

С.П. Новосядлий, В.М. Грига, І.І. Куриш, М.І. Мельник

Термопольова стабілізація порогової напруги польових транзисторів субмікронної технології ВІС

ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника»,
вул. Шевченка, 57, Івано-Франківськ, 76000, Україна, ivankurysh7532@gmail.com

На основі аналізу об'ємної відповідності фаз в діючій затворній системі Si-SiO₂ показана можливість отримання від'ємного заряду в затворній системі субмікронних ВІС. Такий технологічний метод експериментально перевірений при низькотемпературному окисдуванні кремнію, на що отримано патент на винахід. Дослідженнями встановлено, що на величину заряду на міжфазній межі можна суттєво впливати шляхом введення в окислювальну атмосферу галогеновмісних сполук.

Стаття постуила до редакції 02.12.2018; прийнята до друку 15.12.2018.

I. Зарядові властивості межі розділу Si-SiO₂ субмікронних структур ВІС

Подальше зменшення розмірів МОН-транзисторів сьогодні вимагає більш детального вивчення та вдосконалення технологічних процесів за допомогою яких формується зарядовий стан межі розділу напівпровідник-діелектрик, зокрема як управляти природою і концентрацією цих зарядів, бо цей зарядовий стан визначає знак і величину порогової напруги живлення ВІС/НВІС. Заряди що формуються в окислі затвора, суттєво впливають на струми втрат, порогову напругу, поверхневу рекомбінацію, стабільність параметрів. На сьогодні проблема створення межі розділу із заданими електрофізичними параметрами в основному визначаються емпіричним шляхом із великими експериментальними витратами.

Нам відомо, що ефективний заряд в термічному окислі на підкладках електростатичного кремнію орієнтацій (111) і (100) є позитивним. Навпаки, введення стійкого від'ємного заряду в SiO₂ представляє собою досить складну і трудну технологічну задачу. Введення в окисид іонів фтору, хлору, миш'яку і деяких других домішок, крім того, що дають можливість отримання ефективного від'ємного заряду, не дозволяють добитися його стабільності, цей заряд вже усувається низькотемпературним відпалом при T = 200 - 300°C або оптичною (фотонною) дією. А між тим отримання стійкого від'ємного заряду в значній степені спричинило б високу технологічність в

юстуванні порогової напруги польових транзисторів.

Сьогодні відомо декілька підходів до вирішення цієї задачі в субмікронній технології ВІС/НВІС. Один із варіантів пропонує імплантацію іонів в плівку термічно вирощеного оксиду при відносній температурі іонів йоду. Другим варіантом формування від'ємного заряду в SiO₂ проводився іплантациєю іонів (Ca⁺). Крім того, в ряді робіт, де пробували отримати від'ємний заряд шляхом легування підкладок-Si Pd, Rh, Nd та іншими, удалося добитися тільки зменшення позитивного заряду в окисиді, а не формування від'ємного заряду в чистому виді, що не вирішує задачі в цілому.

В даній статті можливість отримання від'ємного заряду на межі розділу Si-SiO₂, досліджувалося на основі аналізу природи дефектів, що виникають на міжфазній межі. Аналіз проводився в рамках забезпечення принципу об'ємної відповідності кристалічних ґраток і їх деформацій, що дозволяє якісно установити зв'язки між структурами межі розділу та її електрофізичних параметрів з використанням діагностичних методів.

Тут вважається, що між напівпровідниковою Si-підкладкою та аморфно-оксидною плівкою існує тонкий квазікристалічний прошарок оксиду із спотвореною структурою. Результати розрахунку такої моделі на концентраціях дефектів межі розділу Si-SiO₂ при вмонтуванні різних модифікацій діоксид кремнія представлено в таблиці 1.

Подані в таблиці дані свідчать про те, що на межі розділу з моно Si (100) і Si (111) із всіх модифікацій SiO_x тільки низькотемпературний α-кварц повинен

Таблиця 1

Концентрація дефектів з незамкнутими зв'язками на межі розділу Si-SiO₂

№	Підкладка/орієнтація	Вмонтований оксид	Невідповідність $\Delta N_{\text{н.в.}} \cdot 10^{-14} \text{ см}^{-2}$	Примітка
1	Si(111)	α - кварц (000)	-0,68	SiO ₂ – терміч.
		β - тридиміт (0001)	+0,56	
		β - кристоболіт (111)	+0,57	
2	Si(100)	α - кварц (0001)	-0,10	
		α - кристоболіт (100)	+1,15	
		β - кристоболіт (111)	+0,12	

викликати появу від'ємного заряду. Тому для отримання чисто від'ємного заряду, на наш погляд, необхідно забезпечити ріст оксиду SiO₂ при можливо більш низькій температурі, що буде зменшувати ймовірність утворення в оксидній плівці α -кристалобаліту. Це можна виконати технологічно.

В ролі методу низькотемпературного окислювання, нами був вибраний іонно-променевий синтез SiO₂ з використанням іонних джерел типу "Радикал" або "Істра". Експериментальна установка "Вертикаль" з використанням даних джерел дозволила отримати колімарні пучки іонів з енергією до 200 еВ і густиною струму 0,5–5 мА/см², що викладено в монографії автора "Суб- і наномікронна технологія структур ВІС" (Івано-Франківськ: Місто НВ, 2010). Саме застосування низькоенергетичних іонів сприяла також різкому зниженню радіаційних дефектів, а в процесі формування діоксиду SiO₂ підкладкотримач можна охолоджувати криогенно (рідким азотом при 77 К). Тому з врахуванням іонного бомбування і виділення тепла радіація при оксидуванні підтримувалася при температурі Si-підкладки нижче кімнатної (тобто < 300 К). Експерименти проводилися на Si-підкладках марки КЕФ-4.5(100), що забезпечували мінімальну порогову напругу U_T .

Для активації процесу оксидування використовувалася іонізація кисню іонами Хе⁺ з енергією 25–50 еВ. Конструкція установки дозволила додавати в роботу камеру-реактор, поряд з киснем (точна роси < -70°C) галогеномістні гази (CCl₄, SF₆, фреони). Для усунення впливу природного оксиду через формуваннями SiO₂, його стравлювали бомбардуванням іонами Хе⁺ (фрезеруванням) з додавкою галогеномістних газів. Стравлювання шару природного оксиду кремнія перед вирощуванням низькотемпературного нового іонно-променевим методом використовується у високоякісній МОН-технології субмікронних структур ВІС для отримання точних високостабільних плівок SiO₂ як підзатворного діелектрика. Величина заряду в оксиді визначалася за вольт-амперними характеристиками із ртутним чи індієвим зондом.

Нашими дослідженнями встановлено, що на відміну від термічного окислу, отримано нами плівки SiO₂, товщиною 8–12 нм вже характеризувались ефективним від'ємним зарядом, величина якого

практично не змінювалася при термічному відпалі до $T \leq 450 - 500$ °С. Це відповідає повністю нашим викладеним вище теоретичним міркуванням про зв'язок від'ємного Q_s з утворенням фази α -кварца, який термодинамічно є чіткішим при атмосферному тиску до температури 573°C.

Отримані нами результати свідчать про дуже принципову важливість застосування іонно-променевої технології з іонними джерелами та низьких криогенних температур для підкладоотримача для отримання від'ємного заряду. Саме криогенні температури забезпечують формування від'ємного заряду, за допомогою якого можна юстувати порогову напругу МОН-транзисторів субмікронної технології ВІС.

Нами також було досліджено вплив на електрофізичні параметри отримання структур галогеномістних газів, що вводяться в окислювальне середовище (2–3 % об.). Як відомо із досліджень іони галогенів можуть залишати (залічувати) незамкнені зв'язки на межі розділу та зменшувати густину поверхневих станів Q_s . Встановлено, що добавка чотирихлористого вуглецю (CCl₄) мало впливає на величину Q_s і отримати від'ємний заряд практично є неможливо. В присутності елегазу (SF₆) вольт-фарадні характеристики зміщувалися в сторону від'ємних напруг, як це ілюструє рис 1.

Це дозволяє при певній концентрації SF₆ в газовому потоці (7–10 % об.) отримувати нульову і

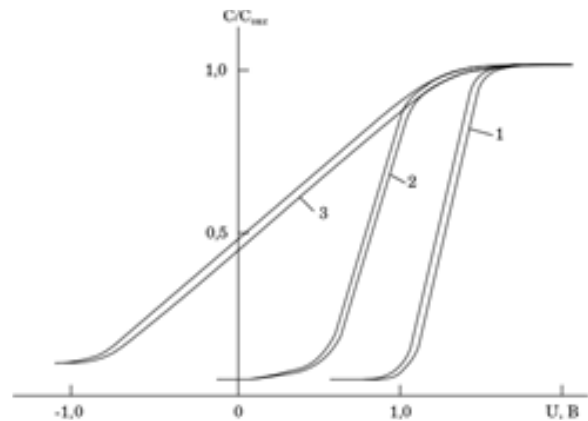


Рис. 1. Вольт-фарадні характеристики структур Si-SiO₂: 1 – без галогеномістних зв'язків; 2 – O₂ + CCl₄; 3 – O₂ + SF₆.

від'ємну порогову напругу U_T . На дану технологію нами отримано патент на корисну модель N27540 "Спосіб отримання n-MOH-транзисторів з від'ємною пороговою напругою" від 12.11.2007р, що дозволив проводити юстування польової напруги для n-MOH-транзисторів до нульового і від'ємного значення.

Зсув порогової напруги (напруги плоских зон ΔU_{FB}) очевидно не може бути зв'язаний із зарядом самих введених в оксид іонів, оскільки в цьому випадку треба було б очікувати зміщення його в протилежному напрямку, як це говорить теорія окислювання. Тут, іони фтору (F^-), які мають менший розмір та більш високу рухливість в порівнянні із іонами хлору (Cl^-), спроможні більш ефективно проникати до межі розділу Si-SiO₂ і викликати зміну структури перехідного шару, що зумовлює появу дипольних центрів протилежної направленості (тобто перетворення α -кварца в α -кристалоболіт). Такі переходи із збереженням орієнтаційного зв'язку з Si-підкладкою є відоме. Тому ймовірність даного перетворення збільшується на порядок в зв'язку із наявністю досить великої концентрації точкових дефектів, що спричиняють механічні напруги (тут в отриманих нами невідпалених структурах густина швидких поверхневих станів (ШПС) була вже на рівні $10^{12} \text{eV}^{-1} \text{cm}^{-2}$), а також присутність домішкових атомів (бо міжфазна межа стає ефективним шаром), які ефективно стабілізують ту чи іншу модифікацію оксиду. Зменшення величини Q_s зв'язане також із залічуванням складних дипольних центрів, що виникають із-за об'ємної невідповідності, притягненнями за напрямними диполями, які утворюють іони галогенів з неконтрольованими іонами металів (Na^+ , Cu^+ та інші), які згетеровані із об'єму напівпровідникової підкладки.

Результати наших досліджень свідчать про можливість формування стійкого від'ємного заряду на межі Si-SiO₂ в умовах іонно-променевого окислювання кремнію при криогенній температурі (нижче кімнатної). Це дозволяє на цій основі розробити метод юстування порогової напруги n-MOH-транзисторів в досить шаристому інтервалі

від $U_T = -1,0 \text{ В}$ до $U_T = +1,5 \text{ В}$. Цікавим методом при цьому є n-MOH-транзистори з пороговою напругою $U_T = 0$. Крім цього на величину заряду Q_s на межі Si-SiO₂ можна впливати введенням в окислювальну атмосферу галогеновмісних сполук. Тут слід зауважити, що іоннопроменево осадження SiO₂ можна замінити багатозарядовою імплантацією іонів фтору (F^-) при криогенній температурі, що визначається відповідним патентом.

II. Електрофізичні характеристики МДН приладів з підзатворним діелектриком, отриманим фотонно-термічним окислюванням кремнію

Сьогодні до перспективних технологічних процесів, які повинні відповідати умовам сучасного серійного виробництва субмікронних структур ВІС/НВІС, пред'являються вимоги по досягненню надзвичайно високих конструктивних і електрофізичних параметрів функціональних шарів таких структур.

В даній статті проведено аналіз електрофізичних характеристик МДН конденсаторів як тестових структур, підзатворний оксид яких сформований в результаті фотонно-термічного окислювання (ФТО) Si-підкладки для субмікронних структур ВІС, що дозволяє знизити температуру окислювання.

Тестові МДН-конденсатори, які сформовані з використанням технології ФТО характеризувалися (в залежності від площі електрода) середніми значеннями пробивних полів (напруг) $E_{пр}$ від 12 до 15,8 МВ/см. Прикладене до МДН-конденсаторів електричне поле змінювалося із швидкістю 2 МВ/см в секунду, а сам електричний пробій реєструвався на рівні струму в 5мкА. Дисперсія пробивних полів замірених структур МДН-конденсаторів, що подана на рис. 2, а, має достатньо мале значення ($\sigma \leq 2 \text{ МВ/см}$), що говорить про досить високу якість

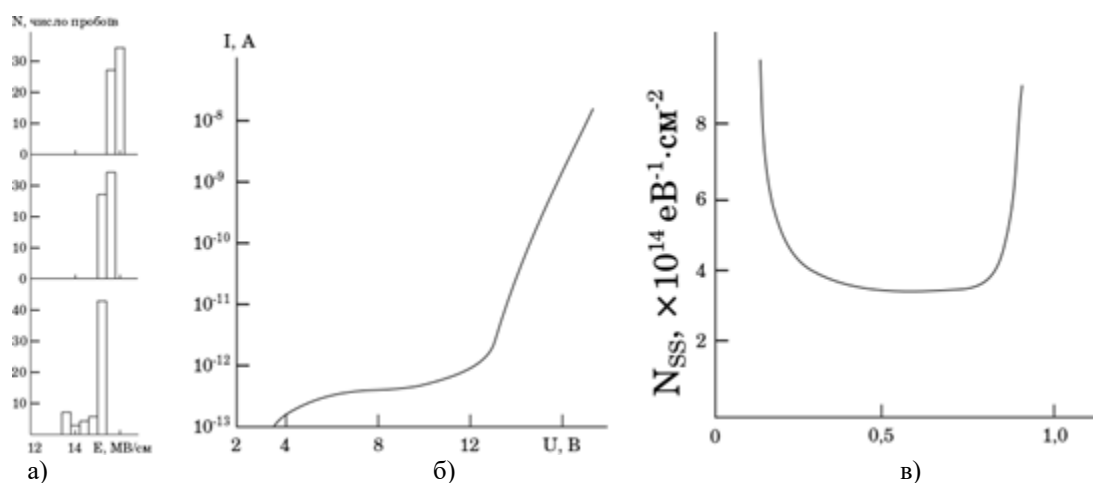


Рис. 2. а) гістограми пробивних полів для МДН-конденсаторів площею 30x30; 50x50; 150x100 мкм (I-III) і з товщиною SiO₂ 12,5 нм; б) ВАХ МДН-структури з товщиною підзатворного оксиду 15 нм; в) розподіл щільності поверхневих станів по енергії в забороненій зоні.

підзатворного діелектрика. Дисперсія же пробивних полів вже термічних окислів є $\sigma \geq 2$ МВ/см, а діапазон $E_{пр} = 6 - 9$ МВ/см. Позитивною особливістю ФТО є також повна відсутність мікропор в такому оксиді, реєструючи в експерименті як електричний пробій діелектрика в полях, менших ≤ 5 МВ/см.

ВАХ МДН-конденсатора з підзатворним фотонно-термічним діелектриком вже має дві області: (рис. 2, б). Аналіз другої області ВАХ, що записується законом Фаулера-Нордгейма для тунельної емісії носіїв заряду через трикутний бар'єр, що характерне поле дисперсії $\sigma = 3,2 \cdot 10^8$ В/см, що суттєво перевищує вимірні значення для бар'єра кремній-термічний оксид ($2,6 \cdot 10^6$ В/см). Такі отримані експериментальні дані вказують на високе збільшення потенціального бар'єра кремній-фотонно-термічний оксид. При цьому густина струму, яка є рівною $2 \cdot 10^{-9}$ А/см², що відповідає отриманому електричному полю 8МВ/см (рис 2, б), задовільняє виставленим вимогам підзатворного діелектрика конденсатора зберігання динамічних ЗП та мікропроцесорних систем (МП і МК).

ВФХ МДН-конденсаторів з підзатворним фотонно-термічним оксидом свідчить про високу якість отриманих тонких плівок діоксида кремнія SiO₂ і межі розділу Si-SiO₂: значення плоских за $U_{FB} = -0,22 - (-0,25)$ В, густина вмонтованого в діелектрик заряду в межах точності нашого експеримента складає $(1-2) \cdot 10^{10}$ зар/см², густина поверхневих станів в середині забороненої зони в моно-Si складала величину $N_{ss} = 4 \cdot 10^{10} \text{eV}^{-1} \text{cm}^{-2}$ (рис. 2в). Це значення N_{ss} розраховувались по низькочастотній ВФХ (10кГц).

Також вимірювальність і термопольова стабільність МДН-структур при навантаженні 3МВ/см температурі + 150 °С і витримці протягом 30 хв. Результати цього експеримента показали незначну зміну напруги плоских зон ($\Delta U_{FB} = \Delta U_{ПЗ}$), а саме величину $\Delta U_{FB} \leq 45$ мВ. Вимірювання всіх МДН-конденсаторів вже з термічним оксидом подали величину плоских зон $U_{FB} = -0,4 - (-0,55$ В), густину поверхневих станів в середині забороненої зони $N_{ss} =$

$(6-9) \cdot 10^{10} \text{eV}^{-1} \text{cm}^{-2}$ і термопольову стабільність плоских зон $\Delta U_{FB} > 115$ мВ при вище сказаному навантаженні.

Таким чином, отримані результати свідчать про те, що фотонно-термічне окислення підзатворного діелектрика є надзвичайно перспективним для формування субмікронних структур ВІС/НВІС. Тут слід також зробити зауваження, що використання при фотонній обробці ексимерного лазера (ArF і KrF) з діапазоном хвиль 193 і 247нм дозволяють понизити температуру до рівня 570 – 620 °С, що при витримці в часі 10 – 25 с повністю виключає розмиття концентраційних профілів.

III. Субмікронна підзатворна система SiO₂-SiO_xN_y-SiO₂ як високоякісний діелектрик накопичувальних конденсаторів оперативних схем пам'яті (ОЗП)

Подальше підвищення ступеня інтеграції ВІС, зокрема схем пам'яті, зумовлює пошук нових шляхів в технології підготовки і формування високоякісного діелектрика накопичувальних конденсаторів оперативних схем пам'яті (ОЗП). Тут основними вимогами до даного діелектрика є: низька густина дефектів, висока електрична міцність та висока термопольова стабільність в широкому температурному діапазоні (-60 - (+125)°С). Крім цього такий діелектрик повинен мати високі бар'єрні властивості по відношенню до швидкодифузуючих домішок бору і фосфору. Для вирішення такого складного завдання необхідно, з одного боку, розробити технологію підготовки поверхні кремнієвих підкладок, щоб забезпечувала мінімальну товщину поверхневої міжфазної області Si-SiO₂ та мінімальну густину поверхневого заряду при формуванні самого підзатворного діелектрика. Технологія формування тришарової структури оксид-

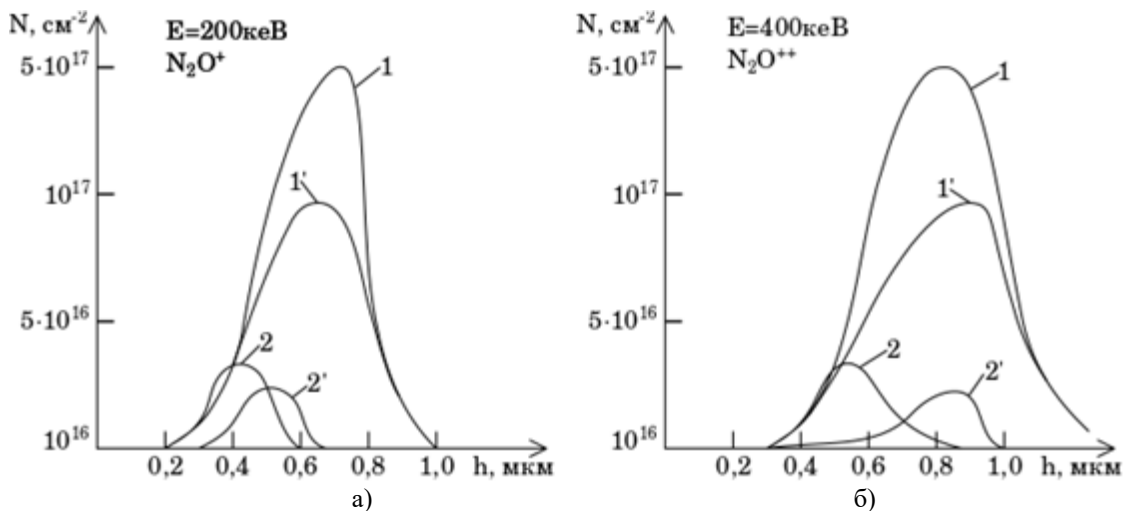
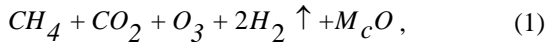


Рис 3. Концентраційні профілі атомів кисню (1) та атомів газу (2) до (1,2) і після (1', 2') швидкої імпульсної активації для дози $2 \cdot 10^{17} \text{cm}^{-2}$ для: а) N₂O⁺ при E=200кеВ; б) N₂O⁺⁺ при E = 400кеВ.

оксинітрид-оксид кремнію вимагає в себе декілька етапів: 1) етап очищення і підготовки атомарно чистої поверхні моно-Si; 2) етап формування тришарової структури в єдиному процесі-мікроциклі; 3) тестові вимірювання електрофізичних параметрів сформованого діелектрика (тестове діагностування).

Перший етап включає в себе очищення і підготовку чистої атомарної поверхні з використанням хімічної та плазмохімічної обробки. Сутність хімічної обробки полягає в окисленні важких металів та складних органічних сполук з використанням перегідрольно-надоцтового розчину травника в деіонізованому виді у співвідношенні $H_2O_2 : CH_3COOH : H_2O = 3 : 1 : 1$ при борботуванні азотом та УФ-опроміненні розчину:



Озон O_3 , що при цьому утворюється внаслідок даної реакції, інтенсивно реагує із складними органічними сполуками, перетворюючи їх у більш прості, що легко розчинні у перегідроксидному розчині в деіонізованій воді. З іншого боку перегідроль H_2O_2 та надощтова кислота CH_3COOH виступають як сильні окислювачі величин і перехідних металів, які відповідають за рухомий заряд в оксиді при термопольових випробуваннях.

Фінішна плазмохімічна обробка очищення Si-підкладок проводиться у високочастотному плазмовому реакторі на частоті 13,56 МГц або 2,4 ГГц в плазмі кисню і водню ($O_2 + H_2$) у співвідношенні 2:1. Саме киснева плазма призводить очищення від органічних сполук, які вже введені деіонізованою водою, а воднева плазма відновлює природній оксид до мінімально можливої межі Si-SiO₂, зменшуючи її деформацію, напруження та величину зарядового стану Q_s .

Для зменшення деформаційних явищ та зарядового стану межі Si-SiO₂ на другому етапі проводиться вже швидко термічне оксидування з використанням фотонної установки "Імпульс-3" на ксенонових лампах КНП16/250 в атмосфері сухого кисню, опромінення ультрафіолетом (ртутна лампа ДРШ-250) при температурі $T = 950 - 1100$ °C протягом 3–5 хв при швидкості росту оксиду 0,6 мм/хв. При цьому товщина надтонкого оксиду складає 2–3 нм. Аналіз даних, що подані на рис. 3, а, б вказує, що товщина оксидгідридної плівки і її коефіцієнт заломлення n , яка витримує повторне окислення можна зменшити до 1–3 нм у порівнянні із звичайним термічним оксидуванням. Саме при швидкому термічному оксидуванні (што) термомеханічні напруження і деформації на межі розділу Si-SiO₂ можна звести до рівня, що позитивно забезпечує термопольову стабільність CV-характеристики такого підзатворного діелектрика,

зберігати його високу міцність на рівні (12–14) МВ/см при нестабільності напруги плоских зон $\Delta U_{FB} \leq (-25 - (-60))$ мВ. Всі електрофізичні вимірювання проводилися на тестових конденсаторах з полікремнієвим і поліцидним затворами з площею $10^{-4} - 10^{-1} \text{ см}^2$. Таке формування тришарової структури SiO₂-SiO_xN_y-SiO₂ дозволило в значній мірі понизити густину поверхневих станів до рівня $(1-2) \cdot 10^{10} \text{ eV}^{-1} \text{ см}^{-2}$. Саме цей рівень і забезпечує гетерна дія оксинітридного шару. В цьому полягає оригінальність даної технології такого підзатворного діелектрика та дозволяє утримувати рівень порогових напруг на рівні $U_T = 0,6 - 0,65 \text{ В}$ для n-МОН-транзисторів схем ОЗП.

Висновки

1. Проведено літературний аналіз джерел на предмет підвищення електрофізичних параметрів підзатворного діелектрика при формуванні n-МОН-транзисторів субмікронної технології ВІС/НВІС.

2. На основі експериментальних досліджень встановлена можливість формування n-МОН-транзисторів з від'ємною (нульовою) пороговою напругою $U_T \leq 0$, на що нами було отримано патент на винахід.

3. Визначено два технологічні процеси, за допомогою яких можна формувати n-МОН-транзистори з від'ємною пороговою напругою 1) процес іонно-променевого оксидування з введенням в газовий потік іонних джерел "Істра" та "Радикал" галогеномістних газів, зокрема елгасу SF₆; 2) процес багатозарядної іонної імплантації підзатворного діелектрика SiO₂ іонами фтору (F⁻) з подальшим фотонним відпадом.

4. Для підвищення якості підзатворного діелектрика для субмікронної технології ВІС/НВІС запропоновано технологічний процес фотонно-термічного оксидування (ФТО), що усуває дифузійне зміщення концентраційних профілів.

5. Запропоновано високоякісну технологію формування підзатворного діелектрика у вигляді тришарової структури SiO₂-SiO_xN_y-SiO₂ на основі швидкого фотонного оксидування, в якій оксинітрид виконує роль внутрішнього гетера для очистки зарядового стану міжфазної межі Si-SiO₂.

Новосядлий С.П. - доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерної інженерії та електроніки;
Грига В.М. - кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерної інженерії та електроніки;
Куриш І.І. - магістр;
Мельник М.І. - магістр.

- [1] S. P. Novosyadlij, Sub-and nanomicron technology for forum structures of the BIS. Monograph (City NB, Ivano-Frankivsk, 2010).
- [2] S. P. Novosyadly, AI Terletskiy, Diagnostics of submicron structures of the BIS. Monograph (Simak, Ivano-Frankivsk, 2016).
- [3] Ya. S. Budachan, P. I. Melnik, S. P. Novosyadliy, Laboratory-Calculation Workshop on Semiconductor Physics and Solid State Theory (Alpha, Ivano-Frankivsk, 2008).

- [4] Patent for Utility Model N27540., "Method for producing n-MOS transistors with negative threshold voltage". Novosyadly S.P., Beretan B. M. has published November 12, 2007
- [5] P. Balh-Amsterdam et al., The Si-SiO₂ system/EN (Elsevier, 1988).
- [6] R. F. De Keermaecker, D. I. Maria, I. Appl Phys. 51(1), 1085 (1980).
- [7] L. Krusin-Elbaum, G.A. Lai-Halasa, Appl Phys. Lett 48(2), 177 (1986) (doi:10.1063/1.96935).
- [8] A.V. Yemelyanov, Electronic Technology. Ser. 3. Microelectronics 2 (119), 3 (1985).
- [9] N.V. Ruman, System silicon-silicon dioxide in PSS transistors, ed. V. M. Koleshko (Science and technology, Minsk, 1986).
- [10] N. V. Ruman, V. V. Khatono, V. S. Malyshev, Academy of Sciences of the BSSR. Ser. Physical 3, 20 (1987).
- [11] N. A. Avaev, Yu. E. Naumov, Elementy of superlarge integrated circuits (Radio and Svyaz, Moscow, 1986).
- [12] S.K. Lee, D.I. Kwong, M.S. Alvi, I. Appl. Phys. 60 (9), 3360 (1986).
- [13] Simulation of semi-visual devices and technological processes. Last achievements. Edited by D. Miller trans. English (Radio and Link, Moscow, 1989).
- [14] S. P. Novosyadlyi, R. I. Zapukhlyak, P. I. Melnik, Physics and Chemistry of Solid State 6(2), 153 (2001).
- [15] S. P. Novosyadlyi, Bulletin of the Kharkiv University. Series physics. Kernels, particles, circles 1(9), 65 (2000).
- [16] S. P. Novosyadlyi, Physics and Chemistry of Solid State 3(1), 175 (2002).

S.P. Novosyadlyi, V.M. Gryga, I.I. Kurysh, M.I. Melnyk

Thermal Field Stabilization of the Threshold Voltage of the Field Transistors of the Submicron Technology of the LSI

*Vasyl Stefanyk PreCarpathian National University
57, Shevchenko Str., Ivano-Frankivsk, 76025, Ukraine, ivankurysh7532@gmail.com*

On the basis of the analysis of the volume correspondence of the phases in the active gate system Si-SiO₂, the possibility of obtaining a negative charge in the shutter system of submicron LSI is shown. Such a technological method has been experimentally verified at low temperature oxidation of silicon, which is a patent for an invention. Studies have established that the magnitude of charge at the interphase boundary can be significantly influenced by introducing into the oxidizing atmosphere of halogen-containing compounds.