

КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

На правах рукопису

УДК. 621. 315. 592

КОГУТ

Ігор Тимофійович

**ЕЛЕМЕНТИ МОНИТОРИНГУ І СЕНСОРНІ ПРИСТРОЇ  
НА ОСНОВІ КНІ-СТРУКТУР  
З ЛАЗЕРНОЮ РЕКРИСТАЛІЗАЦІЄЮ  
ПОЛІКРЕМНІЄВОГО ШАРУ**

Спеціальність 05.27.01. «Твердотіла електроніка,  
мікроелектроніка»

ДИСЕРТАЦІЯ

на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук  
в формі наукової доповіді

КИЇВ — 1993



Робота виконана на кафедрі напівпровідникової електроніки  
Львівського політехнічного інституту  
і СКТБ "ОРИЗОН" (ВО"РОДОН") м. Івано-Франківськ

- Наукові керівники** - доктор технічних наук,  
професор Воронін В. О.  
- кандидат технічних наук,  
доцент Дружинін А. О.
- Офіційні опоненти** - член-кореспондент АН України,  
доктор фізико-математичних наук,  
професор Лисенко В. С.,  
кандидат технічних наук  
Сидоренко В. П.

**Ведуча організація** - ВО "ГАМА" м. Запоріжжя

Захист дисертації відбудеться - "17" травня 1993 р.  
на засіданні спеціалізованої ради К 068.14.17 при Київському  
політехнічному інституті за адресою: 252056, м. Київ,  
пр. Перемоги 37.

З науковою доповіддю можна ознайомитись в бібліотеці  
Київського політехнічного інституту

Автореферат розіслано "15" квітня 1993 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої ради

К. Т. Н.  
В. Д. КОБЦЕВ

ЛНБ ім. В. Стефаника  
АН України

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Розвиток мікроелектроніки, а також розширення сфер використання приладів пов'язано з багатьма проблемами. А саме: підвищення густини упаковки; швидкодія; підвищення стійкості приладів до факторів, що змінюють провідність підкладки (температура, світло, радіаційні впливи і т. д.), що впливає на величину паразитних зв'язків між елементами ІС і, як наслідок, їхні параметри; усунення ефекту "замикання" для комплементарних (КМОП) ІС. Виконання цих задач стандартними методами не завжди вдається і є практично можливим. Більш кардинальним підходом, що вирішує ці проблеми, є заміна провідної підкладки приладу на ізолюючу в реалізацію елементів в тонкій напівпровідниковій плівці, створеній на ізоляторі. Кремнієві структури з непровідною підкладкою носять загальну назву "кремній-на-ізоляторі" (КНІ). Крім цього, в останнє десятиріччя відмічається значне піднесення активності в цій сфері, завдяки унікальним властивостям КНІ-структур, що дозволяють створювати на їх основі ІС з інтеграцією приладів по вертикалі, тобто з двома і більше рівнями приладів в однорідних плівках монокристалічного кремнію, розділених шарами ізолятора (трьохмірні або багат шарові ІС), а також модифікувати конструкції звичайних ІС з метою покращення їх характеристик. Для розв'язання поставлених задач необхідне вивчення і розуміння механізму і закономірностей рекристалізації полікремнію, що в свою чергу дозволить освоїти технологію одержання бездефектних епітаксіальних шарів кремній-на-ізолюючих підкладках і створювати на їх основі мікроелектронні прилади, в тому числі чутливі елементи датчиків фізичних величин з розширеними функціональними можливостями. Крім цього, незважаючи на значну зовнішню подібність характеристик КНІ-приладів і приладів на основі монокристалічного кремнію, існує цілий ряд суттєвих фізичних відмінностей в їх роботі: вплив провідної підкладки, що грає роль другого затвору в МОН-структурі; здатність одночасного збагачення обох поверхонь шару полікремнію; прояв "кінк-ефекту" та ін. Вивчення і дослідження цих відмінностей необхідні для опису фізичних моделей КНІ-структур, які є основою проектування мікроелектронних приладів.

Створенню і дослідженню мікроелектронних приладів, а саме елементів МОН ІС та сенсорних пристроїв (СП) з структурою КНІ, а також вдосконаленню приладів і технології їх виготовлення присвячена ця робота.

Мета роботи: дослідження можливостей створення елементів МОН ІС та сенсорних пристроїв на основі структур кремній-на-ізоляторі,

сформованих методом мікроезонної лазерної рекристалізації полікремнієвого шару, включаючи розробку способів покращення якості приладів і технології їх виготовлення.

Наукова новизна:

1. Встановлено кореляцію між властивостями рекристалізованого полікремнію і режимами мікроезонної лазерної обробки, типом вихідних структур. Оптимізовані умови формування шляхом рекристалізації ділянок монокристалічних кремнієвих плівок на ізоляторі, котрі мають для створення на їх основі мікроелектронних приладів достатні (до 700 мкм) лінійні розміри, задану кристалографічну орієнтацію і задане розташування дефектних границь зерен. Оптимізацію здійснено шляхом створення планарної поверхні вихідного полікремнію в КНІ-структурі, періодичного розподілу температури в зоні розплаву, використання бокового епітаксійного росту від затравок; при цьому елементи, що створюють періодичне теплове поле і затравки є прив'язані до топології приладів.

2. Розроблено та досліджено тестові елементи для контролю параметрів КНІ-структур, приладів на їх основі, технології виготовлення. Показано, що під впливом лазерної обробки зменшується густина зарядових станів на границях розділу Si-SiO<sub>2</sub> в конденсаторних і транзисторних КНІ МОН-структурах; а при перевищенні порогової потужності лазерного опромінення в них зменшуються пробивні напруги. Це лежить в основі оптимізації умов лазерної обробки і покращення параметрів приладів.

3. Проаналізовано особливості n-канального МОН-транзистора, сформованого в тонкій плівці на ізоляторі, що фактично складається з двох транзисторів керованих затвором і підкладкою, а між ними існує нейтральна область, яка є причиною "кінк-ефекту" ВАХ в області насичення. Для вивчення фізичних процесів в таких транзисторах розроблено новий n-канальний КНІ МОН-транзистор з додатковим n+-контактом до області з інверсною провідністю рекристалізованого полікремнію, запропоновано його фізичну модель і показано можливість усунення "кінк-ефекту" подачею напруги зміщення між n+-контактом і витоком транзистора.

4. Покращення стабільності ВАХ і технологічності потужних КНІ МОН-транзисторів з затвором матричної конфігурації досягнуто за рахунок контактів-затравок до рекристалізованого шару і технологічно виконаних на перетинах ділянок затвору-матриці, тобто там де не протікають струми стоку транзистора. При електричному зміщенні підкладки контакти-затравки виконують роль стоків для дірок в підканальної області, що усуває "кінк-ефект".

Б. Розроблено конструктивно-технологічні основи створення чутливих елементів датчиків фізичних величин з структурою КНІ. На прикладі КНІ-тензодатчика встановлено анізотропію електричного опору тензорезисторів від напрямку сканування променя лазера в процесі рекристалізації. Для максимальної тензочутливості оптимальним напрямом сканування є напрям, що співпадає з кристалографічним  $[110]$  і довгою віссю тензорезистора, а оптимальною площиною поверхні пластини -  $(100)$ , прямокутна форма мембрани. Виготовлені датчики мають високу чутливість, придатні для використання в широкому діапазоні температур.

6. Розроблено нові структури і способи одержання мікроконтактних з'єднань з розвиненою поверхнею, що мають високу надійність, є технологічними і малочутливими до впливу процесів складання на термомеханічні напруження в приладних структурах; ефективний спосіб електротермотренування ІС на пластині.

#### Практичне значення.

1. На підставі результатів дослідження закономірностей мікрозонної рекристалізації полікремнієвих шарів на ізолюючих підкладках залежно від типу вихідних структур і умов обробки розроблені фізико-технологічні основи як одержання матеріалу придатного для виготовлення мікроелектронних приладів, так і формування елементів МОН ІС і сенсорних приладів зі структурою КНІ. Виготовлені і досліджені тестові елементи КНІ МОН ІС, реальні зразки п'єзорезистивних датчиків тиску. Виготовлені датчики мають хороші технологічні характеристики. Розроблені нові конструктивно-технологічні рішення створення напівпровідникових датчиків фізичних величин - А. с. N1458710, N1462990, N1583769.

2. В результаті аналізу методів підвищення якості КНІ приладів, їх надійності і густини упаковки розроблені спосіб виготовлення самосуміщених МОН-структур типу кремній-на-ізоляторі (А. с. N1493010), структура МОН ІС з заниженими внутрішкешніми струмами втрат (поз. рішення по заявці N4664908/25), інвертор для побудови запам'ятовуючих пристроїв з високою густиною запису інформації (А. с. N1494214).

3. На підставі аналізу експериментальних даних по вивченню явища "кінк-ефекту" в КНІ МОН-приладах показано можливість управління "кінк-ефектом". Розроблені і виготовлені КНІ МОН-транзистори з усуненим "кінк-ефектом" (поз. рішення по заявці N4822519/25); запропонована конструкція потужного матричного КНІ МОН-транзистора з оригінальним способом управління "кінк-ефектом", і крім цього, придатного для виготовлення в рекристалізованих шарах полікремнію з

малими товщинами ( $\sim 0,1$  мкм і менше) (пов. рішення по заявці N4923867/25).

4. Розроблені конструктивно-технологічні варіанти виготовлення мікроконтактних зв'язок в ІС (А.с. N1414236, N1634052, N1664084, N1623493, пов. рішення по заявках N4706052/25, N4945170/25), що дозволяють зменшити термомеханічні напруження в структурах приладів, оптимізувати процеси складання приладів, покращити їх технологічність: спосіб електротермотренування ІС на пластині (пов. рішення по заявці N4948907/21).

5. Результати роботи використовуються в наукових дослідженнях і для створення нових приладних КНІ-структур кафедрою напівпровідникової електроніки Львівського політехнічного інституту і СКТЕ "ОПІЗОН" (ВО "РОДОН"); дослідні КНІ-тестодатчики - розробках випробувального обладнання (ВО "РОДОН"); технічні рішення, що є придатними для ІС на основі монокремнію, використані в розробках і серійних ІС ВО "РОДОН":

- ВІС статичної пам'яті - КМ132РУ8, КМ132РУ9, КМ132РУ11;
- калькуляторних ВІС - КР145ВВ7, КР145ВВ8;
- телевізійних ВІС - КР10Б1ХЛ1, КР1863ВВ6.

#### Автор захищає:

- фізико-технологічні основи формування КНІ-структур методом мікронотної рекристалізації полікремнієвих шарів, придатних для практичного виготовлення на їх основі елементів МОН ІС і СП;

- результати досліджень структурних і електрофізичних властивостей рекристалізованих полікремнієвих шарів, границь розділу в структурах КНІ;

- результати розробки і досліджень тестових елементів для контролю технології і параметрів рекристалізованих шарів полікремнію на ізоляційній підкладці, елементів МОН ІС і СП на їх основі, технологію їх виготовлення;

- нові конструктивно-технологічні способи для підвищення якості приладних КНІ МОН структур, покращення їх параметрів, управління "кінк-ефектом";

- оригінальні технічні рішення оптимізації складання приладів для підвищення виходу придатних і їх надійності, термоелектротренування ІС на пластині.

#### Апробація роботи

Основні результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на: республіканській науково-технічній конференції "Створення і використання лазерної техніки і технології в машинобудуванні і приладобудуванні" (м. Київ, 1985 р), I-й галузевій конфе-

ренції молодих вчених і спеціалістів (м. Нальчик, 1985 р.), Всесоюзній школі по термодинаміці і технології напівпровідникових кристалів і плівок (м. Івано-Франківськ, 1986 Р.), 12-ій Всесоюзній науково-технічній конференції по мікроелектроніці (м. Тбілісі, 1987 р.), Всесоюзній науково-технічній нараді "Шляхи вдосконалення технологій напівпровідникових і діелектричних матеріалів електронної техніки" (м. Одеса, 1988 р.), 7-ій Всесоюзній конференції по взаємодії оптичного випромінювання з речовиною (м. Ленінград, 1988 р.), Науково-технічному семінарі "Використання лазерів в промисловості" (м. Ленінград, 1989 р.), 3-му науково-технічному семінарі по електронних датчиках "Сенсор-89" (м. Ужгород, 1989 р.), 1-ій Міжнародній конференції по епітаксiальному росту кристалів (м. Будапешт, Угорщина, 1990 р.), 7-ій Міжнародній конференції по мікроелектроніці "Mikroelektronics '90" (м. Мінськ, СРСР 1990 р.), 3-ій Всесоюзній конференції по фізиці і технології тонких напівпровідникових плівок (м. Івано-Франківськ, 1990 р.), Науково-технічному зональному семінарі "Методи і засоби вимірювання параметрів в системах контролю і управління" (м. Пенза, 1991 р.), 3-ій Європейській конференції по росту кристалів (м. Будапешт, Угорщина, 1991 р.), Міжнародній науково-технічній конференції "Актуальні проблеми електронного приладобудування (АПЕП-91)" (м. Новосибірськ, 1992 р.), 2-ому Міжреспубліканському науково-технічному семінарі "Фізико-технологічні проблеми створення КНІ-структур і елементів електронної техніки на їх основі" (Київ, 1992 р.).

#### Публікації

Питання, розглянуті в дисертаційній роботі викладені в 44 друкованих роботах, в тому числі 10 статтях, 16 авторських свідоцтвах на винаходи, 15 доповідях на міжнародних, всесоюзних і республіканських конференціях, 3-х науково-технічних звітах по ДКР.

### **ЗМІСТ РОБОТИ**

#### 1. ФОРМУВАННЯ КНІ-СТРУКТУР МІКРОЗОННОЮ ЛАЗЕРНОЮ РЕКРИСТАЛІЗАЦІЄЮ ПОЛІКРЕМНІЄВИХ ШАРІВ

Аналіз відомих методів формування КНІ-структур показує, що досить ефективним методом є мікронна лазерна рекристалізація. Ефективність цього методу і його конкурентноздатність базуються на низькій температурі процесу і можливостях управляти розміщенням мізерних границь, контролю за напрямом кристалізації, багатопланового формування.

Дослідження процесів лазерної рекристалізації полікремнієвих шарів на ізоляційних підкладках проводились на створеній установці на базі лазерів ЛПН-101, де було передбачено контроль потужності лазерного променя і динаміки процесів плавлення та кристалізації.

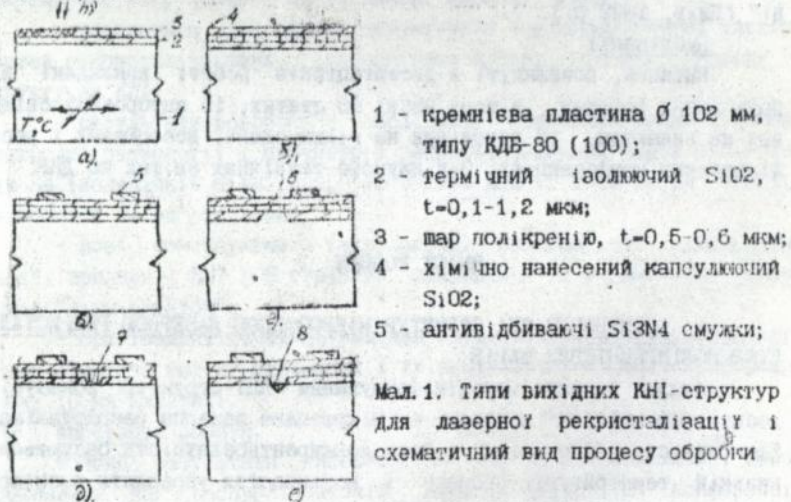
Оптимізація режимів обробки проводилась в таких діапазонах:

- діаметр розплавленої зони 100 - 150 мкм;
- вихідна потужність 13 - 20 Вт;
- перекриття смужок сканування до 40% ;
- швидкість сканування до 20 мм/с;
- температура підігріву пластини до 600°C.

Дослідження технології виготовлення КНІ-структур для створення елементів МОН ІС ІСП в використанні мікронної лазерної рекристалізації проводили в таких типах шарів полікремнію (мал.1):

- а) вільною поверхнею;
- б) капсулюючим покриттям;
- в) антивідбиваючим покриттям;
- г) з антивідбиваючим покриттям і монокристалічною затравкою:
  - в LCCOS-окислі (поз. 6);
  - д) - в окислі і планарною поверхнею (100) пластини (поз. 7);
  - е) - в окислі і поверхнею пластини у вигляді ямок травлення з гранями (111) (поз. 8);

Управління планарністю поверхні полікремнію - типом і розміром затравки.



Мал.1. Типи вихідних КНІ-структур для лазерної рекристалізації і схематичний вид процесу обробки

Аналіз досліджуваних зразків проводили за допомогою оптичної (х 1000 крат) мікроскопії, растрової електронної мікроскопії і

просвітлюючої мікроскопії. Виявлення границь зерен та інших дефектів проводили після селективного травлення 20-30 с в Сєєкко травнику. Для дослідження просвічуючою (ПЕМ) мікроскопією зразки приготували хімічним потоншенням в травнику HF:HNO<sub>3</sub>-1:5 зі сторони підкладки і методом сколів. Візуалізація шарової субмікронної структури і різного роду дефектів в поперечному перерізі - на косих шліфх в РЕМ. Орієнтацію шарів полікремнію до і після рекристалізації вивчали методом електроннографічного аналізу і за методикою анізотропного травлення через систему регулярних круглих отворів в капсулюючому шарі SiO<sub>2</sub>. Для оцінки електрофізичних властивостей рекристалізованих шарів полікремнію вимірювали поверхневий опір 4-х зондовим методом. Дослідження тензорезистивних та інших властивостей рекристалізованих полікремнієвих шарів, границь розділу в КНІ-структурах і приладах на їх основі проводили за допомогою розроблених тестових елементів і зразків СП. З метою дослідження і оптимізації умов мікроевної лазерної обробки як у вихідних КНІ-структурах, так і в технології формування елементів МОН ІС і СП шари полікремнію товщиною 0,5 мкм наносились в реакторі пониженого тиску при T-625°C на пластини КДВ-80 (102 мм) орієнтацією (100). Товщина ізолюючого окислу складала 1,0 мкм. Для створення оптимальних температурних градієнтів в зоні розплаву застосовувались капсулюючі і просвічуючі покриття [мал.2] SiO<sub>2</sub> (0,7 мкм) і Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> (0,1 мкм) і різні типи затравочних областей [20]. В окремих випадках шари полікремнію підлягали іонній імплантації фосфору і/або бору для дослідження зміни провідності шару після лазерного відпалу. Такі дослідження необхідні для формування шарів з заданною концентрацією акцепторної домішки для підгонки порогових напруг n-МОН транзисторів.

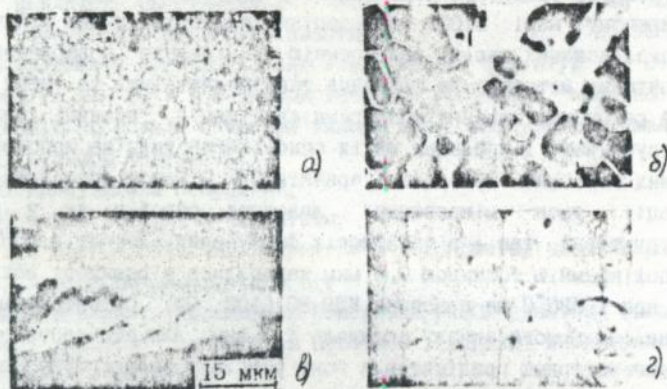


- 1 - монокристалічна підкладка;
- 2 - ізолюючий шар SiO<sub>2</sub>;
- 3 - шар полікремнію;
- 4 - капсулюючий шар SiO<sub>2</sub>;
- 5 - антивідбивне покриття Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>.

Мал.2. Косий шліф вихідної структури для локалізації дефектів в шарі полікремнію під Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-смужками

Дослідження ПЕМ вихідних (мал.3,а) шарів полікремнію, одержаних LPCVD-методом показують, що в площині підкладки і поперечному перетині вони мають дрібнозернисту специфічну волокнисту структуру:

кристаліти V-подібного вигляду, беруть початок в нижньої границі розділу  $\text{SiO}_2$  і виходять на поверхню шару, роторієнтованих між собою на невеликі до 15 кути. Електроннограми на відбиття вказують чітко виражену аксіальну структуру, вісь  $[110]$  якої перпендикулярна поверхні пластини. Шарову структуру в межах окремих кристалітів пояснюють високою густиною  $\{111\}$  мікродвійників, майже перпендикулярних підкладці, а в площині підкладки - хаотично азимутально роторієнтованих, що підтверджують електроннограми на провіт.



Мал. 3. Структури полікремнієвих шарів: а)- вихідна ( $\times 20000$ ), б), в), г)- після лазерної рекристалізації ( $\times 1000$ ), мозаїчна (б), шевронна (в), монокристалічні області з локальними границями зерен (г).

Середній розмір зерен в шарах полікремнію, визначений з ПЕМ мікрофотографій, - 0,025-0,03 мкм.

Для лазерного випромінювання на КНІ-структуру приводить до розплаву шару полікремнію, а сканування - до переміщення зони розплаву по всій пластині. В діапазоні потужностей 13-17 Вт починається суттєве збільшення розмірів зерен до 38 мкм і більше. Подальше збільшення потужності приводить до агломерації рекристалізуючого шару. Для зразків з вільною поверхнею утворюється сітка границь зерен "мозаїчної" форми (мал. 3, б), обумовлена нестабільністю границь розподілу "розплав-тверда фаза". Головними факторами, що обмежують ріст кристалітів являється зародження випадкових центрів кристалізації в розплаві. В цих умовах можна одержати зерна до 40-50 мкм. Додаткове покриття рекристалізуючого полікремнію шаром  $\text{SiO}_2$  суттєво покращує його якість. Крім захисту від забруднень, що понижує ймовірність випадкового зародкоутворення, знижується масоперенос,

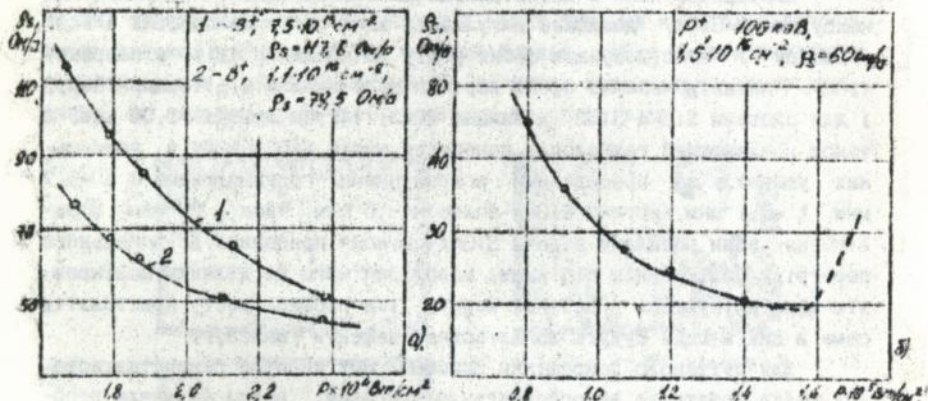
збільшується до 200мкм розмір зерен з текстурою переважно (100), що пояснюється орієнтаційною залежністю границі розділу Si/SiO<sub>2</sub>, і яка має, як відомо, мінімальні значення для площин (100).

Періодичне поле з антивідбиваючих Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> смужок, нанесених на капсулюючий SiO<sub>2</sub>, дозволяє регулювати температурний профіль в зоні розплаву і стабілізувати фронт росту по площинах (111) в напрямку <100>. Антивідбиваючий ефект періодично залежить від товщини шару; і для системи Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-SiO<sub>2</sub>, довжиною хвилі IAG;Nd-лазера -1,06 мкм, а також можливостей технології нанесення шарів SiO<sub>2</sub>-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> в заводських умовах, за проведеними розрахунками - оптимальними є t -0,7 мкм, t -0,1 мкм, ширина Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-полосок - 5 мкм, крок - 30 мкм. Переміщення зони розплаву вздовж Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-смужок приводить до локального перегріву полікремнію під ними, внаслідок чого ці ділянки полікремнію кристалізуються в останню чергу, і в процесі росту кристалітів саме в цих місцях будуть локалізовані дефекти (мал.3,г).

Для суттєвого покращення кристалічних якостей рекристалізованих шарів додатково використовували затравку, котра задавала необхідну орієнтацію, а антивідбиваючі смужки - стабільний фронт кристалізації з одночасною локалізацією дефектів. Крім того, для такого випадку, антивідбиваючі смужки запропоновано використовувати для компенсації відводу тепла в підкладку в ході рекристалізації через область затравки по відношенню до поверхні SiO<sub>2</sub> з меншою теплопровідністю. В ході експериментальних випробувань встановлено, що ефективно бокове нарощення монокристалітів від затравки на область ізолятора, і орієнтованих затравкою з розмірами до 70x500 мкм можливе при компланарній поверхні шару полікремнію. При наявності виступів в перехідній області між затравкою і SiO<sub>2</sub> виникають дефекти, що приводять до небажаного зародкоутворення і фактично в подальшому мішає росту монокристала на шарі SiO<sub>2</sub>. Крім цього, для отримання рівної поверхні полікремнію в вихідних структурах необхідно враховувати різні швидкості його осадження в процесі нанесення на SiO<sub>2</sub> і області затравок, розміри затравок, їх форму і профіль. [8, 12].

Крім структурних змін, досліджувались деякі електрофізичні характеристики попередньо легованих В і Р зразків до і після рекристалізації. На мал.4 показано зміну поверхневого опору, що замірявся 4-х зондовим методом, в режимах твердофазної (а) і рідкофазної (б) рекристалізації, що визначаються потужністю випромінювання. Збільшення провідності з ростом потужності випромінювання зв'язано не тільки із збільшенням розмірів кристалітів і електричною активацією домішки в процесі обробки. Крім того дія потужного світлового проміння понижує рекомбінаційні "пастки" на границях зерен.

При потужностях більше порогових спостерігається різке збільшення питомого опору, викликаного деградацією рекристалізованого шару, що підтверджується металографічними дослідженнями. [24].



Мал. 4. Залежність поверхневого опору рекристалізуючого полікременію від густини потужності випромінювання для твердофазної (а) і рідкофазної (б) обробки.

Тензометричні характеристики до і після рекристалізації досліджували на зразках з розмірами 17х9х0,5 мм, що мали КНІ-тензореzystори розмірами 2,5х0,7 мм з опором від 90 до 2500 Ом, закріплених на спеціальній балці, яку піддавали певній деформації. Усереднені експериментальні значення поєднанного коефіцієнта тензочутливості (К), температурного коефіцієнта опору (ТКО), температурного коефіцієнта тензочутливості (ТКТЧ) для зразків з рекристалізованим полікременієм представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Тип провідності, концентрація носіїв, (см <sup>-2</sup> )	К	ТКО, град <sup>-1</sup>	ТКТЧ, град <sup>-1</sup>
p-тип, 10 <sup>17</sup>	55	-	-
p-тип, 10 <sup>18</sup>	42	+2,3 · 10 <sup>-4</sup>	-1,6 · 10 <sup>-5</sup>
p-тип, 10 <sup>20</sup>	25	+1,1 · 10 <sup>-3</sup>	-1,5 · 10 <sup>-3</sup>
n-тип, 10 <sup>21</sup>	-22	+1,2 · 10 <sup>-3</sup>	-1,1 · 10 <sup>-4</sup>

Таким чином, відповідною підготовкою вихідних зразків КНІ-структур в поєднанні з оптимальними умовами лазерної обробки,

можна керувати розмірами рекристалізованих ділянок, їх орієнтацією, локалізацією дефектів, зменшити число міжзеренних границь. Лазерна рекристалізація суттєво збільшує тензочутливість матеріалу. Встановлена анізотропія електричного спору тензорезисторів дозволяє правильно вибирати напрям сканування. Одержані рекристалізовані ділянки полікремнію по своїх розмірах і структурній досконалості придатні для створення на їх основі елементів ІС і СП.

## 2. ТЕСТОВІ ЕЛЕМЕНТИ

ІС і СП на основі КНІ-структур мають ряд відмінних особливостей порівняно з приладами на основі монокремнію. Тому для вивчення технологічних особливостей виготовлення КНІ МОН ІС і СП, а також для вивчення основних характеристик рекристалізованого полікремнію (електрофізичних і структурних властивостей, рухливості носіїв, стану границь розділу, фотолітографічних процесів на різних матеріалах КНІ-структури), що визначають їх придатність для виготовлення приладів, розроблених, виготовлених і досліджених набір тестових елементів, який умовно можна розділити на групи за призначенням, характеру дослідження і типу досліджуваних властивостей.

Перша група - тестові структури, які дозволяють досліджувати електрофізичні і структурні властивості рекристалізованих полікремнієвих шарів. Для визначення кристалографічної орієнтації і структури рекристалізованих шарів полікремнію сформовані елементи являють собою систему круглих регулярних отворів діаметром 2 мкм в захисному оксиді. Анізотропе травлення за допомогою цих тестів вказує на переважну кристалографічну орієнтацію (100) як в місцях затравочних обл'стей, так і поза ними, тобто на шарі SiO<sub>2</sub>. Система тестових резисторів, орієнтованих під різними кутами в напрямі сканування лазерного променя створена для визначення однорідності рекристалізованого полікремнію на пластині, а також для вивчення впливу локалізованих границь зерен на провідність матеріалу. Аналіз величини опору різних резисторів вказує на однорідність полікремнієвого шару по пластині. Розкид опору по пластині складає +2%. Для визначення концентрації і холовоєської рухливості носіїв застосовувався тест, що дозволяв досліджувати е.р.с. Хола в постійному магнітному полі.

Поряд з високими вимогами до структурної досконалості рекристалізованого кремнію важливою є також задача збереження властивостей шарів, що лежать нижче при формуванні багатошарової структури. Електричні властивості приладів, створених за структурах КНІ визна-

чаються як параметрами самих шарів на ізоляторі, так і природою і величиною заряду на границі розділу Si-SiO<sub>2</sub>. Для вивчення границь розділу були створені МОН-конденсатори, а також тест, що являє собою комбінацію різних шарів багатшарової структури, орієнтованих вздовж і перпендикулярно напрямку сканування лазерного променя (мал. 5). Структура КНІ МОН-конденсатора і його ВЕХ представлені на мал. 6.

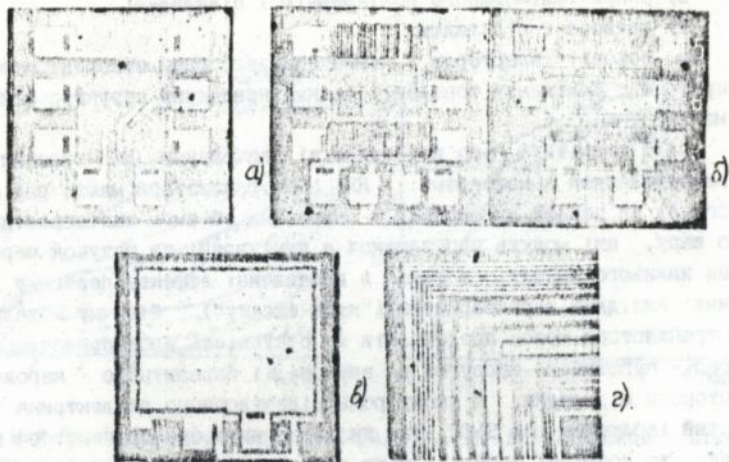
Аналіз електричних характеристик сформованих конденсаторів проводився за допомогою дослідження ВЕХ, використовуючи як електроди підкладку, затвор і контакт до рекристалізованого полікремнію.

Зміщення характеристики в сторону від'ємних напруг відповідає наявності ефективного заряду в підзатворному окислі на границі розділу з рекристалізованим полікремнієм порядку  $6 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$ . На мал. 6в показано ВЕХ при подачі напруги зміщення до рекристалізованого полікремнію і до монокристалічної підкладки. Величина напруги плоских зон вказує на ефективний заряд в ізолюючому окислі на границі розділу з ізолюючою підкладкою  $3 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$ . Дещо велика величина ефективного заряду зв'язана, ймовірно, з виникненням механічних напруг в монокремнієвій підкладці в процесі лазерної обробки. Таким чином, дослідження тестових КНІ МОН-конденсаторів дають можливість оцінити стан границь розділу в системі, яка вміщує шари полікремнію оброблені лазером, що дозволяє підібрати оптимальні режими обробки полікремнію для створення в ньому елементів МОН ІС і СП [27]

Окрему групу тестових елементів становлять структури для контролю техпроцесу виготовлення КНІ - структур. Серія контактів між різними матеріалами дозволяла оцінити можливі помилки техпроцесу. Структури у вигляді гребінки і змієвидної форми з різним кроком дозволили визначити можливості фотолітографічного процесу на різних матеріалах. При використанні рекристалізованого полікремнію для виготовлення елементів ІС можливо формування структур з розміром до 2 мкм стандартними методами.

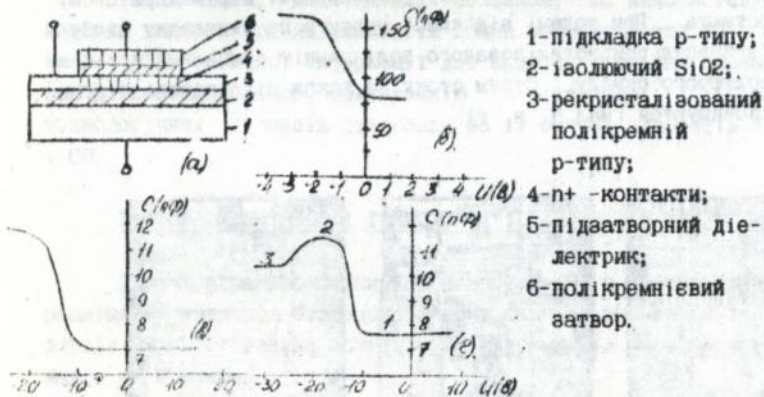
Після лазерної рекристалізації полікремнієвого шару для формування тестових структур транзисторного типу з полікремнієвим затвором використовувався метод самосушимої технології; товщина підзатворного діелектрика складала 70 нм; формування областей стоку і витоку проводилася іонною імплантацією фосфору (100 кеВ,  $3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ ).

Для оцінки можливості створення ІС на КНІ-структурах і контролю роботи елементів ІС в рекристалізованому полікремнії були виготовлені n-МОН-транзистори з різним співвідношенням геометричних розмірів каналу, n-p-n - структури, інвертори та інші компоненти ІС.



Мал. 5. Фрагменти топології тестових елементів.

- а) для визначення опору резисторів, різно орієнтованих в напрямі сканування;
- б) для контролю фотолітографічного процесу;
- в) МОН-конденсатор для вивчення границь розділу;
- г) багат шарова структура для вивчення границь розділу за допомогою косих шліфів.



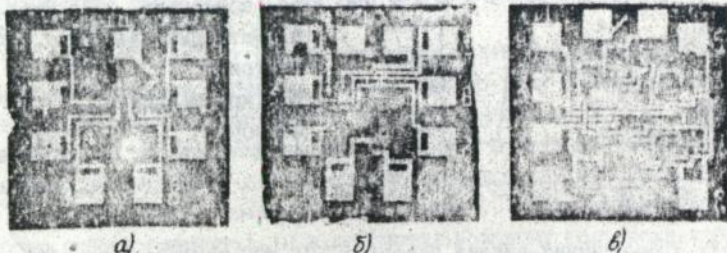
Мал. 6. Схематичний вигляд перерізу ІНІ МОН-конденсатора -а) і його ВДХ, виміряні між контактами: б) затвора і рекристалізованого полікремнію;

- в) рекристалізованого полікремнію і підкладки;
- г) ватвора і підкладки.

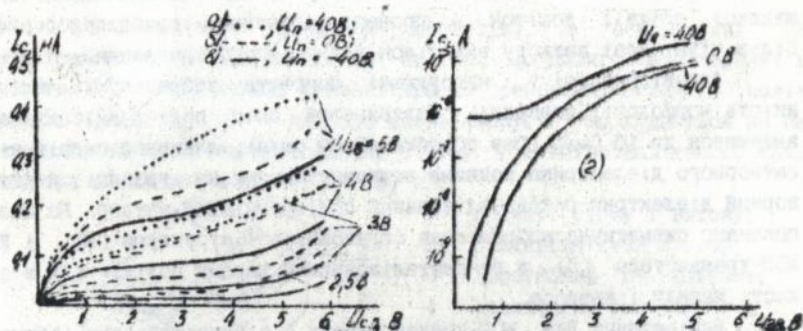
На основі інверторів з n-MOП-транзисторами створені кільцеві генератори. Фрагменти топології деяких приладних структур показані на мал. 7.

Слід відмітити, що порівняно зі звичайними МОП-транзисторами виготовленими в монокремні, КНІ МОП-транзистори мають ряд особливостей, зв'язаних насамперед з обмеженим об'ємом напівпровідникового шару, які можуть проявлятися в шунтуванні за рахунок перетворення нижнього каналу, а також в проявленні ефекту перегину статичних вихідних характеристик ("кінк-ефекту"). Фізичну модель КНІ МОП-транзистора можна представити як сукупність двох приладів: робочого - керованого напругою на ватворі, і паразитного - керованого зі сторони підкладки, в якому роль підзатворного діелектрика грає товстий ізолюючий шар SiO<sub>2</sub>. Так як вплив нижнього транзистора небажаний, то потрібні особливі міри по усуненню його впливу при виготовленні МОП ІО. Більш детально досліджувалися режими роботи n-MOП-транзисторів при різних напругах на ватворі і підкладці, характеристики яких представлені на мал. 8. [32]

В області насичення струму стоку спостерігається ефект перегину вихідних характеристик, характерний для КНІ МОП-транзисторів. При подачі позитивної напруги зі сторони підкладки струм стоку збільшується (мал. 8, б), що викликано, очевидно, утворенням додаткового каналу поблизу ізолюючого шару. Підпорогові струми при цьому значно зростають. При подачі від'ємної напруги на підкладку відбувається збагачення рекристалізованого полікремнію основними носіями поблизу ізолюючого окислу. Струм стоку, а також підпорогові струми при цьому зменшуються (мал. 8, в, г).



Мал. 7. Топологія тестових компонентів ІО. а) транзистор; б) інвертор; в) кільцевий генератор.



Мал. 8. Статичні вихідні ВАХ (а, б, в) і підпорогові струми (г) КНІ МОН-транзистора при різних зміщеннях підкладки.

Рухливість електронів в каналі n-МОН-транзисторів, виготовлених в рекристалізованому полікремнії, на ділянках, вільних від границь (субграниць) зерен, складає 500-700 см<sup>2</sup>/Вс; порогові напруги - 0,3-1,5 В. У випадку попадання границь зерен в канал транзистора, особливо границь, перпендикулярних напрямку струму, рухливість електронів суттєво зменшується. При поздовжніх границях зерен зменшуються пробивні напруги стоку і збільшуються струми втрат.

Таким чином, дослідження показали, що використовуючи оптимальний набір тестових елементів можна забезпечувати набір оперативної і діагностичної інформації для аналізу і оцінки параметрів шарів рекристалізованого полікремнію на ізоляторі і характеристик технологічних процесів створення на їх основі елементів КНІ МОН ІО і СП.

### 3. ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ І ПАРАМЕТРІВ КНІ МОН-СТРУКТУР

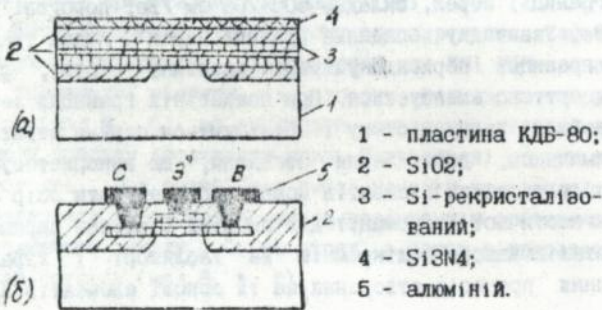
Робочі характеристики КНІ МОН-структур в самосуміщеному полікремнієвим затвором без застосування спеціальних прийомів до технології їх виготовлення можуть бути гіршими ніж характеристики приладів на монокремнії.

Для покращення якості самосумішених КНІ МОН-структур і їх параметрів розроблено спосіб [21], в котрому введені додаткові операції нанесення 2-х шарового антивідбиваючого покриття SiO<sub>2</sub>-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> на шар затворного полікремнію і наступна лазерна обробка такої структури. Обробка структури лазерним променем приводить до рекристалі-

зації полікремнієвого затвору МОН-транзистора і до зменшення в об'ємі матеріалу кількості границь зерен, що виключає аномалії швидкої дифузії домішок в процесі легування, дозволяє одержати більш чіткі краї затвору внаслідок рівномірного травлення.

Антивідбиваючі і капсулюючі покриття забезпечують високу якість морфології поверхні. Поверхневий опір полікремнієвих шин зменшився до 10 Ом/п (без обробки 40-50 Ом/п); лазерний нагрів підзатворного діелектрика понизив величину заряду на границі підзатворний діелектрик-рекристалізований полікремнієвий затвор. На мал.9 показано схематичне зображення багат шарової структури (а), і КНІ МОН-транзистора (б) з рекристалізованими шарами полікремнію в області каналу і затвора.

Вимірювання ВФХ МОН-конденсаторів, (в багат шарових структурах, мал.9) як залежності ємності затвор-підкладка від напруги затвор-підкладка, вказували на зменшення величини захопленого заряду на границі розділу ( $3 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$  - без лазерної обробки затворного полікремнію,  $1,5 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$  - після лазерної обробки і фіксованого заряду діелектрика відповідно  $5 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$  і  $8 \cdot 10^9 \text{ см}^{-2}$ ).



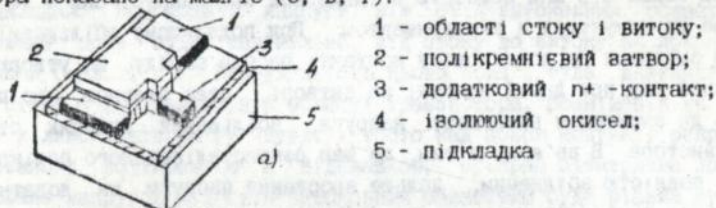
Мал. 9. Схематичне зображення багат шарової структури (а) і КНІ МОН-транзистора (б) з рекристалізованими шарами полікремнію в області каналу і затвора.

Розроблений спосіб для КНІ МОН-транзисторів може також використовуватися для стандартної МОН-технології з полікремнієвими затворами.

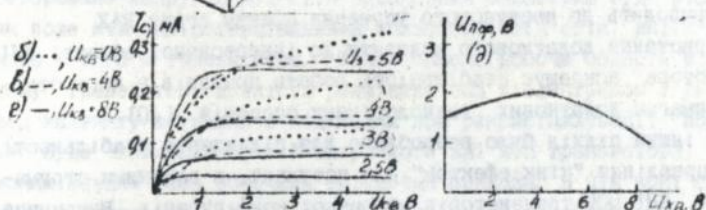
Дослідження КНІ МОН-транзисторів показали, що верхній і нижній транзистори можуть не впливати взаємно один на одного і працювати як незалежні прилади при прикладеній напрузі на затвор і підкладку. Це зв'язано з тим, що сумарна товщина областей збіднення зверху і знизу рекристалізованого полікремнію менше товщини плівки (0,5 мкм) і між ними існує нейтральна область, котра є причиною

"плаваючої підкладки", в тому числі "кінк-ефекту" вихідних характеристик.

Для дослідження фізичних процесів, в n-каналних КНІ МОН-транзисторах запропоновано спосіб, що полягає в створенні n+-контакту поблизу каналу транзистора до рекристалізованого полікремнію (мал.10, а) і вивчено вплив напруги, що подається на цей контакт, на механізм проходження струму. Сімейство ВАХ такого транзистора показано на мал.10 (б, в, г).



- 1 - області стоку і витоку;
- 2 - полікремнієвий затвор;
- 3 - додатковий n+ -контакт;
- 4 - ізолюючий окисел;
- 5 - підкладка



Мал.10. Схематичний вигляд n-каналного КНІ МОН-транзистора з додатковим n+ -контактом до інвертованої області приладу та його статичні вихідні ВАХ (б, в, г) і зміна порогової напруги при різних зміщеннях на додатковому контакті.

Для пояснення поведінки ВАХ КНІ МОН-транзистора з додатковим контактом пропонується наступна модель. Зворотня напруга зміщення, прикладена до інвертованої приповерхневої n-області, збільшує заряд в збідненому шарі. Оскільки від'ємний заряд, наведений різницею напруг між затвором і витоком ( $U_{зв}$ ), розподіляється між збідненим і інверсним шарами, збільшення заряду в збідненій області означає, що при даній затворній напрузі частка заряду, що утворює інверсний шар, стане меншою. Після подачі зворотної напруги зміщення на додатковий контакт для індукування попередньої кількості електронів в інверсному шарі потрібна більш висока напруга на затворі. Поверхневий потенціал  $\Phi_s$ , що відповідає початку сильної інверсії, стає рівним  $\Phi_s = -\Phi_p + U_{зв}$ , а  $\Phi_s = \Phi_p$ , де  $\Phi_p$  - потенціал в об'ємі кремнієвої плівки. Напруга зміщення, прикладена до інвертованого шару, не дає утворюватись інверсному шару, оскільки вона відтягує від поверхні електрони. Здатні утворювати інверсний шар до тих пір, поки поверхневий потенціал  $\Phi_s$  не стане рівним  $\Phi_s = \Phi_p + U_{зв}$ . Таким чином,

порогова напруга МОН-транзистора збільшується, робочі струми зменшуються. Максимальна ширина збідненого шару стає рівною

$$X_{d\max} = [2 s (2I_{\Phi 1} + U_{\text{кв}}) / gNA]$$

Оскільки досліджувані транзистори сформовані в плівці обмежених розмірів, то при певній напрузі зміщення на додатковому контакті збіднена область досягає протилежної границі полікремнієвого шару. Розрахунки показують, що плівка рекристалізованого полікремнію товщиною менше 0,5 мкм повністю збіднюється при напрузі  $U_{\text{кв}} = +4 \text{ В}$ , що добре узгоджується з експериментом. При подальшому збільшенні напруги зміщення на додатковому контакті частка заряду, що утворює інверсний шар при даній напрузі на затворі, стає більшою, що приводить до зменшення порогової напруги, збільшення робочих струмів транзистора. В зв'язку з тим, що шар рекристалізованого полікремнію стає повністю збідненим, дальше зростання напруги на додатковому контакті приводить до поступового усунення ефекту згину ВАХ.

Використання додаткового контакту до інвертованої області КНІ МОН-транзистора покращує стабільність роботи приладів з його створення не вимагає додаткових технологічних операцій. [40]

Дещо інший підхід було розроблено для підвищення стабільності роботи і управління "кінк-ефектом" для потужних, з великими струмами навантаження, КНІ МОН-транзисторів матричної конфігурації. Матричний транзистор складається з затвора матричної конфігурації (мал. 11в) і повторюваних в шахматному порядку елементарних областей стоків і витоків. Одноименні дифузійні області з'єднані шинами металізації. Для спрощення проектування кут між лініями металізації і матричним затвором приймається рівним  $45^\circ$ , при цьому елементарні дифузійні області дістають форму квадратів. Розмір сторони квадрата -  $s$ , визначається конструктивно-технологічними обмеженнями: шириною шин металізації -  $b$ , відстанню між ними -  $a$ , і довжиною затвора -  $l$  виразом:

$$s = 2(b + a) - l.$$

Матричний транзистор даної конфігурації складається з визначеного числа елементарних транзисторів:

$$N = (2n - 1)(m - 1),$$

де  $m, n$  - кількість рядків і стовбців.

Площа матричного транзистора складає:

$$S = (nw + 1)(mw + 1),$$

де  $w$  - ширина збідненого елемента затвора.

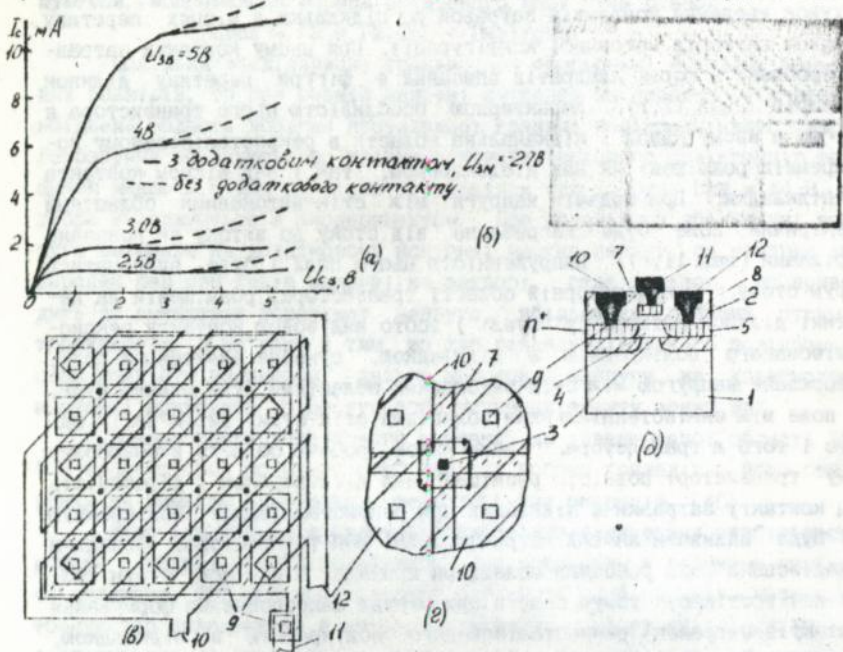
На мал. 11 показані ВАХ матричного КНІ МОН-транзистора з співвідношенням  $w/l = 1260/4,5$ . Для вказаних транзисторів крутизна складала  $3 - 5,5 \text{ мА/В}$ . Високе значення крутизни досягнуто вибором конс-

струкції і розмірами елементів. Управління "кінк-ефектом" та забезпечення високої якості рекристалізованого полікремнію досягнуто за рахунок введення контактів-затравок до підкладки в місцях перетину ділянок затворів матричної конфігурації. При цьому контакти-затравки зроблені в формі квадратів вписаних в фігури перетину ділянок затворів (мал. 11, г). Характерною особливістю цього транзистора є те, що в ньому канал і підканальна область в рекристалізованому полікремнію розміщені як над діелектриком, так і над вікном контакту до підкладки. При подачі напруги між стік-витоківими областями електричне поле буде направлено від стоку до витоків як показано стрілками (мал. 11, г). Напруженістю цього поля і буде визначатися струм стоку. В підзатворній області транзистора, розміщеній на перетині ділянок затвора (у "вузлі") тобто над зоною контакту рекристалізованого полікремнію з підкладкою, сумарне електричне поле, створюване напругою між стік-витоківими областями буде рівним нулю, як поле між еквіпотенціальними областями стік-стік, витік-витік одного і того ж транзистора. Таким чином, робоча область в розробленому транзисторі повністю розміщена над діелектриком і дефектність від контакту-затравки з підкладки при рекристалізації полікремнію не буде впливати на ВАХ матричного КНІ МОН-транзистора, оскільки локалізована поза робочими областями прилада. В цій аснї струм стоку не протікає, тому саме в цих місцях запропоновано формування контактів-затравок рекристалізованого полікремнію з підкладкою, котрі є тільки стоками для основних носіїв (дірок) з підканальних областей транзистора при подачі напруги зміщення до підкладки, і забезпечує ефективне управління "кінк-ефектом" [43].

Робочі характеристики КНІ-приладів і їх надійність визначаються не тільки допустимими електрофізичними параметрами шарів, пов'язаних з технологією їх виготовлення і режимами роботи, але і тим, наскільки оптимально це враховано в топології. Тому з метою кращої надійності приладів і виходу придатних, розроблена структура МОН ІС [29], в котрій дифузійні сигнальні шини (типу стік-витоківих областей) розміщені і підключені до електродів транзистора з врахуванням на них потенціалу таким чином, що різниця потенціалів на сусідніх шинах - мінімальна. Такий підхід дозволяє усунути внутрішні струми втрат не за рахунок збільшення відстаней між шинами, тобто збільшення площі кристалу, а шляхом уникнення суперпозиції електричних полів на кожній парі сусідніх шин. Розроблена структура, крім МОН ІС, може бути реалізована для всіх типів МОН приладів.

Компоненти ІС, реалізовані на структурах типу кремній-на-ізоляторі, можуть бути також успішно поєднані з стандартною МОН-техно-

логією ІО і використані для створення нових типів елементів з покращеними техніко-економічними показниками. Так, для побудови еле-

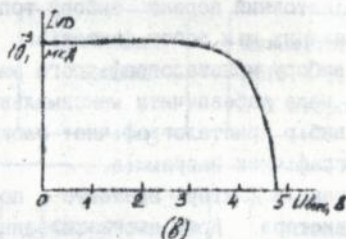
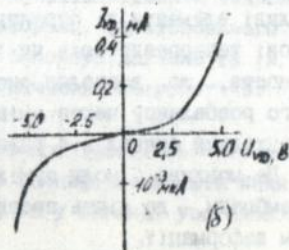
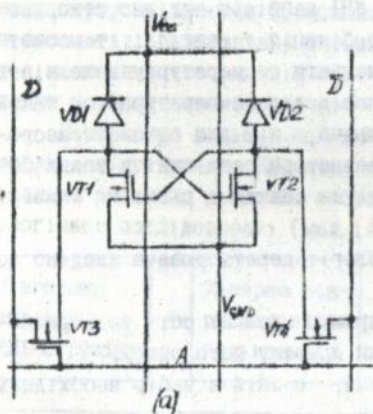


Мал. 11. Статичні ВАХ матричного КНІ МОН-транзистора (w/l-1260/4,5) а), його зовнішній вигляд б) і схематичне зображення топології КНІ МОН-транзистора в), збільшений фрагмент топології г) і переріз структури д). На мал. 11 позначено: 1 - підкладка; 2 - ізолюючий SiO<sub>2</sub>; 3 - контакт рекристалізованого полікремнію до підкладки; 4 - рекристалізований полікремній; 5 - стік-витоків області; 6 - підзатворний діелектрик; 7 - полікремнієвий затвор; 8 - мішарова ізоляція; 9 - контактні вікна до електродів транзистора; 10, 11, 12 - алюмінієві шини відповідно стоку, затвора і витоку.

ментів пам'яті статичних запам'ятовувачих пристроїв з високою густиною запису інформації розроблено інвертор [19], в котрому з метою зменшення площі і підвищення його стійкості до збоїв, разом з активним МОН-транзистором в монокремнії, як навантажувачий елемент використано вертикальний зворотньоозміщений p-n перехід, реалізований в полікремній-на-ізоляторі. Електрична схема такої комірки показана на мал. 11 (а), характеристика навантажувачого p-n переходу типу полікремній-полікремній на ізоляторі (б) і вихідна характеристика інвер-

тора (в). Як видно з наведених характеристик, р-п перехід, що працює в режимі генератора струму в даному випадку забезпечує високу швидкість переключення, тобто швидкодію, а реалізація інвертора у двох рівнях - транзистора в підкладці, а нагрузовочного р-п переходу на ізоляторі забезпечують мінімізацію площі.

Таким чином, використовуючи спеціальні технологічні, топологічні і конструктивні прийоми, що базуються на розумінні особливостей технології формування структур, принципів роботи і побудови елементів ІС, можна управляти якістю технології і параметрами КНІ МОН структур.



Мал. 13. Електрична схема комірки пам'яті (а), характеристика нагрузовочного р-п переходу типу полікремній-полікремній на ізоляторі (б) і вихідна характеристика інвертора (в).

#### 4. ТЕНЗОРЕЗИСТИВНІ ЕЛЕМЕНТИ ДАТЧИКІВ МЕХАНІЧНИХ ВЕЛИЧИН ЗІ СТРУКТУРОЮ КРЕМНІЙ-НА-ІЗОЛЯТОРІ

Лазерна рекристалізація шарів полікремнію на ізоляторі дозволяє в широких межах змінювати структуру шарів і їх орієнтацію, що дає можливість керувати такими параметрами рекристалізованого полікремнію, як опір, тензочутливість і їх температурні характеристики в залежності від концентрації легуючої домішки і умов лазерної обробки. Це відкриває широкі можливості для створення різноманітних сенсорних пристроїв, в тому числі для вимірювання механічних вели-

чин в діапазоні температур від мінус 196 до 350°C (температурний діапазон дифузійних датчиків на основі монокристалічного кремнію обмежений 120-150 С через використання р-п переходів).

В процесі роботи були розроблені і досліджені зразки сенсорів механічних величин зі структурою КНІ, при цьому акцентувалась увага на технологію виготовлення чутливих елементів, вплив на характеристики датчиків головних визначальних факторів - матеріалу, форми і розміру мембрани, кристалографічної орієнтації, топології і розміщення резисторів на мембрані, вибір напрямку сканування променя лазера в ході обробки КНІ-структур.

Чутливі елементи зі структурою КНІ найбільш вигідно створювати на основі тензореєсторів чи їх комбінацій у вигляді тензометричного моста, що дозволяє скомпенсувати температурну залежність початкового розбалансу через зміни опорів від температури, а також дістати вихідний сигнал в 4 рази більший, ніж для одного тензореєстора. Це можливо, коли суміжні резистори розміщені в таких областях мембрани, де діють протилежні за знаком і рівні чи близькі за модулем деформації.

Орієнтовний аспект вибору топології перетворювача зведено до двох зв'язаних між собою факторів:

- вибору кристалографічного напрямку довгої осі тензореєстора, що може забезпечити максимальний приріст його опору;
- вибір кристалографічної площини, в якій є набір необхідних кристалографічних напрямків.

Останній фактор враховує і поперечний кристалографічний напрямок резистора. Крім цього площина, в якій формуються резистори, може визначати і технологічні особливості виготовлення перетворювача, особливо при анізотропному травленні мембрани.

Для створення чутливих елементів датчика оптимальними є: робоча поверхня пластини з кристалографічною площиною (100), і напрям сканування променя лазера в ході обробки вихідної КНІ-структури, що співпадає з кристалографічним напрямком  $\{110\}$ , при цьому довгі осі тензореєсторів співпадають з цим напрямком. Це дозволяє отримати опори найбільш стабільні і з мінімальним розкидом за величиною, для заданої топології за рахунок зменшення міжзеренних границь і кращої структурної досконалості рекристалізованого полікремнію [41].

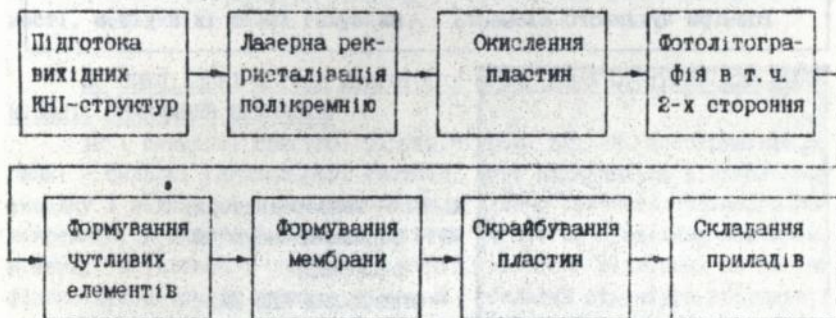
Форма мембрани була вибрана виходячи з вимог максимальної чутливості, для чого необхідно уникнути ефектів, що зменшують вихідний сигнал. Такі ефекти виникають для поздовжньо навантажених резисторів при наявності поперечних компонент напружень або деформацій. Вони можуть бути суттєво зменшені для мембран приликутного

типу. Перевагою такої мембрани є також відтворюваність і точність розмірів при виготовленні мембрани анізотропним травленням.

Товщина мембрани - важливий конструктивний параметр, оскільки при її зміні для однієї і тієї ж топології можна одержати цілий ряд перетворювачів на рівні діапазони тисків.

Основою технології виготовлення чутливих елементів датчиків є технологія МОН ІС зі структурою КНІ, технологія стандартних кремнієвих ІС. Разом з тим, в технології п'єзореаистивних датчиків механічних величин на основі КНІ-структур є операції, що не використовуються в загальноприйнятій мікроелектронній технології. В першу чергу це процеси формування мембрани, двостороннього суміщення топології, під'єднання елементів в корпус датчика та ін. Всі вони є важливими і в значній мірі визначають метрологічні характеристики готових перетворювачів.

Незважаючи на те, що конкретна послідовність операцій і їх особливості у випадку КНІ-структур є специфічними, між ними існують загальні риси, що дозволяє зобразити їх у вигляді узагальненої технологічної послідовності (мал. 14).



Мал. 14. Узагальнена технологічна послідовність виготовлення чутливих елементів п'єзореаистивних датчиків механічних величин зі структурою КНІ.

Топологія розробленого тензореаистивного датчика і переріз його структури показані на мал. 15. Тензореаистивні елементи 1-4 в рекристалізованого полікремнію, розміщені на мембрані з активною площею 2\*2 мм і товщиною 25-30 мкм, з'єднані в мостову схему, а ре-аистивний елемент 5 - використовується для термкомпенсації. Кон-такти до відповідних елементів тензореаистивного моста і розводка схеми створювалися напиленням алюмінію, який містить 1 % кремнію (АК-1) з послідуємим фотолітографічним травленням. Для захисту на

всю поверхню наносили пасивуюче покриття.

Для вказаних розмірів мембрани технічні характеристики датчика [41] наведені в табл. 2:

Таблиця 2. \*

Параметри	Значення
Діапазон вимірюваних тисків , бар	0 - 0,4; 0 - 1; 0 - 5; 0 - 100
Максимальне перевантаження , %	200
Живлення : - напруга , В	5-15
- струм , мА	1-5
Максимальний вихідний сигнал, мВ	100+10
Температурний дрейф нуля , мВ/°C	0,04+0,07
Температурний коефіцієнт чутливості, %/°C	-(0,04+0,05)
Діапазон робочих температур , °C	-60...+60 -20...+300
Резонансна частота , кГц	100+400
Розміри чутливого елемента , мм	5 x 5 x 0,5



R1-R4 - тензорезистори;  
R5 - термокомпенсуючий резистор;

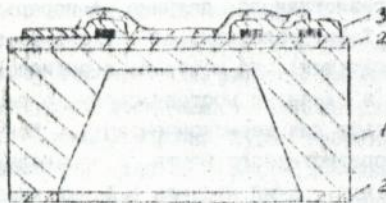
1 - підкладка КДБ-80;

2 - ізолятор SiO<sub>2</sub>, 1,2 мкм;

3 - металізація;

4 - підгоночні елементи;

5 - мембрана.



Мал. 15. Топологія (а) і переріз структури КНІ тензоперетворювача з мостовою схемою включення.

Таким чином, на основі проведених досліджень розроблена методика технологічного процесу виготовлення чутливих елементів датчиків тиску зі структурою "кремній-на-ізоляторі". Цілий ряд процесів технології ІС є придатним для виготовлення сенсорних пристроїв. Особливості інших процесів, пов'язаних зі специфікою виготовлення датчиків вимагають їх подальшого вивчення і вдосконалення для впровадження в промисловість. Розроблені сенсори зі структурою КНІ дозволяють покращити загальну характеристику якості сенсорів: добуток чутливості сенсора на його граничну частоту і на температурний діапазон. Запропонована технологічна схема виготовлення чутливих елементів датчиків може бути використана в умовах серійного виробництва і забезпечувати одержання сенсорів невисокої вартості з малим розкидом параметрів. Аналогічним чином на основі КНІ-технології можуть бути розроблені інші сенсори для вимірювання тиску, аусилля, прискорення і інших механічних величин. Такі сенсори, завдяки своїй мініатюрності, високій власній частоті, широкому температурному діапазону і оптимальним метрологічним характеристикам можуть бути широко застосовані в автомобільній, авіаційній, вугільній промисловості, медицині і інших галузях.

#### 5. СПЕЦІАЛЬНІ МЕТОДИ ПІДГОТОВКИ КРЕМНІЄВИХ СТРУКТУР ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ СКЛАДАННЯ ПРИБЛАДІВ

ІС і сенсорні пристрої зі структурою КНІ в конструктивному плані - складні багат шарові системи, які складаються в загальному випадку з підкладки, ізолюючого шару, шару рекристалізованого полікремнію, в якому сформовані активні елементи, провідних полікремнієвих, металевих і пасивуючих шарів, суттєво відрізняються за своїми фізико-механічними характеристиками. Складна структура приладів і методи їх виготовлення, пов'язані з високотемпературними впливами, впливами лазерної обробки при формуванні елементів приладів і шарів викликають напружено-деформовані стани, що супроводжуються коробленням пластин, деградацією параметрів. Монтаж кристалів на основу через різниці ТКЛР матеріалів суттєво збільшує ці напруги, особливо в застосуванням клеїв; приєднання внутрішніх гнучких виводів викликає локальні напруження в зоні приєднання, котрі можуть приводити до растріскування плівки, погіршення параметрів.

Крім того, КНІ МОП-транзистори в ІС, як правило, в підканальній області мають електричні контакти-заправки рекристалізованого шару з підкладкою, необхідні для керування орієнтацією шару в процесі його рекристалізації і подання напруги зміщення через ці контакти від підкладки для керування пороговими напругами, "кінк-ефек-

том" і т. і. Ця особливість викликає необхідність якісних омичних контактів між високоомною підкладкою і основою корпусу.

Вказані проблеми частково вирішені розробленими спеціальними методами конструктивно-технологічної підготовки пластин і кристалів, і були направлені на оптимізацію складання приладів.

Так, з метою зменшення рівня термомеханічних напружень на границі підкладки кристалу- основа корпусу, забезпечення надійного омичного контакту до високоомної підкладки, розроблені способи [23, 39] агідно котрим на неробочій стороні кремнієвої пластини формують з'єднувальний шар шляхом нанесення шару полікремнію товщиною 0,5-3,0 мкм, виконання в ньому методом фотолітографії U-подібних канавок з кроком 10-15 мкм на товщину полікремнієвого шару і нанесення шару поліциду. Новим є також те, що шар поліциду формують шляхом магнетотронного розпилення мішені з сплаву кремній - тугоплавкий метал, наприклад Ti, Ta, Mo, Co, Ir, Rh, Nb товщиною 0,1-0,5 мкм з наступним відпадом при  $T = 500-950^{\circ}\text{C}$  в інертному середовищу.

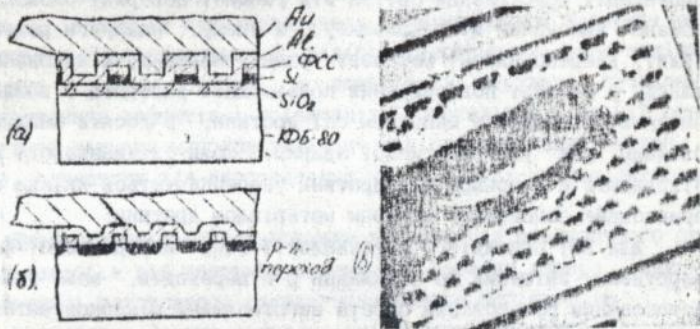
Даний спосіб дозволив одержати поверхневий опір плівки поліциду 3-10 [Ом/п], а використанням полімерного електропровідного клею УПБ-201 надійний омичний контакт до підкладки КДБ-80, що досить важливо для керування параметрами приладів з боку підкладки. Різні коефіцієнти напружень в плівках силіциду на монокремнії і полікремнії приводять до самокомпенсації термомеханічних напружень, тобто підготовлені таким методом кристали мають значно менші залишкові напруження, чим вони вигідно відрізняються від стандартних при їх монтажі на основи чи стрічковий носій.

Крім того, за попередніми даними, підготовлена таким методом зворотня сторона пластини чи йому аналогічним може бути використана в процесі лазерної рекристалізації шарів полікремнію на ізоляторі для зменшення величини короблення пластин. Але його застосування вимагає подальшого вивчення і дослідження.

Для монтажу кристалів за допомогою евтектики Au-Si із зниженням температури до 390 С, обмеження дифузії золота в кристал, повної змочуваності його поверхні розроблено спосіб, в якому на шар поліциду на зворотній стороні кристалу наплено плівку зі сплаву алюміній - рідкоземельний метал чи алюміній - кремній - рідкоземельний метал, наприклад Ho, товщиною 500-3000 Å [42].

Для зменшення термомеханічних напружень на робочій стороні кристалу в зоні приєднання гнучких виводів з оптимізацією технології виготовлення мікроконтактних з'єднань дротина - контактна площадка застосовували розроблені спеціальні типи мікроконтактів, що мали контактні площадки з розвинутою мікрорельєфною поверхнею і

придатні, як для ручної, так і для автоматизованої видів зварок термокомпресійним або ультразвуковим методами [ 10,25,26]. Типові структури цих мікроз'єднань показані на мал. 15.



Мал. 15. Структури мікроз'єднань, які включають контактні площадки з мікрорельєфною поверхнею і а) сплави з'єднання Al - з полікремнієм - на - діелектрику, б) з ізолюючим p-n переходом в підкладці, в) зовнішній вигляд контактної площадки.

Формування мікроз'єднань проводять в єдиному технологічному циклі виготовлення приладів без додаткових операцій, а тільки за рахунок використання необхідних комбінацій шарів структури приладу і їх відповідної топології. Самі мікроконтакти включають мікрорельєфну металеву контактну площадку, розташовану на поверхні ізолюючого окислу з сформованими на ньому в шахматному чи іншому порядку виступами, що складаються з полікремнію та/чи рекристалізованого полікремнію та шарів діелектрика, наприклад фосфоросилікатного скла.

Порівняльні дослідження ІС з контактними площадками 120x120 мкм, виконані в Al-металізації (+1 % Si) товщиною 1,0 мкм і нанесені на плоску поверхню SiO<sub>2</sub> і мікрорельєфну поверхню з виступів в шахматному порядку, висота виступа 1,5 мкм (виступ набірний і включає півку провідного кремнію), розмір виступів 8x8 мкм, відстань між ними 8x8 мкм з приєднанням до них Au - дротом  $\varnothing 00$  мкм на одній і тій же установці показують в середньому 1,3-1,5 кратне збільшення (9 Г и 10 Г) зусилля на відрив головки мікродротини. Тобто розроблений мікроконтакт володіє більш високою надійністю за рахунок збільшення зусилля на відрив мікродротини і підвищеною міцністю зчеплення металізації з підкладкою за рахунок її сплавлення з відкритими ділянками півки кремнію, що входить до виступів.

При застосуванні в мікроелектронних приладах мікроконтакт є більш оптимальним на зондовому контролі, через те, що він запобігає

кованню зонда по поверхні і руйнуванню металізації зондом.

Для автоматизованого обладнання з машинним зором, а також ультразвукової зварки з метою підвищення технологічності за рахунок компенсації розсіювання світла від гладкої поверхні площадки, розроблено виконання мікроконтакту, в якому, навкруги рельєфної поверхні, введено плоску металеву рамку, канавку, а виконання мікрорельєфу у вигляді повторюваних поведовжніх виступів і впадин, напрям яких співпадає з напрямом осі дротини, є досить важливим і необхідним для ультразвукової зварки, коли ультразвукові коливання співпадають з напрямом осі дротини (забезпечується якісна зварка і гарантоване заповнення канавок матеріалом дротини).

Для КНІ приладів, в технології яких передбачено формування аворотно - зміщених до підкладки р-п переходів, може успішно бути застосований розроблений спосіб виготовлення мікроконтактних з'єднань (мал. 16.б) з розвинутою мікрорельєфною поверхнею, в якій для підвищення міцності зчеплення металізації з підкладкою і зниження термомеханічних напружень, мікрорельєф сформовано травленням ізолюючого окислу до поверхні з підкладкою, а у відкритих місцях підкладки (впадинах) сформовані аворотно - зміщені р-п переходи, до них зроблено сплавні з'єднання металізації. В цьому способі, введення по чередованих р-п переходів в підкладку на ділянці під контактною площадкою, тобто по чередованих високолегованих n+ областей, в тому числі сплавний алюміній, і низьколегованих р-областей підкладки (наприклад, КДБ-80) дозволяє також зменшити термомеханічні напруження в зоні площадки, що виникають в процесі приєднання виводів.

Для відсіву потенційно - ненадійних КНІ - приладів розроблено високоєфективний спосіб термострумового тренування ІС [44], в якому їх нагрів проводять не в зібраному вигляді, а на пластині після формування структур з металізацією в діапазоні температур 85-250 °С і подають синусоїдальну чи імпульсну напругу між поверхніями металізації і підкладки окремої пластини чи зібраних в пакет через еластичні електроди - прокладки. Це дозволяє проводити тренування на рівні складових приладних структур, в кожному тактовому імпульсі при високих температурах і перед складанням приладів в корпус.

Таким чином, застосовуючи спеціально розроблені методи конструктивно-технологічної підготовки пластин і кристалів в процесі їх виготовлення, в багатьох випадках, без додаткових технологічних операцій, можна суттєво впливати на оптимізацію складальних операцій, позитивно впливати на якість і надійність приладів в цілому; оптимізувати умови рекристалізації КНІ-структур.

## ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ ТА ВИСНОВКИ

1. Досліджені структурні і електрофізичні зміни в шарах полікремнію на ізолюючій підкладці після їх мікрозонної лазерної рекристалізації. Експериментально підібрані оптимальні типи вихідних КНІ-структур і режими обробки, що дозволяють керувати розмірами, місцезнаходженням дефектів і орієнтацією кристалітів і на цій основі одержувати ділянки монокристалічних наліпровідникових плівок на ізоляторі, придатних для виготовлення на їх основі мікроелектронних приладів.

2. Експериментально встановлена анізотропія електричного опору тензорезисторів від напрямку сканування променя лазера, вивчені тензорезистивні властивості рекристалізованого полікремнію.

3. Розроблені фізико-технологічні основи створення елементів МОН ІС та СІІ зі структурою КНІ. Виготовлені реальні набори тестових елементів і датчиків тиску, досліджені характеристики приладних КНІ-структур, границь розділу і параметри приладів.

4. На основі результатів проведених фізико-технологічних досліджень на тестових елементах запропоновані нові способи підвищення якості приладних КНІ-структур, приладні структури для покращення характеристик ІС, конструктивно-технологічні рішення створення напівпровідникових датчиків фізичних величин.

5. Проведено аналіз режимів роботи КНІ МОН-транзисторів; запропонована фізична модель транзистора з додатковим контактом до інверсної області рекристалізованого полікремнію.

6. Розроблені спеціальні конструктивно-технологічні варіанти мікроконтактних з'єднань, що зменшують термомеханічні напруження в приладних структурах, направлені на покращення процесу складання приладів, їх надійності; ефективний спосіб термострумowego тренування ІС на пластині для відсіву потенційно-ненадійних приладів.

### ПЕРЕЛІК РАБІТ, В ЯКИХ ОПУБЛІКОВАНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ:

1. Научно-технический отчет по ОКР "Разработка полупроводниковой ИС статического ЗУПВ с организацией 1Кх4 на основе n-MOP технологии". 1984г. Шифр "Баррикада-1". // И Гос. регистрации У94821/2004297.

2. Научно-технический отчет по ОКР "Разработка быстродействующей полупроводниковой ИС статического ЗУПВ с организацией 1Кх4 на

основе n-МОП технологии", 1985 г. Шифр "Баррикада-2". // Н Гос. регистрации УО3938/3003531.

3. Когут И. Т., Давидок Т. И. Полупроводниковые интегральные схемы статического ЗУПВ КМ132РУВ, КМ132РУ9. //1-ая подотраслевая конференция молодых ученых и специалистов. / Теа. докл. -Нальчик, 1985, -с. 14.

4. Дружинин А. А., Когут И. Т., Осередько С. А. Изменение свойств поликристаллических слоев кремния при нагреве лазерным излучением. // Респ. научно-техн. конференция "Создание и использование лазерной техники и технологии в машиностроении и приборостроении". Теа. докл. - Киев, 1985, -с. 114.

5. Когут И. Т. Статическое оперативное запоминающее устройство с произвольной выборкой со схемами управления КМ132РУ9. // Электронная промышленность, 1986, N2Т(31), с. 75.

6. Дружинин А. А., Ермаков А. В., Когут И. Т., Костур В. Г. и Лыба О. М. Исследование процесса рекристаллизации поликремния под воздействием лазерного излучения. // Всес. школа по термодинамике и технологии полупроводниковых кристаллов и пленок. Теа. докл. -Ивано-Франковск, 1986, ч. 3, -с. 216.

7. Когут И. Т., Насыпайко А. В., Пунжин Ю. Н. Статическое ЗУПВ КМ132РУ8А, В емкостью 4К. //Электронная промышленность, 1987, N3(161), -с. 13.

8. Дружинин А. А., Когут И. Т., Костур В. Г. Исследование процесса отжига лазерным излучением кремниевых структур на диэлектрических подложках. // 12-ая Всес. научно-техн. конференция по микроэлектронике. Теа. докл. -Тбилиси, 1987, ч. 4, -с. 173-174.

9. Дружинин А. А., Когут И. Т., Костур В. Г., Осередько С. А. Свойства слоев поликремния на диэлектрических подложках. // Вестник ЛПИ, N215. Теория и проектирование полупроводниковых и радиоэлектронных устройств. -Львов, 1987, -с. 134-136.

10. А. С. N1414236 (СССР). МКИ Н01L 23/48, 1988. Микроконтакт. / Когут И. Т., Рудой Ю. Г., Молчанов К. В.

11. Научно-технический отчет по ОКР "Разработка полупроводниковой n-канальной МОП ИС статического ЗУПВ с организацией 2Кx8 ". / Шифр "Баррикада-4". 1988г.

12. Дружинин А. А., Ермаков А. В., Когут И. Т., Костур В. Г., Лыба О. М. Рекристаллизация поликремния на изолирующих подложках с помощью лазерного облучения. //Физическая электроника. Вып. 36. 1988. с. -77-82.

13. А. С. N1456710 (СССР). МКИ G01Г 1/68, G01L 9/08, G01P 5/10 1988. Устройство для измерения параметров среды. / Августимов В. Л.,

Когут И. Т., Костенко С. П., Кулиш А. П., Наер В. А. и Насыпайко А. В.

14. Дружинин А. А., Когут И. Т., Костур В. Г., Лыба О. М. Использование лазерного излучения для модификации свойств поликремния на диэлектрике. // Материалы Всес. научно-техн. совещания "Пути совершенствования технологии полупроводниковых и диэлектрических материалов электронной техники." Одесса, 1988. с. 14-16.

15. А. С. N1462990 (СССР). МКИ G01 27/02, 1988. Полупроводниковое устройство. / Августимов В. Л., Когут И. Т., Костенко С. П. и Насыпайко А. В.

16. Дружинин А. А., Когут И. Т., Костур В. Г. и Лыба О. М. Воздействие непрерывного лазерного излучения на свойства поликремниевых слоев. // Мат. 7-й Всес. конференции по взаимодействию оптического излучения с веществом. Тез. докл. - Ленинград, 1988. с. 90-91.

17. Дружинин А. А., Кеньо Г. В., Когут И. Т., Процайло И. Б. Воздействие лазерного излучения на МОП-структуры с поликремниевым затвором. // Мат. научно-техн. семинара "Применение лазеров в промышленности", 1989. с. 19-20.

18. Дружинин А. А., Литвин И. С., Костур В. Г., Когут И. Т., Солодов И. Т. Координатно-чувствительные фотоэлектрические датчики на основе рекристаллизованных слоев поликремния. // 3-й научно-техн. семинар по электронным датчикам "СЕНСОР-89". Тез. докл. - Ужгород, 1989. с. 139-140.

19. А. С. N1494214 (СССР) МКИ H03K 19/00, 1989. Инвертор. / Когут И. Т., Насыпайко А. В., Романский И. А. и Савицкая Н. Г.

20. Дружинин А. А., Костур В. Г., Когут И. Т., Кеньо Г. В., Лыба О. М. Индуцированная лазерным излучением рекристаллизация слоев поликремния на диэлектрике с локализацией границ зерен. // 1-я Всес. конференция "Автоматизация, интенсификация, интеграция процессов технологии микроэлектроники". Тез. докл. - Ленинград, 1989 ч. 2, с. 10-12.

21. А. С. N1493010 (СССР) МКИ H01L 21/263, 1989. Способ изготовления самосовмещенных МОП - структур типа кремний - на - изоляторе. / Воронин В. А., Дружинин А. А., Когут И. Т., Костур В. Г., Лыба О. М. и Токарчук В. П.

22. Дружинин А. А., Литвин И. С., Костур В. Г., Когут И. Т. Фоточувствительные структуры на основе слоев поликремния, рекристаллизованных лазерным излучением. // Физическая электроника. Вып. 40, 1990. с. 119-123

23. А. С. N1623493 (СССР) МКИ H01L 21/18, 1990. Способ изготовления больших интегральных схем. / Когут И. Т., Новосядлый С. П., Бирковский Ю. Л., Насыпайко А. В.

24. Druzhinin A. A., Kenjo G. V., Kogut I. T. and Kostur V. G. Microelectronic structures in laser - induced epitaxial silicon layers on insulators. // Proc. 1- st International conference of epitaxial crystal growth. Budapest, Hungary. April 1-7, 1990, Crystal Prop. Prep. vol. 32-34 (1991), p. 89-92.

25. А. С. N1634052 (СССР) МКИ H01L 21/28, 1990. Способ изготовления микроконтактных соединений в интегральных схемах. / Когут И. Т., Молчанов К. В., Рудой Ю. Г.

26. А. С. N1664084 (СССР) МКИ H01L 23/48, 1990. Микроконтакт. / Когут И. Т., Молчанов К. В., Рудой Ю. Г.

27. Дружинин А. А., Костур В. Г., Бидный Д. И., Когут И. Т. Структуры кремний-на-диэлектрике. Лазерная рекристаллизация поликремния, свойства границ раздела. // Мат. 7-й международной конференции по микроэлектронике "Microelectronics' 90. Минск, СССР. 16-18 октября 1990. Том 2. Технология микроэлектроники. с.-186.

28. А. С. N1583769 (СССР) МКИ G01 9/06, 1990. Преобразователь давления. / Августимов В. Л., Когут И. Т., Костенко С. П. и Наспайко А. В.

29. Пат. решение от 29.01.91 по заявке N4664908/25 МКИ H01L 27/085. Структура ИС на МОП-транзисторах. / Когут И. Т., Новосядлый С. П.

30. Пат. решение по заявке N4791028/25 от 20.06.91. МКИ H01L 21/18. Способ изготовления МОП ИС. / Когут И. Т., Новосядлый С. П., Худин В. Н.

31. Дружинин А. А., Кеньо Г. В., Когут И. Т., Костур В. Г. Тестовые структуры для контроля параметров слоев поликремния на диэлектрике. // Электронная промышленность, N1(203), 1991. с. -65-68.

32. Дружинин А. А., Кеньо Г. В., Когут И. Т., Костур В. Г. Физическая модель КНИ МОП-транзистора для неравновесного состояния. // Электронная техника. сер. 3. Микроэлектроника. Вып. 5(139), с. 89-91.

33. Дружинин А. О., Мар'ямова І. Й., Костур В. Г., Панков Ю. М., Когут І. Т. Дослідження тензорезистивних властивостей рекристалізованих полікремнієвих шарів. // Фізична електроніка, N42, 1991. с. -28.

34. Дружинин А. А., Марьямова И. И., Костур В. Г., Панков Ю. М., Когут И. Т., Королева Л. С., Заганяч Ю. И. Пьезорезистивные сенсоры на основе структур кремний-на-изоляторе. // Метрология. N5, 1991. с. -20-25.

35. Дружинин А. А., Когут И. Т., Костур В. Г., Лыба О. М., Родионова Т. В. Структурные изменения в пленках поликремния, индуцируемые лазерным излучением. // 3-я Всес. конференция по физике и технологии тонких полупроводниковых пленок. Тез. докл. Ивано-Франковск, ч. 2,

36. Дружинин А. А., Когут И. Т., Костур В. Г., Лыба О. М., Родионова Т. В. Структурные изменения в капсулированных слоях поликремния, под действием сканирующего лазерного излучения. // Физ. хим. обработка материалов. №3, 1992. с. 38-43.

37. Марьямова И. И., Дружинин А. А., Панков Ю. М., Когут И. Т. Рекристаллизованный поликремний как перспективный материал для микроэлектронных датчиков механических величин. // Научно-технический семинар "Методы измерения механических параметров в системах контроля и управления". Теор. докл. - Пенза, -1991. с. 25-26.

38. Kenjo G. V., Kogut I. T. and Protsajlo I. B. Interface formation in SOI-structures by laser epitaxy of polysilicon lasers. // Proc. 3-rd European Conf. on Crystal Growth. Budapest, Hungary, May 5-11, 1991, Crystal Prop. Prep. vol. 36-38. (1991) p. 460-466.

39. Положительное решение от 29.05.91 по заявке N4706052/25 (083526). Способ формирования контактно-металлизированной системы в интегральных схемах. / Когут И. Т., Новосядлый С. П., Бирковский Ю. Л.

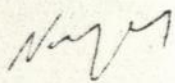
40. Положительное решение от 27.06.91 по заявке N4822519/25 от 03.05.90 г. КИД МДП-транзистор. / Дружинин А. А., Кеньо Г. В., Когут И. Т., Костур В. Г., Процайло И. Б.

41. A. A. Druzhinin, I. I. Maryamova, I. T. Kogut, J. M. Pankov. The new generation of mechanical sensors based on laser recrystallized poly-Si layers. // Труды международной научно-техн. конференции "Актуальные проблемы электронного приборостроения" АПЭП-92 Новосибирск, 1992 г. т. 4. "Сенсорная электроника" с. 67-70.

42. Положительное решение от 19.06.92 по заявке N4945170/25 (049207). МКИ H01L 21/28. Способ металлизации обратной стороны кристаллов ИС. / Новосядлый С. П., Когут И. Т., Бирковский Ю. Л., Маскович С. М., Гуменяк М. В.

43. Положительное решение от 02.10.92 по заявке N4923867/25 от 01.04.91. Матрица КИИ МДП-транзисторов. / Дружинин А. А., Кеньо Г. В., Когут И. Т., Костур В. Г., Яворский П. В.

44. Положительное решение от 24.08.92 по заявке N4948907/21 от 23.04.91. Способ термовой тренировки ИС. / Когут И. Т., Новосядлый С. П.



Пілісано по друку 7.04.93р. Формат 60x84/16. Зам. 269. Тпр. 100.

Безплатно.

Навчально-експериментальна друкарня Українського поліграфічного інституту імені Івана Федорова, м. Львів-1, вул. Дичахівська, 3.

465363

Безплатно

Av 27.163  
Av 27.163