



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **93270** (13) **U**
(51) МПК (2014.01)
H01C 17/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2014 03934	(72) Винахідник(и): Курмашев Шаміль Джамашевич (UA), Кулініч Олег Анатолійович (UA), Софронков Олександр Наумович (UA), Брусенська Галина Іванівна (UA)
(22) Дата подання заявки: 14.04.2014	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.09.2014	(73) Власник(и): ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ЗВ'ЯЗКУ ІМ. О.С. ПОПОВА, вул. Ковальська, 1, м. Одеса, 65029 (UA)
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.09.2014, Бюл.№ 18	

(54) СПОСІБ ФОРМУВАННЯ ЕПІТАКСІЙНИХ ШАРІВ КРЕМНІЮ

(57) Реферат:

Спосіб формування епітаксійних шарів кремнію включає створення на поверхні напівпровідникової підкладки дислокації стоків радіаційних дефектів. На фронтальній поверхні кремнієвої підкладки перед нанесенням епітаксійного шару шляхом попереднього окислення поверхні підкладки і подальшого стравлювання шару оксиду створюється область дислокаційних сіток щільністю $(10^9 \dots 10^{12}) \text{ м}^{-2}$.

UA 93270 U

Корисна модель належить до електротехніки, електроніки, зокрема до технології виготовлення радіаційно-стійких приладів на основі кремнієвих епітаксійних шарів.

Відомий спосіб формування в напівпровідниковому кремнієвому епітаксійному шарі стоків радіаційних дефектів [1]. Зокрема це можуть бути дислокації, успадковані від підкладки.
 5 Напівпровідникові прилади, виготовлені таким способом, мають значне число залишкових радіаційних дефектів (РД) в об'ємі і на поверхні епітаксійного шару, які погіршують електричні характеристики і параметри напівпровідникових приладів.

З відомих способів формування епітаксійних шарів кремнію, що містять стоки радіаційних дефектів, найближчим є спосіб, описаний в [2]. Він полягає у створенні на фронтальній поверхні напівпровідникової підкладки дислокацій - стоків радіаційних дефектів. Дислокації отримували шляхом механічної обробки поверхні напівпровідникової підкладки, на якій потім вирощується епітаксійний шар. Дислокації, наявні в перехідній області "шар-підкладка", є стоками, на яких анігілюють дифундуючи з об'єму епітаксійного шару радіаційні дефекти.

Недоліками цього способу є:

- 15 - погана технологічна відтворюваність;
- порушення поверхні підкладки і структури перехідної області шар-підкладка і погіршення статистичних параметрів приладів;
- поява надлишкових струмів витоку.

Поставлена задача підвищення радіаційної стійкості в напівпровідникових структурах, що забезпечує технологічність, поліпшення параметрів, підвищення надійності та збільшення відсотка виходу придатних.

Технічним рішенням задачі є формування в процесі виробництва напівпровідникових приладів на фронтальній поверхні кремнієвої підкладки області дислокаційних сіток щільністю $(10^9 \dots 10^{12}) \text{ м}^{-2}$ перед нанесенням епітаксійного шару шляхом попереднього окислення поверхні підкладки і подальшого втравлювання шару оксиду.

В основу корисної моделі покладено механізм виникнення дислокаційних сіток в приповерхневій області кремнієвої підкладки, на якій вирощується епітаксійний шар, при її термічному оксидуванні [3]. На границі структури Si-SiO₂ формуються деформації, що виникли внаслідок відмінності значень постійних кристалічних ґраток і термічних коефіцієнтів розширення контактуючих матеріалів. Для міжфазної межі Si-SiO₂ характерним є існування перехідної області, що містить розупорядкований полікристалічний кремній. Ширина цієї області визначається рівнем локалізованої пластичної деформації, яка залежить, з одного боку, від пружних параметрів кремнію, з іншого - від параметрів контактуючих матеріалів, товщини діоксиду кремнію і наявності дефектів у вихідному кремнії.

У міру переміщення від границі розділу Si-SiO₂ вглиб кремнію можна відзначити, що розміри зерен полікристалу збільшуються, потім проявляються шари кристалічного кремнію, що містять сітки дислокацій, період яких залежить від глибини залягання. Період дислокаційних сіток залежить від рівня механічних напружень і деформацій у даній області підкладки, величина яких, у свою чергу, визначається параметрами високотемпературної дифузії кисню при оксидуванні кремнію, від електрофізичних і пружних параметрів оксиду кремнію і кремнію, величини відносної деформації. Поверхня з дислокаційними сітками є основним стоком дифундуючи до границі розділу "епітаксійний шар-підкладка" радіаційних дефектів або продуктів їх розпаду. Відмітною ознакою способу є формування на фронтальній поверхні кремнієвої підкладки області дислокаційних сіток.

Технологія способу полягає в наступному: на фронтальній поверхні кремнієвої підкладки перед нанесенням епітаксійного шару шляхом попереднього окислення поверхні підкладки і подальшого втравлювання шару оксиду створюється область дислокаційних сіток щільністю $(10^9 \dots 10^{12}) \text{ м}^{-2}$. Далі на епітаксійних шарах створюють напівпровідникові прилади за стандартною технологією.

Підкладками служили пластини монокристалічного кремнію КЕФ - 4.5 (111) і КДБ -10 (100) діаметром 40 мм, вирощені методом Чохральського.

Структури SiO₂-Si виготовляли методом термічного вирощування діоксиду кремнію в атмосфері вологого і сухого кисню. Температурний діапазон оксидування складав (700...1150)°С. Товщину плівок SiO₂ оксидів визначали за часом вирощування і еліпсометричним методом. Вона становила (0.1...1.5) мкм. Далі шар діоксиду кремнію видаляли травленням в плавиковій кислоті (HF). Для виявлення структурних дефектів проводилося обробленням пластин кремнію хімічними виборчими дефект-контрастними травниками. Для травлення пластин кремнію з орієнтацією (111) використовувався протравлювач Сіртля складу HF: CrO₃=1:1, а для травлення пластин і структур з орієнтацією (100) використовувався

протравлювач Секко складу HF: $K_2Cr_2O_7=2:1$. Використовували також дефект-контрастний травник Райта.

Для підвищення здатності виборчих хімічних протравлювачів в плані виявлення структурних дефектів, пластини оброблялися в складі Каро і в перекисно-аміачному розчині. Така попередня обробка дозволяла за рахунок процесів додаткового окислення підвищити виявні властивості виборчих протравлювачів.

Вивчення поверхні кремнієвої підкладки після хімічної обробки проводилося різними методами. Для оптичних методів дослідження використовували металографічний мікроскоп MMP-2P. Для електронної скануючої мікроскопії (РЕМП) застосовували мікроскоп-аналізатор Cam-Scan-4D з системою енергетичного дисперсійного аналізатора "Link-860" і програмою "Zaf". Для Оже - спектроскопії використовували спектрометр LAS-3000.

Встановлено, що основними видами дефектів у вихідній кремнієвій пластині-підкладці є дислокації, дефекти шаруватої неоднорідності, кластерні скупчення кисню або надлишкового кремнію, дендрити металів і двійникові ламелі.

Приповерхнева область кремнію в структурах SiO_2 -Si складається з області, що містить сильно розупорядкований шар, близький до дрібноблочного полікристалічний кремній і що знаходиться безпосередньо під діоксидом кремнію. При подальшому травленні хімічним виборчим травником і пошаровому аналізі були виявлені дислокаційні сітки, які склалися з 60° -х дислокацій і були декоровані киснем. Щільність дислокацій у сітках досягала 10^{12} м^{-2} .

В областях з малим періодом дислокаційної сітки щільність дислокацій в сітці і величина деформацій більше, ніж в областях з великим періодом сітки. Дислокаційна сітка з малим періодом утворюється в місцях локалізації максимумів щільності вихідних дислокацій. Це пов'язано з процесами прискореної дифузії кисню вздовж вихідних дефектів, що призводять до появи додаткових механічних напруг і деформацій, які є причиною виникнення дислокаційних сіток з перемінним періодом.

Товщини розупорядкованих шарів, що знаходяться безпосередньо під діоксидом кремнію, пропорційні товщини вирощених шарів SiO_2 , що можна пояснити зростанням механічних напружень на межі розділу при збільшенні товщини діоксидів кремнію.

В областях з малим періодом дислокаційної сітки щільність дислокацій в сітці, величини деформацій і механічних напруг були більше, ніж в областях з великим періодом сітки. Потреба у великій щільності дислокацій в сітці вимагає великої їх щільності у вихідній підкладці.

Для товщини оксидів ~ 1 мкм глибина залягання дислокаційних сіток становила приблизно 30 мкм. Товщина шару кремнію з дислокаційними сітками становила близько 10 мкм. Середній період дислокаційної сітки становив $\sim 10^{-6}$ м, щільність дислокацій досягає $\sim 10^{12} \text{ м}^{-2}$.

Епітаксійні шари (ЕС) кремнію на підкладках отримували методом рідиннофазної та газотранспортної епітаксії ($p \approx 10 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, $d=1.05\cdot 10^{-3} \text{ м}$). Опромінення зразків електронами проводилося в оптимальному режимі роботи прискорювача "Електроніка" (прискорювач типу ЕЛУ-4), що забезпечує енергію частинок 2.3 і 3.0 МеВ дозами від 10^{15} до 10^{20} м^{-2} . Шари кремнію, що були отримані епітаксією з газової фази, опромінювалися електронами дозами від $5.0\cdot 10^{11}$ до $5.0\cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$.

В результаті радіаційного опромінення виникають нуль-мірні (точкові) дефекти. Вони можуть вноситися також у результаті іонної імплантації. Комплекси складаються з декількох точкових дефектів (дефект по Френкелю - вакансія + власний міжвузловий атом), бівакансія (вакансія + вакансія), А-центр (вакансія + атом кисню в кремнії). За певних умов РД можуть створювати комплекси з атомами домішки в шарі, забезпечуючи появу донорних рівнів у забороненій зоні. У разі провідності шару р- типу ці рівні компенсують акцепторні центри, введені в епітаксійний шар, тим самим знижуючи концентрацію основних носіїв заряду в шарі і підвищуючи його опір.

Для оцінки способу підвищення радіаційної стійкості епітаксійних шарів кремнію, що пропонується, паралельно вивчалися структури, виготовлені за стандартною технологією, тобто без попереднього оксидування кремнієвої підкладки. Вивчали структури на основі епітаксійних шарів (ЕС) кремнію, що утворюють з монокристалічної підкладкою р-п-перехід. Використовували серійні епітаксійні шари кремнію: - епітаксійний шар кремнію - 25 - КЕФ - 0.1 (кремній електронний, легований фосфором, товщина шару $h=25$ мкм, питомий опір $\rho = 0.1 \text{ Ом}\cdot\text{см}$); підкладка - 400-КДБ - 10 (кремній дірковий, легований бором, товщина пластини $h=400$ мкм, питомий опір $\rho = 10 \text{ Ом}\cdot\text{см}$).

Для вимірювання електрофізичних параметрів ЕС використовували відомі методи. Питомий опір по глибині шарів вимірювали 4-х зондовим методом при видаленні шарів ЕС хімічним методом. Концентрація і рухливість носіїв заряду (холівська) вимірювалися за методом Ван-дер-Пау.

У всіх епітаксійних шарах після опромінення спостерігається зменшення концентрації носіїв заряду, істотно залежне від початкового значення. Встановлено, що якщо в підкладці створені сітки дислокацій, то зниження концентрації носіїв заряду (тобто зростання питомого опору) в ЕС в результаті опромінення гальмується. Радіаційні дефекти, взаємодіючи з атомами домішки, утворюють комплекси, компенсуючи матеріал епітаксійного шару. Ефект компенсації близьк

5 до границі "ЕС шар-підкладка" проявляється слабо, тому що граничні шари з дислокаційними сітками служать стоками для радіаційних дефектів. Створення дислокаційних сіток в перехідній області "шар-підкладка" дозволяє управляти формою і положенням профілю розподілу носіїв заряду в епітаксійних шарах кремнію.

10 В областях з малим періодом дислокаційної сітки щільність дислокацій в сітці, величини деформацій і механічних напруг були більше, ніж в областях з великим періодом сітки. Встановлено оптимальну щільність дислокаційних сіток. Щоби стоки радіаційних дефектів в дислокаційній сітці працювали ефективно необхідна велика щільність дислокацій у вихідній підкладці. Але робити її дуже великою ($N \geq 10^{12} \text{ м}^{-2}$) не можна, тому що за таких умов в самому епітаксійному шарі виникає велика щільність власних дефектів у результаті успадкування

15 дефектів від підкладки. Це приводить до високого ступеня відбракування при виготовленні напівпровідникових приладів. Мала ($N \leq 10^9 \text{ м}^{-2}$) щільність дислокаційних сіток (через малу щільність дислокацій у вихідній підкладці) призводить до зниження ефективності стоків для РД. Встановлено, що оптимальна щільність дислокаційних сіток повинна становити ($10^9 \dots 10^{12}$) м^{-2} .

20 За пропонуванним способом були оброблені виготовлені за стандартною технологією і пропонуваною технологією напівпровідникові структури. Результати обробки представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Параметри н/п структур, що виготовлені за стандартною технологією			Параметри н/п структур, що виготовлені за стандартною технологією, що пропонується		
Струм витоку, 10^{13} , А	I_B Щільність дефектів, см^{-2}	Рухливість, $\text{см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$	Струм витоку, 10^{13} , А	I_B Щільність дефектів, см^{-2}	Рухливість, $\text{см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$
12.8	$9.5 \cdot 10^6$	450	1.8	$4.8 \cdot 10^5$	645
4.5	$0.8 \cdot 10^6$	334	0.5	$2.4 \cdot 10^5$	824
7.5	$4.4 \cdot 10^6$	531	1.2	$4.5 \cdot 10^5$	701
6.9	$3.3 \cdot 10^6$	392	0.54	$3.5 \cdot 10^5$	803
4.9	$0.9 \cdot 10^6$	624	0.9	$3.8 \cdot 10^5$	727

25 З таблиці видно, що при використанні запропонованого способу знижуються струми витоку, обумовлені наявністю радіаційних дефектів і дефектно-домішкових комплексів в епітаксійній плівці кремнію, підданій радіаційному опроміненню, і зниженням генераційно-рекомбінаційних процесів за рахунок дифузії останніх РД на стоки - дислокаційні сітки в приповерхневої області підкладки. Зменшується статистичний розкид щільності дефектів та збільшується рухливість носіїв заряду.

30 Експериментальні дослідження показали, що вихід придатних напівпровідникових структур з партії пластин, сформованих в оптимальному режимі, збільшується на 14 %. При цьому знижуються струми витоку, обумовлені наявністю радіаційних дефектів і дефектно-домішкових комплексів в епітаксійній плівці кремнію, підданій радіаційному опроміненню і зниженням генераційно-рекомбінаційних процесів в епітаксійному шарі кремнію за рахунок дифузії останніх на стоки - дислокаційні сітки в приповерхневій області підкладки.

35 В об'ємі епітаксійних шарів радіаційні дефекти взаємодіють з дислокаціями наступним чином:

- знижується бар'єр "переповзання" дислокацій на поверхню і бічну грань;
- має місце "захлопування" дислокацій;
- опромінення створює комплекси, що призводять до зміни частки дислокацій в загальному числі дефектів.

40 З аналізу отриманих даних випливає, що спосіб дозволяє, використовуючи розроблену технологію, яка включає створення області дислокаційних сіток щільністю ($10^9 \dots 10^{12}$) м^{-2} на фронтальній поверхні кремнієвої підкладки перед нанесенням епітаксійного шару шляхом попереднього окислення поверхні підкладки і подальшого втравлювання шару оксиду:

- знизити надлишкові струми витоку;
- підвищити рухливість носіїв заряду;

- підвищити відсоток виходу придатних приладів і поліпшити їх надійність;
- пропонується спосіб формування епітаксійних кремнієвих шарів дозволяє забезпечити технологічність і можливість вбудови в стандартний технологічний процес виготовлення напівпровідникових приладів;

5 Стабільність параметрів у всьому експлуатаційному інтервалі температур була нормальною і відповідає вимогам.

Джерела інформації:

- 10 1. Г.В. Гадяк. ФТП. - 1997. - Т. 31, №. - С. 385-389.
2. С.Н. Дранчук, В.А. Завадській, В.А. Мокріцкій // Теорія і практика рідиннофазної епітаксії та радіаційної технології напівпровідників. 2013. - Одеса: Астропринт. - С. 224.
3. О.А. Кулініч. Известия ВУЗів. Фізика. - 2000. - № 3. - С. 7-3.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

15

Спосіб формування епітаксійних шарів кремнію, що включає створення на поверхні напівпровідникової підкладки дислокації стоків радіаційних дефектів, який **відрізняється** тим, що на фронтальній поверхні кремнієвої підкладки перед нанесенням епітаксійного шару шляхом попереднього окислення поверхні підкладки і подальшого стравлювання шару оксиду створюється область дислокаційних сіток щільністю $(10^9 \dots 10^{12}) \text{ м}^{-2}$.

20

Комп'ютерна верстка І. Скворцова

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601