

ПОЛІПШЕННЯ ЗВОРОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДІОДА ШОТТКІ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМПЛЕКСНОЇ ОБРОБКИ ПОВЕРХНІ

К. т. н. В. М. Литвиненко¹, PhD Д. В. Пекур², к. т. н. С. В. Шутов²

¹Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон;

²Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України, м. Київ
Україна
hersonlvn@gmail.com

Наведено результати експериментальних досліджень впливу методів хімічної обробки та подальшого гетерувального відпалу епітаксіальних структур перед осадженням металів, що формують бар'єр Шотткі, на зворотну гілку ВАХ діода Шотткі. Показана ефективність запропонованої технології обробки поверхні структур щодо зниження рівня зворотного струму діода. Проведено аналіз механізмів впливу операцій хімічної обробки та гетерувального відпалу структур на зворотні характеристики діода.

Ключові слова: хімічна обробка, відпал, зворотний струм, діод Шотткі, метали, поверхня структури.

Діоди Шотткі (ДШ) широко використовуються в багатьох областях електроніки як випрямні діоди невеликої та середньої потужності, а також імпульсні діоди [1]. При цьому слід зазначити, що вартість ДШ залишається порівняно високою через низький вихід придатних діодів. Це пояснюється високим рівнем зворотних струмів ДШ і низькими, у порівнянні з p - n -переходами, пробивними напругами. Такі явища пов'язані з суттєвою залежністю зворотних струмів ДШ від якості поверхні діодних структур і впливом на них структурних дефектів і сторонніх домішок [2, 3]. Однією з проблем є технологічний процес формування бар'єра Шотткі, який визначає основні параметри діода, зокрема рівень зворотних струмів. Мета цієї роботи — дослідити вплив на зворотну гілку ВАХ діода Шотткі технологічних методів хімічної обробки та подальшого гетерувального відпалу кремнієвих епітаксіальних структур перед осадженням металів, які формують бар'єр Шотткі.

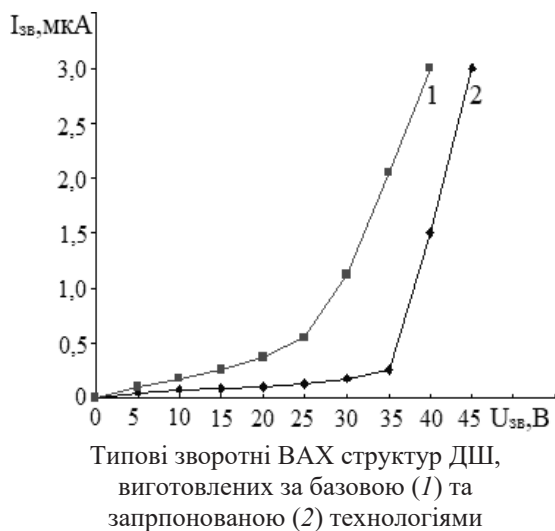
Досліджувані діодні структури виготовлялися за стандартною ізопланарною технологією [4] на легованих фосфором кремнієвих епітаксіальних структурах n -типу провідності з питомим опором $1 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ товщиною 5 мкм , вирощених на орієнтованій в кристалографічному напрямку (111) кремнієвій підкладці.

Базовий технологічний маршрут виготовлення діодних структур складався з таких основних технологічних операцій: 1) нанесення на поверхню структури нітриду кремнію товщиною $0,1 \text{ мкм}$ та двоокису кремнію товщиною $0,4 \text{ мкм}$; 2) фотолітографія; 3) травлення мезаструктур до глибини $0,5 \text{ мкм}$; 4) окислення мезаструктур за температури $T = 1050^\circ\text{C}$ протягом $2,5 \text{ год}$; 5) видалення нітриду кремнію з контактних ділянок; 6) хімічна обробка ($\text{HF}:\text{H}_2\text{O} = 1:20$, $\text{HCl}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O} = 5:1:1$); 7) нанесення шарів металів, які формують бар'єр Шотткі — Mo , Ni та Al — методом вакуумного розпилення в установці УВН-71П-3; 8) фотолітографія по осадженим шарам металів, шліфування зворотної сторони пластини; 9) нанесення на зворотну сторону пластини шарів Ti та Ni для створення омичного контакту.

Попри застосування двох методів гетерування, які були запропоновані в роботі [3], результати контролю діодних структур за зворотним струмом після формування випрямного контакту були нестабільними. Дослідження показали, що на рівень зворотного струму ДШ найбільше впливає якість обробки поверхні пластин перед осадженням металів, що формують бар'єр Шотткі. Було апробовано декілька методів хімічної обробки перед осадженням металів, а також проведено підбір режимів гетерувального відпалу. Використання стандартної хімічної обробки не давало можливості отримати стабільні параметри (зворотний струм) діодів. Найкращі результати дала така підготовка поверхні епітаксіальних структур: 1) обробка структур в травнику $\text{HF}:\text{NH}_4\text{F} = 1:8$ протягом $20\text{—}25 \text{ с}$; 2) обробка структур в перекисно-аміачному розчині $\text{H}_2\text{O}_2:\text{NH}_4\text{OH}:\text{H}_2\text{O} = 1:1:4$ протягом 60 с (концентрація HF , H_2O_2 і NH_4OH — 45 , 30 і 25% відповідно); 3) промивка структур в деіонізованій

воді та сушіння на центрифугі; 4) відпал структур при $T = 860^\circ\text{C}$ протягом 35 хв в середовищі гелію.

На рисунку наведено зворотні ВАХ діодних структур, виготовлених за базовою та запропонованою технологіями. З порівняння кривих видно, що структура ДШ, виготовлена за базовою технологією (крива 1), має набагато більший рівень зворотних струмів порівняно з діодною структурою, виготовленою за запропонованою технологією (крива 2). Вочевидь, це можна пояснити таким чином.



Обробка поверхні епітаксialної структури перед осадженням металу, що формує бар'єр Шоттки, в перекисно-аміачному розчині призводить до зняття тонкого приповерхневого шару кремнію в робочих вікнах, де зосереджені небажані домішки металів, а обробка структур в хімічному реактиві на основі HF і NH_4F знімає тонкий шар з поверхні захисного шару двоокису кремнію SiO_2 , де зосереджені забруднювальні домішки. В процесі подальшого гетерувального відпалу структур в середовищі гелію відбувається випаровування небажаних домішок з поверхні кремнію та захисного шару SiO_2 , які ще залишились в приповерхневих шарах структур, та упорядкування структури приповерхневого шару кремнію та межі розділу Si-SiO_2 , що еквівалентно зменшенню щільності поверхневих станів як на межі розділу «метал —

напівпровідник», так і на межі Si-SiO_2 , що і забезпечує значне зменшення рівня зворотних струмів діодів з БШ. Це твердження підтверджується одержаними результатами вимірювання фактора ідеальності n : $n = 1,02—1,04$, на діодних структурах, виготовлених за запропонованою технологією, та $n = 1,05—1,10$ на структурах, виготовлених за базовою технологією.

Спираючись на проведені експериментальні дослідження, можна зробити припущення, що причиною відносно високого рівня зворотних струмів діода з бар'єром Шоттки являється висока щільність поверхневих станів як на межі розділу «метал — напівпровідник», так і на межі розділу Si-SiO_2 , що пов'язано з наявністю неконтрольованих домішок в приповерхневих областях діодних структур. Використання запропонованої комплексної обробки поверхні епітаксialних структур перед формуванням металів, що формують бар'єр Шоттки, дає можливість суттєво зменшити щільність поверхневих станів в приповерхневих областях структур і, як наслідок, зменшити рівень зворотних струмів діода з бар'єром Шоттки, що забезпечує підвищення виходу придатних приставів.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Дроздов А. В., Данилов Д. С., Юнусов И. В., Гошин Г. Г. Моделирование диодов с барьером Шоттки для применения в монолитных интегральных схемах СВЧ. Доклады ТУСУР, 2018, т. 21, № 1, с. 28—31.
2. Рейви К. Дефекты и примеси в полупроводниковом кремнии. Москва, Мир, 1984.
3. Litvinenko V. N., Vikulin I. M., Gorbachev V. E. Improvement of the reverse characteristics of schottky diodes using gettering. Tekhnologiya i konstruirovaniye v elektronnoy apparature, 2019, iss. 1–2, p. 34 – 39.
4. Литвиненко В. М. Фізика та технологія напівпровідникових діодів. Херсон, ФОП Вишемирський В. С., 2018, 184 с.

V. M. Litvinenko, D. V. Pekur, S. V. Shutov

Improvement of the reverse characteristics of the Schottky diode using complex surface processing

The paper offers the experimental results on the influence of chemical treatment methods and the subsequent heterization annealing of epitaxial structures before the deposition of metals forming the Schottky barrier on the return branch of the Schottky diode I-V. The effectiveness of the proposed structure processing technology in reducing the level of diode reverse currents is shown. The authors analyze the mechanisms of the influence of chemical processing operations and heterogenous annealing on the reverse characteristics of the diode.

Keywords: chemical treatment, annealing, reverse current, Schottky diode, metals, surface.