже, як видно із результатів приладно-технологічного комп'ютерного моделювання, запропонованим методом можна формувати локальні тривимірні мікроструктури типу «кремній-на-ізоляторі», а саме ділянки кристалічного кремнію ізольовані від пластини окислом кремнію сформованим на заданій глибині під поверхнею пластини в порожнинах і створювати на цій основі мікроелектронні пристрої. Наприклад, МОН-прилади, як із стандартними, планарними конструкціями на поверхні локальних ділянок КНІ-структур, так і з об'ємними, тривимірними конфігураціями, наприклад, затвором, який може бути створений як на поверхні так і на бокових вертикальних стінках КНІ-структур. Окрім цього, такі локальні тривимірні КНІ-структури, формування яких є «прив'язаним» до топології мікроелектронних пристроїв, можуть також успішно застосовуватися для проектування мікросенсорів, елементів мікросистемної техніки, створення інтегрованих мікросистем-на-кристалі, одночасного створення як КНІ-приладів, так і приладів на основі об'ємного кремнію на ділянках кристалу у вільних від КНІ-структур.

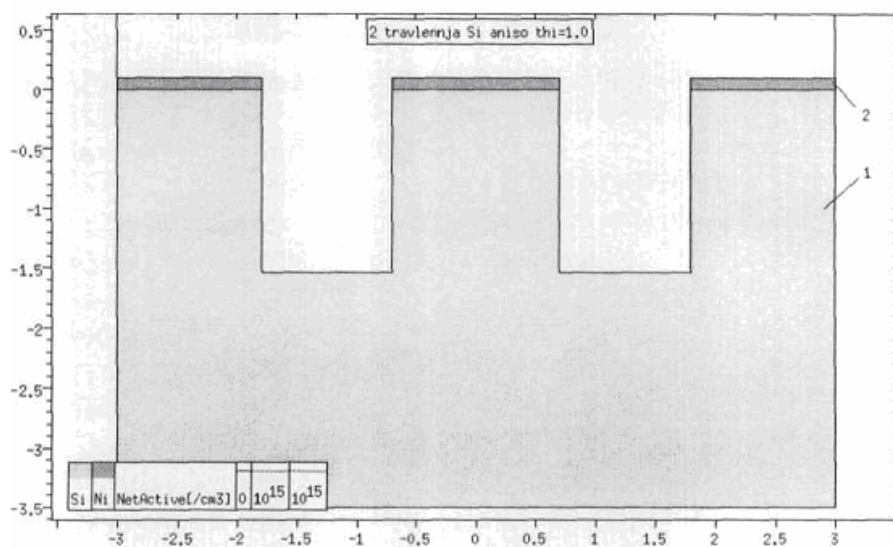
Використані джерела інформації:

1. Jean-Pierre Collinge, Silicon-on-Insulator Technology: materials to VLSI, 2nd Edition, by Kluwer Academic Publishers, 1997.

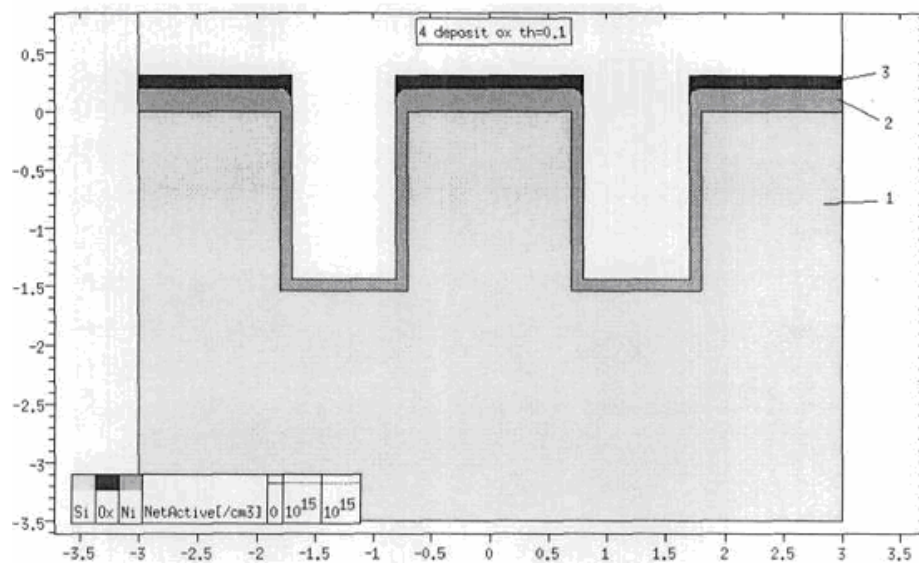
2. Physical and Technical Problems of SOI Structures and Devices. Ed. by J.P.Collinge, V.S. Lysenko and A.N. Nazarov. 1995 Kluwer Academic Publishers, Printed in Netherlands. NATO ASI Series 3: High Technology - Vol.4, pp.41-42.



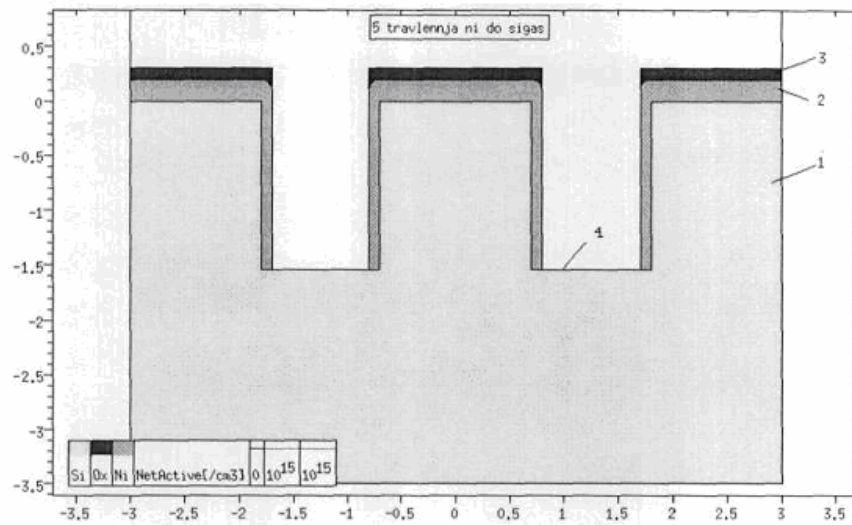
Фиг. 1



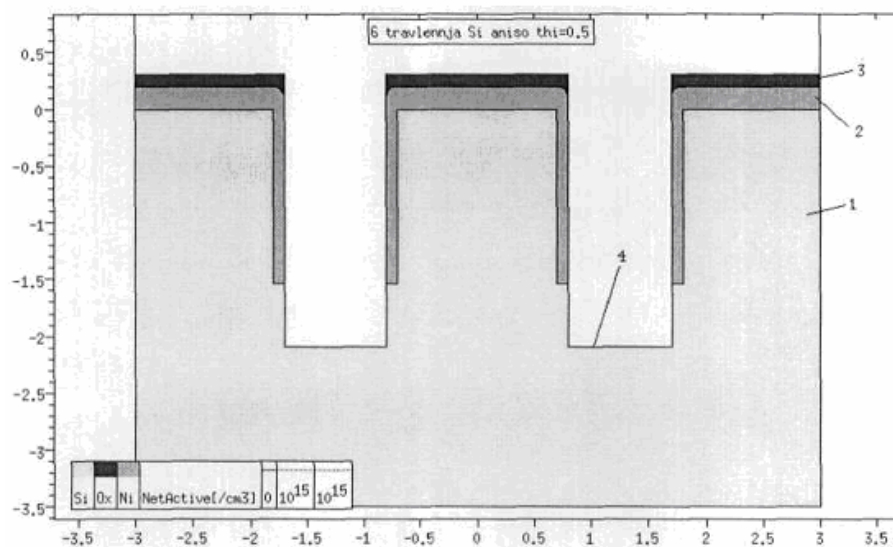
Фиг. 2



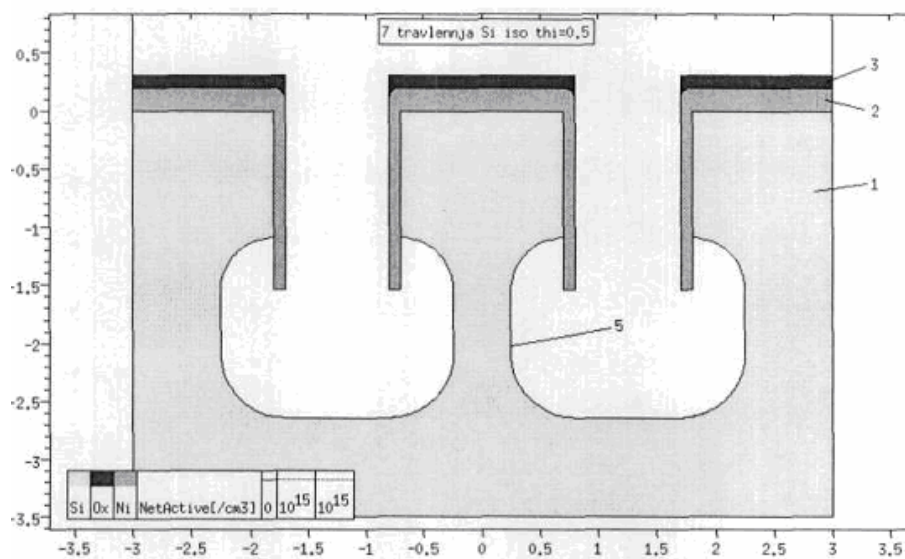
Фиг. 3



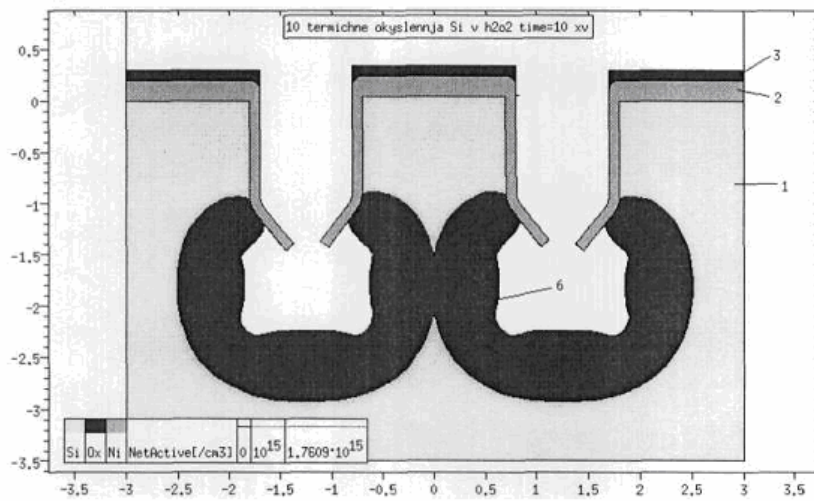
Φir. 4



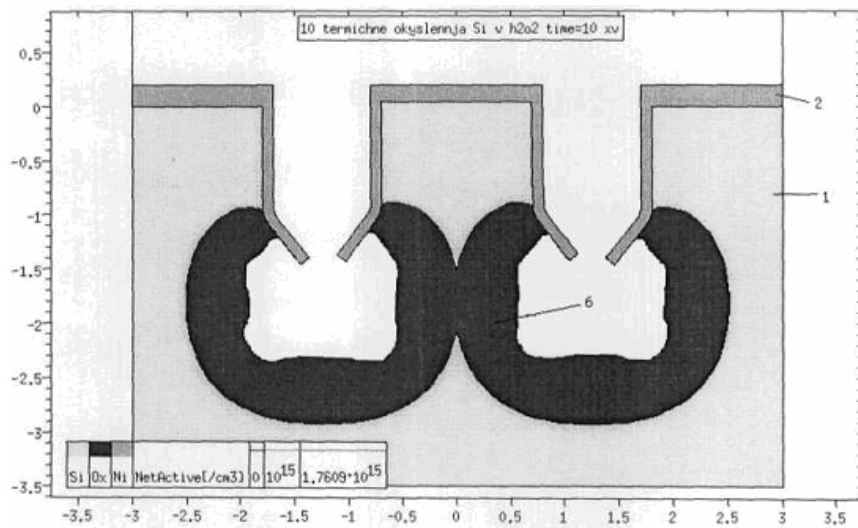
Φir. 5



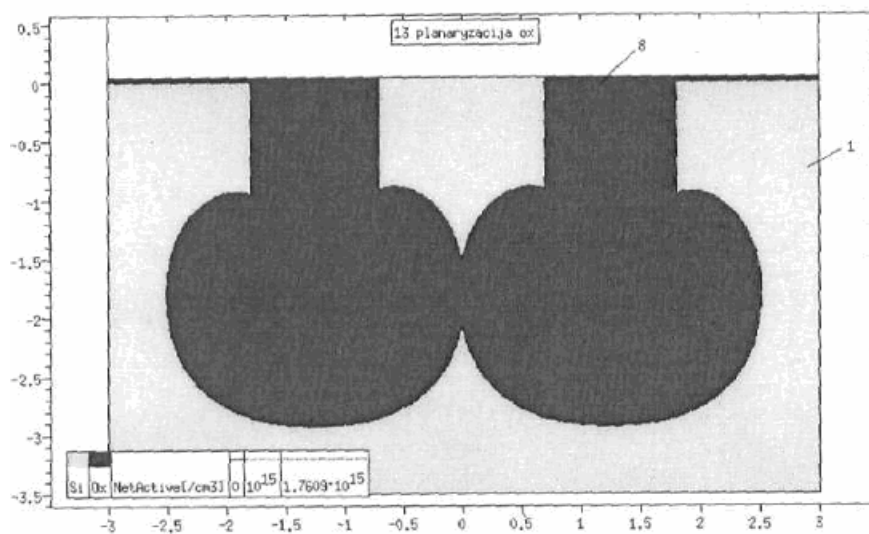
Φir. 6



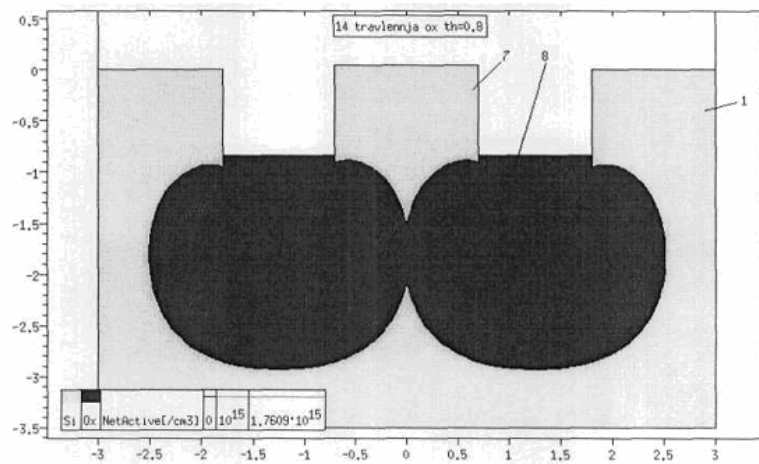
Φir. 7



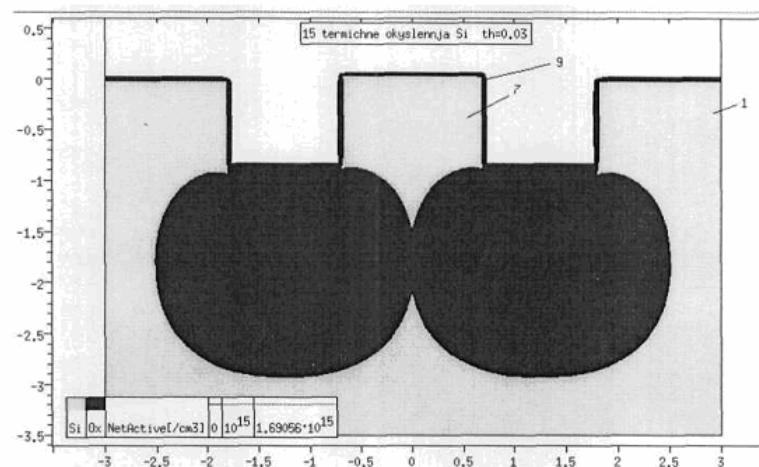
Φir. 8



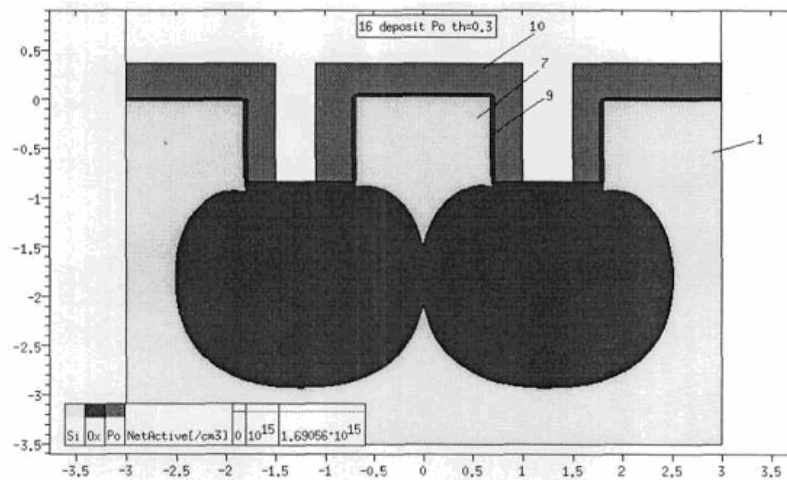
Φir. 9



Фиг. 10



Фиг. 11



Фиг. 12