

С.П. Новосядлий, В.М. Вівчарук

Багатозарядна радикальна імплантація при формуванні SOI-структур

Прикарпатський національний університет ім. Василя Стефаника

В статті приведені дослідження багатозарядної імплантації в моно-Si кисню і азоту у вигляді молекулярних (радикальних) іонів, які дозволяють сформувати не тільки вертикальний ізолюючий шар, але і латеральний захований шар оксинітриду кремнію ($Si_xO_yN_z$), який має досить високі ізолюючі характеристики. При цьому доза імплантації радикальних іонів, яка необхідна для синтезу такого шару, є на порядок меншою доз імплантації іонів азоту та кисню, необхідних для формування захованих ізолюючих шарів на основі оксиду та нітриду кремнію. На основі такої SOI-структури (Silicon-on-Insulator) можна формувати субмікронні МОН-структури ВІС.

Ключові слова: імплантація, , монокремній, КНІ.

Стаття постуила до редакції 12.01.2008; прийнята до друку 15.06.2008.

Вступ

В останні роки все більша увага надається різним технологіям створення SOI-структур (КНІ), на основі яких можна створювати радіаційно стійкі ВІС. Одним із найбільш перспективних технологічних процесів їх формування стає високоенергетична багатозарядна імплантація [2,5] молекулярних іонів, таких як кисень і азот, які можуть після відповідних хімічних реакцій з кремнієм створити ізолюючий захований шар.

Для отримання SOI-структур імплантація іонів кисню і азоту проводилась з дозами, які складають $> 10^{18} \text{ см}^{-2}$, які забезпечують стехіометрію діелектричних фаз відповідно діоксиду кремнію (SiO_2) або нітриду кремнію (Si_3N_4). Виходячи із цього можна зробити висновок, що промислове використання даної високоенергетичної технології іонної імплантації кисню O^+ та азоту N^+ для створення КНІ-структур є нереальним при використанні звичайних установок іонної імплантації. Крім цього, високоенергетична імплантація в Si великих доз іонів кисню чи азоту приводить до значної деградації структури кремнію, яку відновити термічними відпалами практично неможливо. Отримані таким чином шари SiO_2 та Si_3N_4 вже стають джерелами механічних напружень, які сильно змінюють електрофізичні параметри SOI-структур. Тому задачею наших досліджень є зниження дози імплантації іонів та зменшення на цій

основі рівня напружень та дефектності структур.

В зв'язку з цим особливий інтерес представляють дослідження технологічного процесу синтезу ізолюючих шарів оксинітриду кремнію, бо коефіцієнт термічного розширення останнього є дуже близьким до коефіцієнта термічного розширення кремнію [2]. В основу даної статті покладені проведені нами дослідження, направлені на створення внутрішнього оксинітридного гетера, спейсерної технології, багатозарядної радикальної імплантації для формування ретроградних кишень та контактів в субмікронних К-МОН-структурах і технології формування силіцидних плівок на основі аморфного кремнію в реакторах пониженого тиску [2,6,7,8,9].

I. Дослідження багатозарядної імплантації азоту і кисню для формування ізолюючих оксинітридних плівок для структур SOI

Метою наших досліджень – був вибір джерела імплантації та оптимізація технологічних процесів іонного легування (імплантації і відпалу) для формування якісних ізолюючих захованих та гетеруючих областей оксинітриду кремнію для його можливого використання як для діелектричної ізоляції елементів, так і для спейсерів.

Вперше оксинітрид був сформований нами височастотним магнетронним розпиленням кремнієвої мішені в плазмі азоту для формування зовнішнього гетера при формуванні структур прецизійних операційних підсилювачів[2]. В даній роботі оксинітрид повинен виконувати не тільки гетеруючу роль домішок і дефектів, але і ізолюючу роль як діелектрик.

Тому для його формування був вибраний метод високоенергетичної багатозарядної імплантації кисню і азоту, щоб за допомогою енергії іонів формувати захвані шари на різній глибині кремнієвих пластин.

Відповідно для зменшення енергії та дози опромінення нами вибране газоподібне джерело у вигляді оксиду азоту (N_2O), бо є неутруйною і неспалахуючою сумішшю. Як і кисень чи азот за допомогою технології можна досягти високої степені чистоти як за точкою роси ($-75^\circ C$), так і вмістом домішок ($<104\%$). Крім цього, дозволяє формувати багатозарядні молекулярні пучки, які складаються з радикалів N_2O^+ (однзарядних) або N_2O^{++} (двзарядних). В чому ж переваги багатозарядної імплантації?

енергія імпантованими багатозарядними іонами

$$E = (U_{вит} + U_{приск}) \cdot n$$

де $U_{вит}$ - витягуюча напруга, $U_{приск}$ - прискорююча напруга, n - кратність заряду іона, дозволяє імпантувати не тільки іони, але і радикали на досить високі глибини > 1 мкм;

доза імпантованих іонів визначаються співвідношенням $D_n = D \cdot n$, де D — доза однзарядних іонів;

струм масепаратора при легуванні багатозарядними іонами визначається як $I_n = I_1 / \sqrt{n}$, де I_1 - струм сепаратора багатозарядних іонів.

Відхилення зарядженої частинки в магнітному полі сепаратора визначається виразом:

$$R = \frac{143.95}{H} \sqrt{\frac{MU}{n}} \quad (1)$$

де R - траєкторія іона, см; H - напруженість поля в Тл, U - витягуюча напруга в В; M - маса іона у відн.од., n - заряд іона.

Багатозарядна імплантація радикальних іонів дозволяє використовувати існуючі імпантатори "Везувій-9" чи "Лада-30" і дозволяє створювати ретроградні (неоднорідні) концентрації домішок. Для експерименту нами вибралась пластини Si KEФ4,5 (100) діаметром 100мм. Для імплантації вкористовувались молекулярні (радикальні) пучки N_2O^+ та N_2O^{++} з енергіями 200-400 кеВ. Імпантациа проводилась в центральну частину пластини з діаметром опроміненої області 25-30 мм з метою порівняння електрофізичних параметрів до і після імплантації та відпалу.

Таким чином, багатозарядні радикальні іони N_2O^{++} вибрані, бо забезпечують синтез оксинітриду

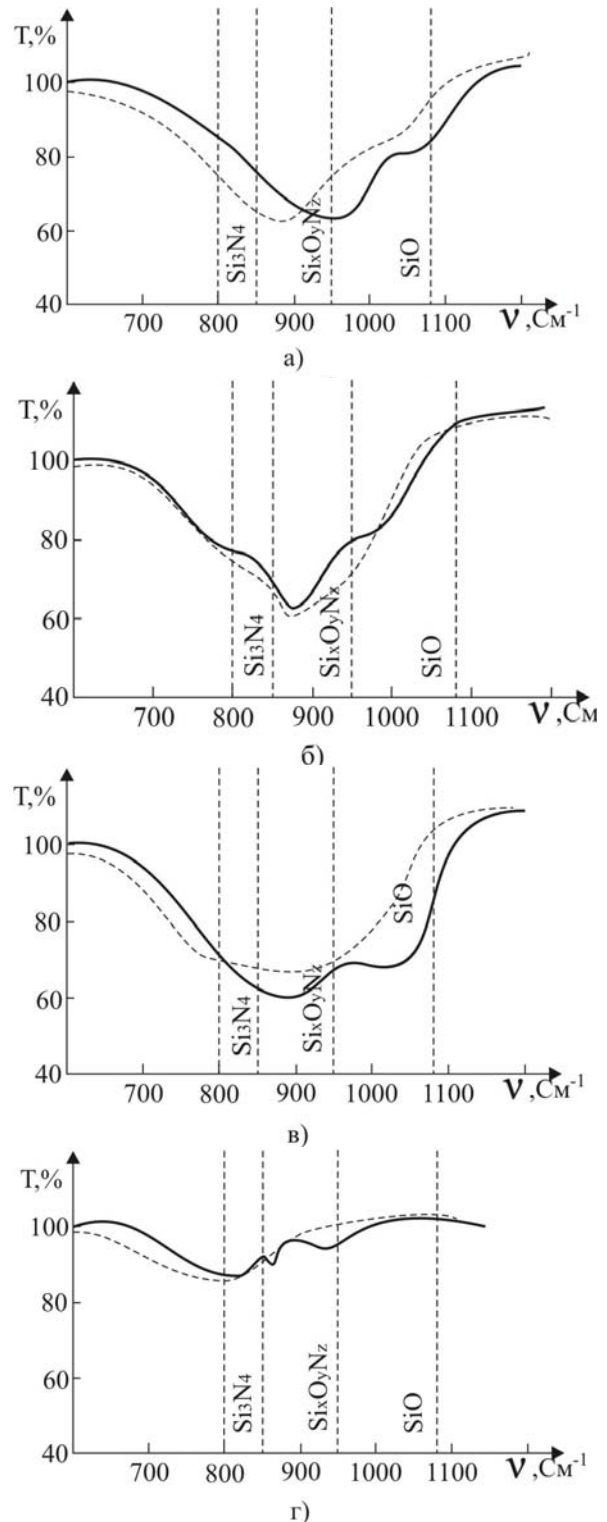


Рис. 2. Спектри ІЧ-поглинання Si-пластин KEФ-4,5(100), опроміненних двозарядними радикальними іонами N_2O^{++} з дозами: $1 \cdot 10^{16}$ а); $4 \cdot 10^{16}$ б); $1,4 \cdot 10^{17}$ в) з імпульсним швидким відпалом та $1,4 \cdot 10^{17}$ г) з температурним багатоступеневим відпалом при $E = 400$ кеВ .

кремнію при менших енергіях і дозах, ніж однзарядні іони кисню та азоту, а для їх відпалу необхідна менша енергія активації, що є важливим

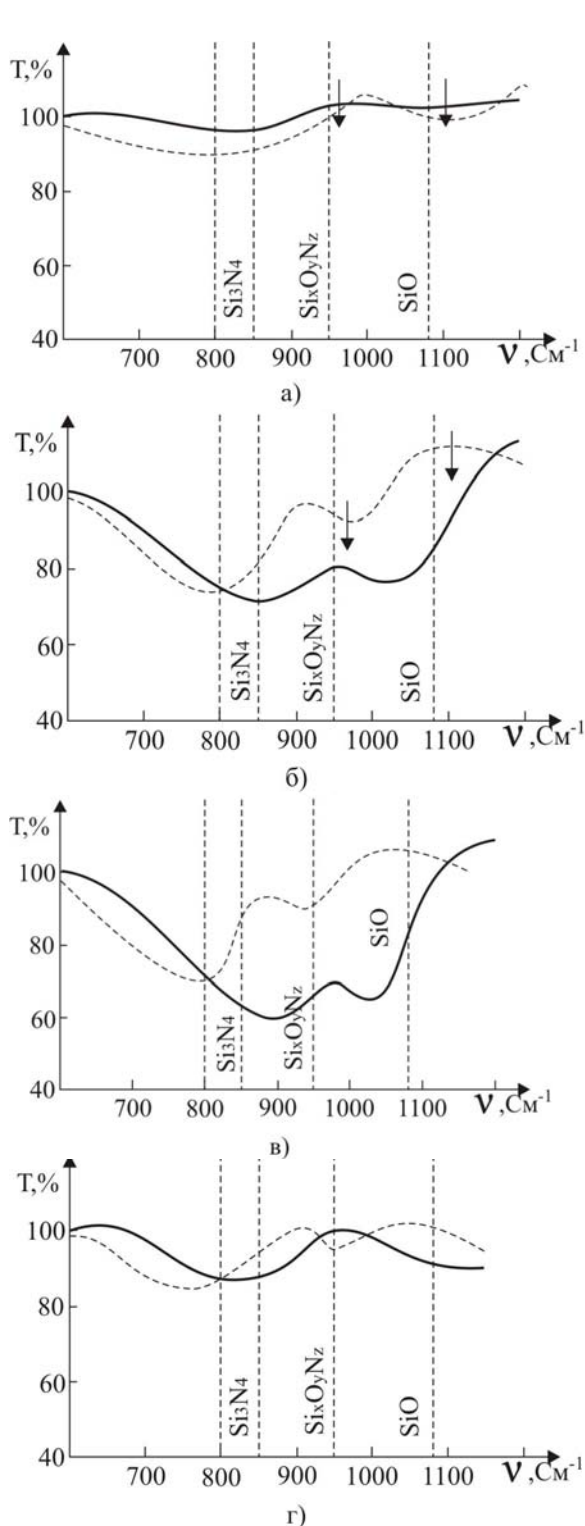


Рис. 1. Спектри ІЧ-поглинання Si-пластины KEF-4,5 опромінені радикальними однозарядними іонами N_2O^+ дозами: $2 \cdot 10^{16}$ а); $8 \cdot 10^{16}$ б); $2,8 \cdot 10^{17}$ (в,г). Штрихова лінія – до відпалу, суцільна – після відпалу (а,б,в) – поступеневий відпал; г)- багатоступеневий відпал $E = 200\text{keV}$.

для зменшення дифузійних процесів.

Струм пучка однозарядних радикалів N_2O^+

складав 150 мкА (густина в $\text{мкА}/\text{см}^2$) і для двозарядних радикалів $N_2O^{++} < 25\text{мкА}$ (густина $< 1\text{мкА}/\text{см}^2$). Доза імплантації варіювалась в діапазоні $1 \cdot 10^{16} - 2,8 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$. Перед імплантацією Si-пластины покривались захисним шаром SiO_2 товщиною 10 нм (100Å). Відпал структур для активації синтезу проводився як високотемпературною обробкою, так і швидким імпульсним відпалом за допомогою установки "Імпульс" в атмосфері аргону.

Властивості отриманих захочаних шарів досліджувались методами інфрачервоної спектроскопії (ІЧ), електронної Оже-спектроскопії, вторинною мас-спектроскопією та вимірюваннями вольтамперних характеристик. ІЧ- спектри знімалися для досить великого температурного діапазону ($-60 - +150^\circ\text{C}$) на установці Spicord-82 в діапазоні хвильових чисел $650 - 1250 \text{ см}^{-1}$. Для отримання концентраційних профілів атомів кисню і азоту методом ЕОС з пошаровим травленням визначалась глибина формування захочаних шарів. За допомогою інтерферометра МІІ-11 та еліпсометра Э-3М визначався коефіцієнт заломлення отриманих захочаних шарів.

Аналіз спектрів ІЧ-поглинання, що поданий на рис 1, а-в показує, що безпосередній результат імплантації однозарядних радикальних іонів N_2O^+ в Si-пластины через оксид дає нітрид кремнію Si_3N_4 , а фаза оксиду практично була відсутня. В результаті відпалу при $T=1100^\circ\text{C}$ протягом 1год вже утворюється діелектрична фаза оксинітриду $Si_xO_yN_z$. Максимальний вихід даної фази спостерігається при дозі $(8-10) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ при зміні коефіцієнта заломлення від величини 2,1 до 1,75-1,95. Порівнюючи амплітуди спектра пропускання $Si_xO_yN_z$ на рис 1 б,в видно, що збільшення дози не веде до пропорційного росту амплітуди.

Таким чином при просторовому розділенні імплантованих іонів азоту і кисню, обумовлених різницею мас, існує оптимальна доза імплантованих однозарядних іонів N_2O^+ вихід реакції синтезу $Si_xO_yN_z$ є максимальним. При тому не тільки кількість імплантованих радикалів визначає характер реакції синтезу. На рис.1г приведенний ІЧ-спектр пропускання в Si, імплантованого іонами N_2O^+ з дозою $2,8 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$ та підданому багатоступеневому ізотропному відпалу при $400, 600, 800$ і 1000°C .

В результаті такого відпалу отримана суміш фаз Si_3N_4 і SiO але не $Si_xO_yN_z$, як це мало місце при одноступеневому відпалі. Тобто, на реакцію синтезу оксинітриду кремнію впливає і режим відпалу імплантованих радикальних іонів.

Для порівняння нами також була проведена імплантація уже двозарядних радикальних іонів N_2O^{++} при дозах в 2 рази менших ніж для N_2O^+ , але з енергією в 2 рази більшою, тобто при $E = 400\text{keV}$.

Результати даного експерименту подані на рис 2,а-г.

Як бачимо із спектрів рис.2 багатозарядна радикальна імплантація іонів N_2O^{++} з швидким імпульсним відпалом (1100°C, 1с) синтезує високоякісний ізолюючий оксинітрид $Si_xO_yN_z$ з коефіцієнтом заломлення $n=1,73-1,89$ але на більшій глибині від поверхні Si-пластини в порівнянні з однозарядними молекулярними іонами N_2O^+ . КТЛР для таких шарів складає $(3,2-3,5) \cdot 10^{-6} c^{-1}$, що є дуже близьким до Si ($3 \cdot 10^{-6} c^{-1}$). Слід звернути увагу на рівень розтягуючих пружних напружень, які відповідають за гетерні властивості оксинітридних плівок, величина яких складає (80-120 Гпа) і теж можна змінювати цю величину за рахунок режиму імпульсного відпалу. При збільшенні часу відпалу величина пружних напружень падає.

Цікавими видаються концентраційні профілі атомів кисню і азоту до і після швидкого імпульсного відпалу, який визначає реакцію синтезу оксинітриду кремнію для одно- та двозарядних радикалів N_2O^+ та N_2O^{++} для різних енергій імплантації (рис.3).

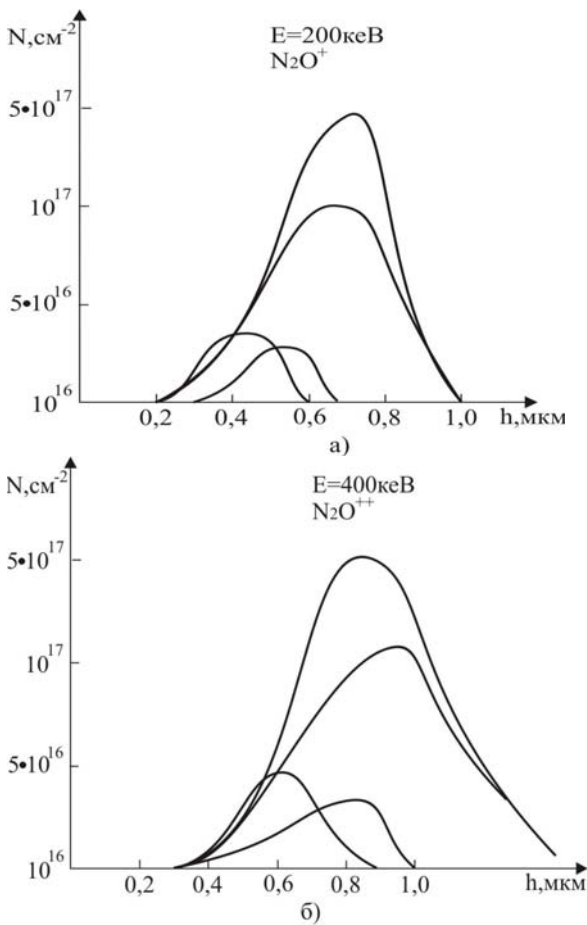


Рис. 3. Концентраційні профілі атомів кисню (1) та атомів азоту (2) до (1,2) і після (1',2') швидкої імпульсної активації для дози $2,8 \cdot 10^{17} cm^{-2}$ для: а) N_2O^+ при $E = 200keV$; б) N_2O^{++} при $E = 400keV$.

Із графіків концентраційних профілей видно, як вони зміщуються після відпалу в сторону більших глибин, причому профіль атомів азоту цілком поглинає профіль кисню, що вказує на те, що відбулася реакція синтезу оксинітриду кремнію. Як

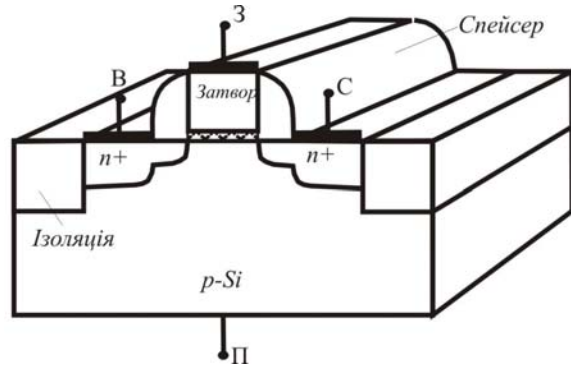


Рис. 5. МОН-структура типу LDD.

видно із даного рисунка швидка імпульсна активація сприяє якісному формуванню заглибленого оксинітридного шару. Однак, при дозах $> 3 \cdot 10^{17} cm^{-2}$ зсув зменшується і профіль кисню вже починає випереджати профіль азоту, що вказує на зменшення реакції синтезу оксинітриду кремнію. Тобто, для отримання якісного гетеруючого ізолюючого заглибленого шару оксинітриду кремнію слід вибирати дозу одно- або двозарядних радикалів N_2O^+ , N_2O^{++} в межах $5 \cdot 10^{16} - 3 \cdot 10^{17} cm^{-2}$.

Наглядно ефект стягування концентраційних профілей кисню і азоту можна спостерігати на окрашених шар-шліфах, які вказують на те, що при наявності стягування діелектричний шар оксинітриду кремнію заглиблюється на більшу товщину Si-пластини (майже в 2 рази). Це вказує на високу імплантаційну ефективність двозарядних радикалів N_2O^{++} при формуванні захищеного ізолюючого шару оксинітриду, який може бути успішно використаний при формуванні SOI-структур.

Сам захищений ізолюючий шар оксинітриду кремнію має також високі гетеруючі властивості, які визначаються через коефіцієнт заломлення та величину розтягуючих напружень, які стають стоком дефектів і домішки з поверхневого шару монокремнію. Для $n = 1,78$ та $\sigma = 100 ГПа$ час життя неосновних носіїв заряду на ТС зріс до величини $3 \cdot 10^{-3} c$ при вихідному $2 \cdot 10^{-5} c$.

Високі ізолюючі властивості оксинітридного заглибленого шару за допомогою багатозарядної радикальної імплантації N_2O^{++} в Si-пластини KEF4,5(100) підтверджують вольтамперні характеристики, які мають омичний характер з високими притивними напругами для різних його товщин (рис.4).

Густина струмів втрат такої структури при кімнатній температурі не перевищувала $0,2 - 0,6 nA / \mu m^2$ при напрузі 40В та $0,05 - 0,1 nA / \mu m^2$ при напрузі 25В.

Таким чином сформований захищений

оксинітридний шар може використовуватись як ізолюючий, так і гетеруючий шар при формуванні субмікронних КНІ-структур. Перевага такої технології полягає в тому, що відпадає необхідність в рекристалізації полікремнієвого шару в моно-Si, а формування ізолюючого і гетеруючого оксинітридного шару відбувається радикальною імплантацією N_2O^+ , N_2O^{++} з дозами $< 3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$, які не спричиняють великої дефектності активних

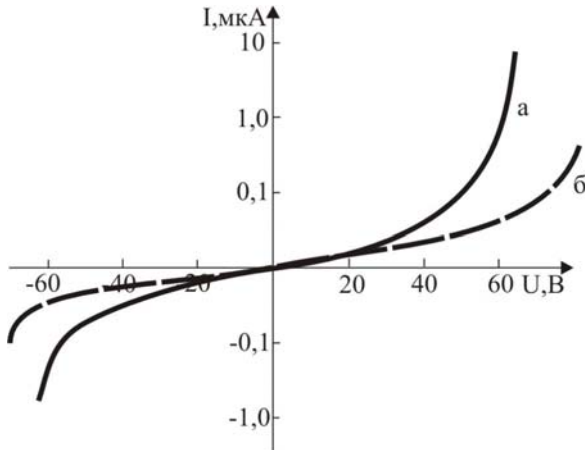


Рис. 4. Вольт-амперні характеристики мезаструктур із захованим оксинітридним шаром, сформованим радикальною імплантацією: а) N_2O^+ ($E = 200 \text{ кеВ}$), б) N_2O^{++} ($E = 400 \text{ кеВ}$).

структур.

II. Особливості формування комплементарних МОН-транзисторів на КНІ-структурах з оксинітридним захованим шаром

Традиційна структура МОН-транзистора забезпечила зниження довжини затвору від 10 мкм в 70-х роках до 0,1 мкм в теперішній час, використовуючи правила масштабування, викладені в [2]. Але перехід проектних норм через межу в 130 нм в рамках традиційної конструкції нашоухується на фізичні обмеження. Тому транзистори для технології XXI століття будуть вже мати іншу структуру, в якій будуть використовуватись інша затворна система та ізоляція елементів.

Із зменшенням геометричних розмірів транзисторів зменшується площа структури, зменшуються паразитні ємності, збільшується швидкодія і знижується енергоспоживання. У відповідності з прогнозами світової Асоціації підприємств напівпровідникової індустрії NTRS мінімальні розміри елементів будуть і надалі зменшуватись і до 2012 року досягнуть величини

50 нм.

Найбільш поширеною конструкцією МОН-транзистора, яка використовується за останні 5 років в напівпровідниковій електроніці є транзистор із структурою типу LDD (Lightly Doped Drain) (рис.5), що значить легко легований стік. Особливістю його є наявність мілких слабологованих областей витоку і стоку, які подовжують дані області в сторону каналу.

Концентрацію легуючих домішок в цих областях і режим розгонки вибирають таким чином, щоб отримати плавний р-n-перехід. Зазвичай ця концентрація (миш'яка) складає $4 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, в той час як в n^+ -областях вона складає $(5-8) \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$. Отримані таким чином зниження напруженості електричного поля в каналі на межі із стоком зменшує енергію гарячих електронів, які викликають термопольову нестабільність електричних параметрів транзистора. Такі слабологовані LDD-області підвищують напругу проколу, інжекційного і лавинного пробного стокового переходу та знижують ефект модуляції довжини каналу.

Глибина LDD-областей стоку і витоку складає 50-100 нм для субмікронних транзисторів з довжиною каналу 0,25 мкм (рис.6, табл.1).

Для зниження ємностей транзисторів вибирають слабологовану підкладку, наприклад КДБ-80(100), а для забезпечення необхідної порогової напруги U_T і зниження напруги проколу застосовують легування каналу домішкою того ж типу, що і підкладка. легування виконують приблизно на глибину області просторового заряду під затвором.

Контакти до стік-витоків областей та полікремнієвого затвору виконують з проміжним формуванням шару дисиліциду титану $TiSi_2$

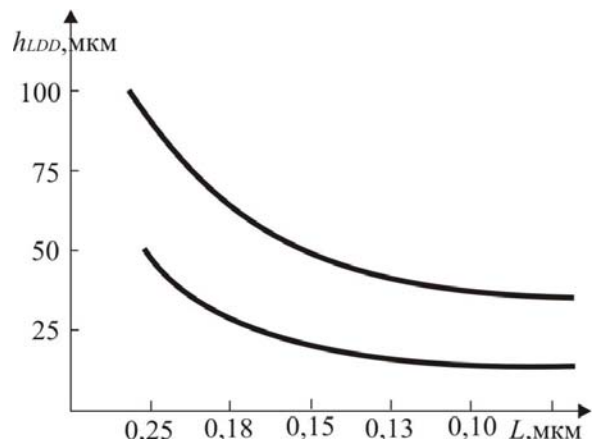


Рис. 6. Залежність глибини LDD-областей витоку і стоку від довжини каналу.

товщиною 40 нм, що забезпечує питомий поверхневий опір $50 \text{ Ом}/\square$. Ізоляція між полікремнієвим затвором і контактами до витоку і стоку виконується у вигляді спейсерів (рис.5) із Si_3N_4 . Концентрація домішки в каналі складає $5 \cdot 10^{17} - 1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$.

Таблиця 1

Норми масштабування МОН-структур за правилами NTRS

№, п/п	Проектні норми $L, \text{нм}$	250	180	130	100	70
1	Товщина окислу, нм	4-5	3-4	2-3	1,5-2	<1,5
2	Глибина р-п-переходів, нм	50-100	36-72	26-52	20-40	15-30
3	Напруга живлення	1,8-2,5	1,5-1,8	1,2-1,5	0,9-1,2	0,6-0,9
4	Струм втрат нА/мкм	1	1	3	3	10
5	Навант. здатність мА/мкм	600/250	600/280	-	-	-
6	Потужність розсіювання, Вт	70	93	121	120	114

Таблиця 2

Фізичні обмеження субмікронного масштабування

№, п/п	Характеристики	Межа	Причини обмеження
1	Товщина оксиду	2,3 нм	Тунелювання носіїв через оксид
2	Глибина р-п-переходів	30 нм	Опір стік-витокових областей
3	Легування каналів	$U_T=0,25\text{В}$	Підпороговий струм
4	Мілкі стік-витокові області	15 нм	Опір контактів
5	Довжина каналу	60 нм	Підпороговий струм
6	Довжина затвору	100 нм	Підпороговий струм

Збільшення концентрації домішки вище даного значення, необхідне для транзисторів з довжиною каналу <100нм і веде до появи тунельного струму через стік-витокові р-п-переходи.

Товщина окислу для транзисторів з довжиною каналу <0,1мкм складає 3-4нм. Між товщиною підзатворного окислу t_{ox} і довжиною каналу L транзистора існує емпірична оптимальна залежність $L = 45t_{ox}$. Для формування кишень МОН-транзисторів різного типу провідності використовують домішки фосфор і бор. Ізоляцію між р- і п-кишнями виконують мілкими канавками, стінки яких проокислюють, а внутрішній їх об'єм заповнюють дисперсним полікремнієм. Ця технологія ізоляції стала домінуючою в транзисторах виконаних за 0,25 мікронною технологією і прийшла на зміну ізоляції оксидуванням кремнію "Locos".

Однак перехід проектних норм через межу 130нм в рамках традиційної (розглянутої нами) структури наштотується на фізичні обмеження (табл.2).

III. Методи покращення характеристик польових МОН-транзисторів

Зменшення порогової напруги при зменшенні довжини каналу є вже проявом короткоканалних ефектів, які стають перепоною на шляху зменшення розмірів транзисторних структур. Для зменшення короткоканалних ефектів використовують зміни профілів легуючих домішок як в латеральному, так і в горизонтальному напрямках. В горизонтальному напрямі вздовж каналу створюють зони навколо слаболегованих областей стоку і витоку (рис.5). Особливо ефективною в цьому плані є багатозарядна

імплантація, викладена в [2,9]. За допомогою останньої у вертикальному напрямі створюють неонорідний (ретроградний) розподіл домішок (рис.7). Мілкі стік-витокові контакти теж формують ретроградною багатозарядною імплантацією радикалів BF_2^{++} та PF_3^{++} . Для забезпечення високих пробивних напруг супертонкого підзатворного діелектрика використовують діоксид кремнію, легований окислами рідкісноземельних металів (Ho, La), що дає можливість збільшити діелектричну проникливість з 9,7 до 10-12.

Проникнення областей збіднення стоку і витоку в канал є основною причиною появи короткоканалних ефектів. Проте усунути їх простим збільшенням концентраційних профілів домішки в Si-підкладці є неможливим, бо при цьому зростає передпороговий струм та зменшується рухливість носіїв заряду в каналі. Тут нами реалізований спосіб оберненого ефекту каналу, коли із зменшенням довжини каналу порогова напруга зростає. Як бачимо із рис.7, цей ефект досягається створенням ретроградних ореолів із імплантованих BF_2^{++} , PF_3^{++} навколо слаболегованих стік-витокових областей. При цьому

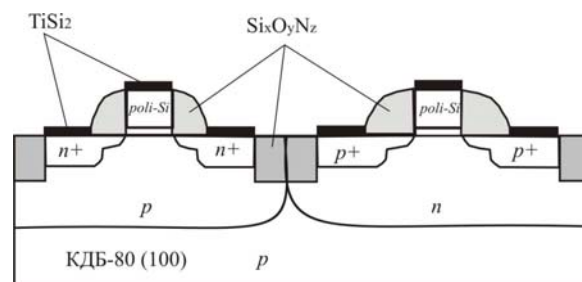


Рис. 7. Субмікронна К-МОН-структура з оксинітридною ізоляцією та спейсерами на основі ретроградних кишень.

інше легування можна виконувати вертикально, але краще під кутом, для чого Si-підкладки нахиляють на кут від 20° до 80° по відношенню до іонного пучка, щоб направити його під затвор. Ореоли виконують, зазвичай, на тому ж етапі літографії, що і мілкі слабологовані стік-витоків області. Енергія імплантації є досить високою бо використовуються багатозарядні іони, де енергія $E_n = E \cdot n$ і забезпечує глибоке залягання ореолів.

Після формування оксинітридного спейсера і стік-витоків областей можна підлеговувати канали для формування вже МОН-транзисторів із вмонтованими каналами, при цьому теж використовують радикальну багатозарядну імплантацію.

Таким чином, в даній структурі використана багатозарядна імплантація для формування ретроградних кишень, ореолів та каналів, що відповідно запобігає утворенню короткоканалних ефектів.

Концентраційні профілі домішки в області ореола, слабологованої області стоку та кишени подані на рис.8. Іонне легування в кишени відрізняється від ореола тільки тим, що охоплює не всю слабологовану область, а тільки частину її біля поверхні.

Крутий розподіл домішки в кишени створюють за допомогою багатозарядної імплантації радикалів AsF_3^{++} для p -МОН-транзисторів та BF_2^{++} для

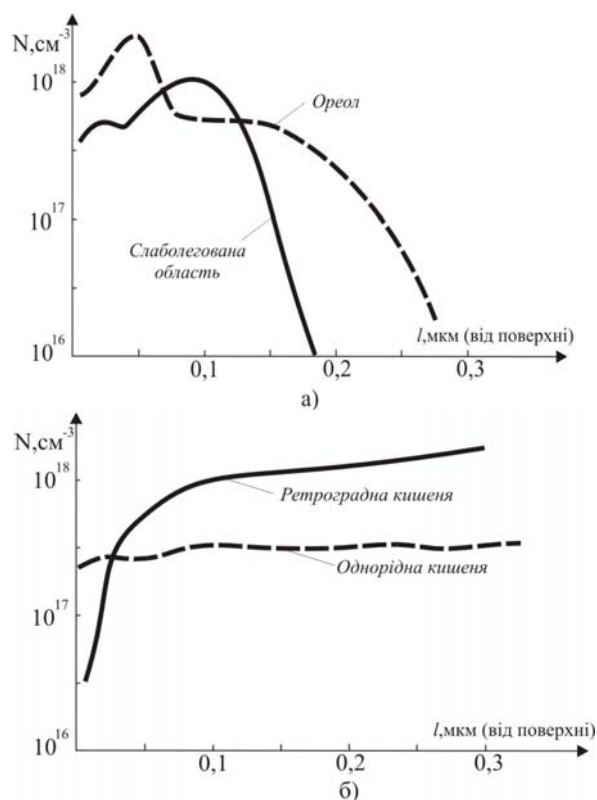


Рис. 8. Ретроградні концентраційні профілі домішок, сформованих багатозарядною імплантацією BF_2^{++} та PF_3^{++} в стік-витоків областях та кишнях субмікронних МОН-транзисторів..

n – каналних.

Аналогічно відбувається ретроградне легування багатозарядною імплантацією полікремнієвих затворів, яке замінює високотемпературне дифузійне легування.

Зменшення товщини підзатворного оксиду обмежується появою паразитного тунельного струму, який збільшує енергоспоживання схеми та викликає нестабільність його напруги пробією. При легуванні підзатворного оксиду РЗМ (Ho, La) із сполук $LaCl_3, HoCl_3$ дозволяє за рахунок збільшення електричної міцності до $E = (5-6) \cdot 10^7$ В/см зменшити товщину до 1,5-3,0 нм.

Ще однією причиною, що запобігає подальшому зменшенню розмірів МОН-транзисторів, є квантово-механічна природа інверсного шару, який називають ще двійним електронним газом (2ДЕГ) і який не дозволяє електронам розміщуватись безпосередньо біля поверхні кремнію. Максимум просторового розподілу електронів в інверсійному шарі знаходиться на віддалі 1-2 нм від поверхні. Це відповідно збільшує ефективну товщину підзатворного оксиду до 0,3 нм. Аналогічне збіднення відбувається і в легованому полікремнієвому затворі, що в кінцевому рахунку збільшує ефективну товщину оксиду на 0,6-0,7 нм, що і зменшує струм стоку та навантажувальну здатність транзистора.

Однорідність підзатворного діелектрика може бути також підвищена, якщо використати локальний епітаксійний моно-Si, а затвор із нітриду та силіциду титану, бо зернистість цих плівок майже в 3-5 разів є меншою, ніж у легованого полі-Si. В ракурсі цього питання нами проведений комплекс досліджень по формуванню силіциду титану на основі аморфного кремнію, що дозволило зменшити питомий об'ємний опір силіциду до величин менше 10 мкм·см.

Такі силіцидні плівки покращують не тільки однорідність затвору, але і суттєво знижують контактний опір до стік-витоків областей та захованого контакту [7].

Подальше зменшення елементів також неможливе без суттєвого збільшення роздільної здатності проекційної літографії, висококонтрастного резисту та проявника, викладених в [5]. Для активації домішки в мілких $p-n$ -переходах слід використовувати швидкий імпульсний відпал [6]. Ізоляція елементів та формування спейсерів виконується оксинітридним діелектриком, властивості якого описані в розділі 1 даної статті.

IV. Конструкторсько-технологічні особливості формування МОН-транзисторів із SOI-структурою

МОН-транзистори, виготовлені за технологією “кремній на ізоляторі” (КНІ) є дуже перспективними для створення мікропотужних та швидкодіючих ВІС з напругою живлення до 1,2В, бо наявність захованого

діелектричного шару із оксинітриду кремнію суттєво зменшує його ємність на підкладку. Другою перевагою даної технології є надзвичайно простий процес ізоляції компонентів через $Si_xO_yN_z$ високоенергетичною багатозарядною радикальною імплантацією N_2O^{++} . А це дозволяє майже на порядок підвищити щільність компонування елементів. Ця технологія повністю виключає формування кишень. Крім цього, КНІ-структури відрізняються високою радіаційною стійкістю та високою температурною стабільністю. Всі короткоканальні ефекти в КНІ-структурах можуть бути ефективно подавлені простим зменшенням товщини монокремнієвого шару.

Основна сучасна проблема в КНІ-технології полягає в тому, що такі МОН-транзистори мають збільшений підпороговий струм внаслідок ефекту плаваючої Si-підкладки, який встановлює межу зниження споживаної потужності у виключеному стані транзисторного ключа.

Другим принциповим аргументом обмеження даної технології є те, що мала власна ємність КНІ-транзистора перестає бути його перевагою при подальшому масштабуванні його структури.

Для сучасних SOI-структур використовують три способи ізоляції: локальне оксидування кремнію (LOCOS), ізоляція каналуванням (STI) і мезаізоляція [2.4.10]. LOCOS-ізоляція для елементів < 0.25 мкм із-за "пташиного дзьобу" не може бути застосовною, а STI-ізоляція є дорогою та вносить дефектність. Тому в цьому плані заслуговує уваги оксинітридна ізоляція багатозарядною радикальною імплантацією N_2O^{++} .

На рис.9 подана структура МОН-транзистора, сформованого на основі SOI-технології з оксинітридною ізоляцією. Тут товщина захованого шару складає 300-500 нм, а товщина моно-Si над захованим шаром може бути 200-300 нм. підзатворний оксид є легованим РЗМ для підвищення його електричної міцності для товщин 4-10 нм. Товщина силіцидного затвору $TiN - TiSi_2$ може бути в межах 200-350 нм, що формується на основі аморфного кремнію.

Легування каналу виконується таким чином, щоб отримати або індукований чи вмонтований канал та величину порогової напруги. Кишеньки, леговані BF_2^{++} для n -каналних транзисторів та PF_3^{++} для p -каналних транзисторів введені для запобігання змикання стік-витокових областей і подавлення

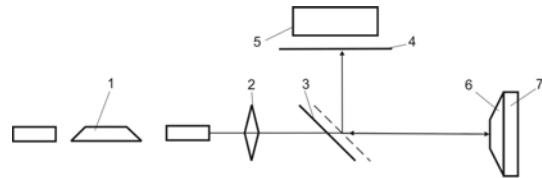


Рис. 13. Оптична схема пристрою контролю прогину Si-пластин: 1 – He – Ne-лазер; 2 – фокусууюча лінза; 3 – напівпрозоре дзеркало; 4 – екран; 5 – мікроскоп; 6 – досліджувана Si-пластина; 7 – скануючий пристрій.

ефекту зниження порогової напруги із зменшенням довжини каналу. Силіцидна розводка та ретроградне легування стік-витокових областей дозволяє формувати контакти з низьким опором. Планаризація рельєфу структури досягається спейсерною оксинітридною технологією, яка забезпечує також гетерування домішки і дефектів як із підзатворного діелектрика, так і із стік-витокових областей.

Дана оксинітридна SOI-технологія дозволяє формувати не тільки КМОН-структури, але і Д-МОН, на основі яких можна реалізувати складні силові схеми.

Висновки

SOI-структури можуть бути сформовані з використанням оксинітридної технології формування захованого діелектричного шару та ізоляції елементів. Для його формування слід використовувати багатозарядну високоенергетичну радикальну імплантацію N_2O^{++} .

Матеріал затвору, ретроградні стік-витокові області з ореолом, час життя носіїв заряду, товщина відсіченого шару моно-Si, наявність контакту на Si-підкладці є параметрами, за допомогою яких можна подавлювати короткоканальні ефекти в КНІ-наноструктурах та будувати К-Д-МОН-структури.

Висока якість і однорідність затворної системи досягається легуванням підзатворного оксиду рідкісноземельними металами, а його металізація та формування контактів забезпечує ретроградне легування стік-витокових областей та формування силіцидної розводки з використанням аморфного кремнію.

Новосядлий С.П. – доктор технічних наук, професор;
Вівчарук В.М. – аспірант кафедри радіофізики.

- [1] Partridge S.L. Silicon-on-Insulator and device application – *Studies in electrical and electronic engineering 23, Solid State Devices.* – 1985 Invited papers presented at the 15-th European Solid State Device Research Conference, Aaden, FRG, September 9-12,1985, Elsevier, 1986 P.115-150.
- [2] С.П. Новосядлий. *Фізико-технологічні основи субмікронної технології великих інтегральних схем.* Сімік, Івано-Франківськ. 351с. (2003).
- [3] С.П. Новосядлий. Моделі транзисторів в субмікронній технології великих інтегральних схем // *Фізика і хімія твердого тіла*, 3(4), сс. 1071-1080 (2002).
- [4] С.П. Новосядлий Фізико-технологічні особливості формування локальної ізоляції активних областей ВІС канавками // *Оптоелектроніка і напівпровідникова техніка*, (35), сс.122-127 (2000).

- [5] С.П. Новосядлий. Шляхи підвищення роздільної здатності проекційної літографії // *Металофізика і новітні технології*. **24**(8), сс. 1073-1082 (2002).
- [6] С.П. Новосядлий. Активация домішки в субмікронній технології формування структур ВІС // *Металофізика і новітні технології*. **24**(6), сс. 777-794 (2002).
- [7] С.П. Новосядлий. Механізми формування плівки дисиліциду титану в реакторі зниженого тиску на основі аморфного кремнію // *Металофізика і новітні технології*. **23**(5), сс.597-608 (2001).
- [8] Новосядлий С.П. Полікремнієва спейсерна технологія формування субмікронних контактів ВІС // *Труды II международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии»* Одесса, сс. 263-264 (2001).
- [9] С.П. Новосядлий, В.М. Бережанський. Багатозарядна іонно-імплантаційна обробка при формуванні кишень і металізації субмікронних структур ВІС // *Металофізика і новітні технології*. **29**(7), сс.857-866 (2007).
- [10] D.I. Fooster, A.L. Butler, P.H. Bolbot, C. John. Alderman optimization of oxygen-implanted silicon substrates for CMOS devices by electrical characterization // *IEEE Trans. Electron Der*, **33**(3), pp.354-360 (1986).
- [11] S. Pindl, J. Berhold, T. Hutner, S. Reif, D. Schuman, H. Philipshorn. A 130-nm channel length partially depleted SOI CMOS-technology // *IEEE Trans ED*, **46**(7), pp. 1562-1566 (1999).

S.P. Novosyadly, V.M. Vivcharuk.

Multicharge Radical Implantation at Forming of SOI-Structures

*The Precarpathian National University, T. Shevchenko Str., 57, 76025, Ivano-Frankivsk Ukraine,
e-mail: nsp@pu.if.ua, vivov@bigmir.net*

In the article researches of multicharge implantation are resulted at mono-Si oxygen and nitrogen as molecular (radical) ions, which allow to form not only the vertical insulating a layer but also lateral the hidden layer of $Si_xO_yN_z$, which has the high insulating enough descriptions. Thus a dose of implantation of radical ions, which is needed for the synthesis of such layer, is on an order more small doses of implantation of ions of nitrogen and oxygen, necessary for forming of the hidden insulating layers on the basis of oxide of silicon. On the basis of such SOI-structure (Silicon-on-insulator) it is possible to form the MOS-structures of submicron technology.