

УДК 621.315.592.2:546.28

Гетерування дефектів епітаксialьних кремнійових структур механічною обробкою та сильнолегованим дифузійним шаром

І.Л. Пятак, М.І.Довгошей

*Ужгородський державний університет
88000, Ужгород, вул.Волошина, 54, тел.(03122)32485*

Досліджено два способи мінімізації дефектів в кристалічному кремнії: введення в зворотний бік пластини напруг з допомогою механічної обробки та з допомогою сильнолегованого дифузійного шару. Запропоновані режими, які дозволяють знизити кількість дефектів на один - два порядки.

Ключові слова: епітаксія, р-п-перехід, дислокація, механічна обробка, дифузія, легування, дефекти, гетерошар.

Стаття постуила до редакції 23.04.2000; прийнята до друку 25.05.2000.

I. Вступ

Проблемам гетрування дефектів у кремнієвих структурах присв'ячено значну кількість робіт [1-7]. Їх можна класифікувати у двох напрямках: гетерування швидкокодифундуючими матеріалами і гетерування власними точковими дефектами, дефектними областями, які створюються на зворотному боці пластини на порушеннях, що вносяться механічною обробкою або дефектними областями, які виникають в результаті дифузії фосфору в зворотний бік пластини. Головна мета всіх методів - покращення характеристик приладів та збільшення проценту їх виходу. Шляхом підбирання хімічної взаємодії можна добитися переносу різних домішок, які здатні сприяти зародженню дефектів, із робочого об'єму пластини до якого-небудь зовнішнього стікання, наприклад, до поверхні пластини [5]. Суттєвим процесом більшості відомих методів гетерування є введення пружних напруг або пластичної деформації зворотнього боку пластини

(тобто тієї поверхні, яка не використовується для виготовлення приладу) з послідуною обробкою при підвищеній температурі.

Метою даної роботи була експериментальна оцінка ступеня впливу двох різних методів гетерування на кількість дефектів в епітаксialьних структурах, які застосовувалися для виготовлення кремнійових варікапів КВ 121, КВ 130 та КВ 144. Крім того, ставилося завдання підібрати режим гетерування в існуючий технологічний процес виготовлення кремнійових епітаксialьних структур з найменшою кількістю додаткових технологічних операцій. В одному із варіантів гетерування здійснювалося введенням в зворотній бік пластини кремнію напруг з допомогою механічної обробки, а в другому - введенням фосфору методом термодифузії [4].

II. Гетерування дефектів кремнійових епітаксіальних структур механічною обробкою

Процес виготовлення кремнійових підкладок для виробництва напівпровідникових приладів включає в себе ряд механічних та хімічних поліровок обох поверхонь пластин. Він спрямований на повне зняття порушеного шару, який утворюється при розрізанні кристалу на окремі пластини. Було зроблено допущення, що якщо на неробочій стороні підкладки зняти порушений шар не повністю, а лише частково, то в залишку механічно пошкодженого шару виникають дислокації [5], які будуть джерелами напруг, що необхідні для індукування дифузії домішок та їх захоплення. При цьому об'єм пластини очиститься від дефектів.

Технологія кремнійових пластин типу 350КЭ МО, 003 діаметром 60 мм, які застосовуються для виробництва варікапів, включає в себе наступні операції: різання кристалу на пластини; травлення пласти з двох боків (знімається шар кремнію товщиною 40 мкм); полірування пластин з двох боків (знімається шар кремнію 50 мкм абразивним шліфуванням); одностороннє полірування пласти (знімається шар

виготовлення кожної з пластин була змінена і проводилася наступним чином: розрізання кристалу на пластини; травлення пластин з обох боків (знімається шар кремнію товщиною 5 мкм); полірування пластин з двох боків (знімається абразивним шліфуванням шар кремнію товщиною 35 мкм); одностороннє полірування пласти (знімається шар кремнію товщиною 5 мкм); одностороння суперполіровка (знімається шар кремнію товщиною 20 мкм). При виготовленні кожної пластини втрачається шар кремнію до 80 мкм.

Порівняння обох методів показує, що в першому випадку з боку непланара знімається шар кремнію товщиною біля 45 мкм, а в другому методі – 23 мкм. Видно, що на неробочому боці пластини залишається порушений шар товщиною на 22 мкм більший, ніж звичайно, який і є гетерошаром.

Пластини з гетерошаром завантажувалися в реактор установки епітаксіального нарощування УНЭС ЗПКА одночасно з звичайними пластинами. Епітаксія проводилася хлоридним методом при температурі 1473 К. При цьому формувалася епітаксіальний шар товщиною 6 мкм. Контроль дефектів пакування та дислокацій здійснювався методом оптичної мікроскопії

Таблиця 1

Густина дефектів на пластинах з гетерошаром

№ пластини	Густина дислокацій (см ⁻²)	Густина дефектів пакування (см ⁻²)
1	$4,6 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^2$
2	$1,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^2$
3	$7,7 \cdot 10^2$	$1,1 \cdot 10^2$
4	$2,0 \cdot 10^2$	$8,4 \cdot 10^1$
5	$1,1 \cdot 10^2$	$9,1 \cdot 10^1$
6	$1,3 \cdot 10^2$	$5,2 \cdot 10^1$
7	$5,0 \cdot 10^2$	$2,1 \cdot 10^2$
8	$1,0 \cdot 10^2$	$4,0 \cdot 10^1$
9	$6,4 \cdot 10^2$	$7,5 \cdot 10^1$
10	$1,1 \cdot 10^2$	$3,3 \cdot 10^1$

кремнію товщиною 20 мкм); одностороння суперполіровка (знімається шар кремнію товщиною 15 мкм). При виготовленні кожної пластини знімається шар кремнію біля 125 мкм.

Для створення гетерошару технологія

в об'єднанні з попереднім травленням зразка в селективному травнику Сиртла (суміш плавикової кислоти та окису хрому 1:1). Хімічне травлення з метою виявлення дефектів засновано на тому, що швидкість окислення кремнію в місці, де розташований

дефект, суттєво відрізняється від швидкості окислення бездефектних областей кристала [8], в результаті чого утворюються ямки травлення, які легко спостерігаються в мікроскопі.

Результати визначення густини дислокацій та дефектів пакування на контрольних пластинах з гетерошаром і без нього приведені в таблицях 1 і 2.

операціях. Такі труднощі характерні і для пісковоструйної обробки зворотної поверхні підкладки. Для введення відтворюваних порушень зворотну сторону пластини запропонований також метод звукових ударних напруг, який заснований на створенні акустичної вібрації сферичних об'єктів, наприклад, вольфрамкових кульок, на поверхні пластини [6]. Відтворюваність

Таблиця 2

Густина дефектів на пластинах без гетерошару

№ пластини	Густина дислокацій (см ⁻²)	Густина дефектів пакування (см ⁻²)
1	$5,4 \cdot 10^3$	$8,4 \cdot 10^2$
2	$3,1 \cdot 10^3$	$9,0 \cdot 10^2$
3	$3,1 \cdot 10^3$	$3,6 \cdot 10^2$
4	$7,4 \cdot 10^2$	$1,1 \cdot 10^2$
5	$4,0 \cdot 10^3$	$1,7 \cdot 10^2$
6	$3,3 \cdot 10^3$	$4,5 \cdot 10^2$
7	$1,2 \cdot 10^3$	$1,8 \cdot 10^2$
8	$4,4 \cdot 10^3$	$2,3 \cdot 10^2$
9	$1,1 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^2$
10	$2,5 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^2$
середнє значення	$2,3 \cdot 10^3$	$3,4 \cdot 10^2$

Із їх аналізу видно, що на пластинах з гетерошаром, який створено механічною обробкою, середня густина дислокацій в 7,4 рази нижча, ніж на необроблених пластинах, а густина дефектів пакування зменшилася в 3,8 рази. Подібний метод гетерування описаний в роботі [7], коли в ролі гетера використовувався порушений шар, який утворився при різанні кристалу на пластини. В цьому випадку шліфуванню та поліруванню піддають тільки одну робочу поверхню пластини [7]. Але використання такої односторонньої обробки пластин є проблематично, бо порушений шар в даному випадку має невідтворювані параметри. Крім того, суттєвим недоліком є і короблення таких пластин при послідуочій термообробці, що шкодить їх подальшому використанню.

Основною проблемою використання механічних методів гетерування є забезпечення відтворюваної величинита глибини введених порушень [6] з метою виключення можливості поширення дислокацій від зворотної поверхні пластини до робочої при високотемпературних

порушень, введених цим методом, виключає їх поширення до робочого боку пластини. Суттєвим недоліком всіх відомих методів гетерування, в яких використовувався порушений шар, що створювався механічною обробкою, була необхідність введення додаткових технологічних операцій в процесі виготовлення пластин, що збільшувало їх собівартість.

Запропонований нами спосіб гетерування позбавлений даного недоліку. Приведені вище режими механічної обробки пластин підібрані експериментально. Спроби збільшити товщину залишеного порушеного шару приводили до розтріскування пластин при високотемпературних операціях, а при зменшенні товщини цього шару ефект гетерування втрачався.

III. Гетерування дефектів кремнійових епітаксialьних структур сильно-легованим дифузійним шаром

Другим дослідженим методом гетерування було формування

сильнолегованого дифузійного шару на зворотній поверхні пластини з наступною високотемпературною обробкою на протязі певного часу. Дифузія легуючої домішки із джерела з високою концентрацією, як правило, проходить поряд з виникненням пружної деформації, яка приводить до зародження дислокації, і, таким чином, створюється рушійна сила і центри захоплення для гетерування дефектів із об'єму пластини. Хімічні явища можуть відігравати важливу роль в процесах гетерування в тих випадках, коли гетерування домішок зв'язано з утворенням хімічних сполук між металевими домішками і легуючими елементами. Причиною акумуляції важких металів в областях з високою концентрацією легуючих домішок може бути не тільки утворення сполук, але і просто висока розчинність металів у сильнолегованих окислах кремнію. Остання може бути результатом утворення фаз з низькою точкою плавлення на поверхні пластини під час гетерування при високих температурах, тобто допускається, що при температурі гетерування окисел буде знаходитися в розплавленому стані.

Дифузійне легування фосфором для створення гетеруючих областей проводять в різних технологічних режимах при температурах 1073 – 1473 К на протязі часу

від 15 хвилин до декількох годин [7]. Нами для наглядності і оцінки ефекту гетерування загонка фосфору проводилася тільки в половину поверхні непланара, а друга половина була захищена шаром двоокису кремнія товщиною $0,6 \div 0,8$ мкм, який був вирощений методом піролітичного розкладання моносилану. Загонка фосфору проводилася методом термодифузії із твердого джерела при температурі 1323 К на установці СДО - 125/3 - 12. При цьому був створений легований шар товщиною 1,1 мкм з концентрацією фосфору $1,5 \cdot 10^{19} \text{см}^{-3}$. Після зняття фосфоросилікатного скла і нітриду кремнію з непланара та стандартної хімічної обробки на пластинках був вирощений епітаксціальний шар товщиною 6 мкм і питомим опором 1 Ом·см. Епітаксія проводилася хлоридним методом при температурі 1473 К на установці УНЭС-2ПК-А. Після епітаксії на пластинках здійснювався контроль густини дефектів пакування та дислокації методом оптичної мікроскопії з попереднім травленням пластин в селективному травникові. Після травлення при візуальному контролі під незфокусованим джерелом світла сторони пластини без гетерошару спостерігалися “каламутними” в порівнянні з іншими сторонами, на яких був гетерошар. Це свідчить про те, що на гетерованих

Таблиця 3

Густина дислокацій та дефектів пакування на контрольних пластинках

№ пластини	Густина дефектів пакування (см^{-2})		Густина дислокацій (см^{-2})	
	немає	є	немає	є
	гетерошар		гетерошар	
1	$1.6 \cdot 10^2$	не виявлено	$1.2 \cdot 10^3$	$1.0 \cdot 10^2$
2	$1.0 \cdot 10^2$	не виявлено	$2.0 \cdot 10^3$	37
3	$2.1 \cdot 10^2$	14	$7.3 \cdot 10^2$	не виявлено
4	$5.4 \cdot 10^2$	5	$1.0 \cdot 10^3$	8
5	$1.0 \cdot 10^2$	5	$1.0 \cdot 10^3$	не виявлено
6	не виявлено	не виявлено	$3.5 \cdot 10^2$	20
7	$7.4 \cdot 10^2$	3	$1.1 \cdot 10^3$	75
8	$1.3 \cdot 10^3$	7	$8.0 \cdot 10^2$	$1.1 \cdot 10^2$
9	$1.1 \cdot 10^2$	не виявлено	$1.0 \cdot 10^3$	$1.0 \cdot 10^2$
10	$1.0 \cdot 10^3$	11	$5.0 \cdot 10^2$	46
середнє значення	$4.3 \cdot 10^2$	4.5	$9.7 \cdot 10^2$	49.6

підкладках була мала концентрація структурних дефектів. Результати вимірювання густини структурних дефектів подані в таблиці 3.

Із аналізу таблиці 3 видно, що гетерошар, який створено дифузією фосфору методом термодифузії в зворотню поверхню підкладок до концентрації порядку 10^{19}см^{-3} приводить до зниження густини дефектів пакування в епітаксіальних структурах приблизно на два порядки, а густини дислокацій - на порядок, що суперечить літературним відомостям, де стверджується, ніби при температурі дифузії, меншій 1373 К, ефект гетерування дефектів не виявлено. Це можна пояснити тим, що ефективність дифузійного гетера в першу чергу визначається концентрацією фосфору в дифузійній області: при 10^{20}см^{-3} утворюються дислокації і гетерують домішки, а при менших концентраціях основною є хімічна взаємодія в дифузійних областях [9].

Порівнюючи ці два досліджені методи гетерування - механічний та дифузійний - можна бачити, що механічний метод простіший в реалізації, бо не вимагає введення додаткових технологічних операцій у вже існуючу систему виготовлення кремнієвих підкладок. Ефект гетерування досягається частковим, а не повним зняттям порушеного шару. При цьому змінюється тільки режим механічної обробки, а технологічні операції залишаються такими, як були. Проте ступінь гетерування дефектів при механічному способі введення структурних неоднорідностей значно нижча, ніж при дифузійному способі. Дифузійний гетерошар викликає зниження густини структурних дефектів в робочій області підкладки на один - два порядки, але при

цьому має недоліки, одним з яких є необхідність введення в технологічний процес додаткової технологічної операції, а другий - високий рівень автолегування [4] під час епітаксії через наявність на зворотньому боці пластини сильнолегованого шару [9]. Експериментально нами було встановлено, що питомий опір епітаксіальної плівки на структурах з дифузійним гетерошаром знизився в середньому на 45 % відносно вихідних структур при тих же витратах легуючої домішки. Але, з іншого боку, підвищення проценту виходу придатних до використання приладів внаслідок значного зменшення густини структурних дефектів в епітаксіальній плівці цілком компенсує витрати на додаткову операцію, а від автолегування можна позбавитися з допомогою спеціальних технологічних прийомів, таких як захист непланара шаром нітриду кремнію або полікремнію, створення "буферного" шару з низькою концентрацією легуючої домішки, та інші [10].

IV. Висновки

1. Розроблено режими механічної обробки кремнієвих пластин, в результаті яких створюється гетерошар, що дозволяє в декілька разів знизити кількість дислокацій і дефектів пакування в епітаксіальних структурах, створюваних на даних підкладках.

2. Введення фосфору до концентрацій порядку 10^{19}см^{-3} в зворотню сторону пластини кремнію приводить до зменшення густини структурних дефектів в них на один - два порядки.

- [1] В.А.Гусев, Н.В.Богач. *Микроэлектроника*, **19**, с.374-379 (1990).
- [2] В.В.Воронков и др. *Кристаллография*, **33**, с.1314-1316 (1988).
- [3] И.Л.Пятак, Н.И.Довгошей. *Физика и химия обработки материалов*, **№ 1**, с.34-36 (1998).
- [4] И.Л.Пятак, Н.И.Довгошей. *Физика и химия обработки материалов*, **№ 2**, с.97-98 (1998).
- [5] К.Рейви. *Дефекты и примеси в полупроводниковом кремнии*, Мир, Москва, (1984).
- [6] В.А.Лабунов, И.Л.Баранов, В.П.Бондаренко, А.М.Дорофеев. *Современные методы геттерирования в технологии полупроводниковой электроники // Зарубежная электронная техника*, **11(270)**, с.3-67, (1983).

- [7] Г.З.Намцев, А.И.Пекарев, Ю.Д.Чистяков, А.Н.Бурмистров. Геттерирование точечных дефектов в производстве полупроводниковых приборов // *Зарубежная электронная техника*, **11(245)**, с.3-64, (1981).
- [8] Р.Бургер, Р.Донован. *Основы технологии кремниевых интегральных схем*, Мир, Москва, (1969).
- [9] [9] Н.Richter. Getering in silicon device technology, GADECT - 1985, p.1-20.
- [10] [10] І.Л.Пятак, І.М.Дрозд. Влияние автолегирования и диффузии на толщину переходного слоя в эпитаксиальных структурах, *Вестник Киевского политехнического института, радиоэлектроника*, **вып. 29**, с.52-54, (1992).

Defects gettering for epitaxial silicon structures by the mechanical treatment and heavily doped diffusion layer

I. L. Piatak and M. I. Dovgoshey

Uzhgorod State University, 88000, Uzhgorod, Voloshyn str., 54

Two methods for defects minimization in crystalline silicon - by introduction of stress into the back face of the wafer under mechanical treatment and with the help of heavily doped diffusion layer - have been investigated experimentally under full-scale production conditions. The conditions for the mechanical treatment of silicon wafers resulting in the formation of the gettering layer that allows several times reduction for the number of dislocations and packing defects in the epitaxial structures produced on these substrates have been suggested. It has been shown that one- to two-fold decrease in density of the structural defects can be obtained by the drive-in of the phosphorus atoms up to the concentration of 10^{19} cm^{-3} .