

УДК 621.328

## ПОЛІПШЕННЯ ЗВОРОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДІОДА ШОТТКІ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ГЕТЕРУВАННЯ

Литвиненко В.М. к.т.н., доцент

*Херсонський державний аграрно-економічний університет*

*Розглянуто причини і механізми впливу дефектів і домішок на зворотні струми діода Шотткі. Наведено експериментальні результати впливу операцій гетерування дефектів і домішок на рівень зворотних струмів діодів. Проаналізовано механізми впливу операцій гетерування на зворотні струми діодів.*

**Вступ.** Однією з проблем діодів Шоттки (ДШ) є високий рівень зворотних струмів і низькі, в порівнянні з р-п-переходами, пробивні напруги. Ці явища пов'язані з істотною залежністю зворотних струмів ДШ від якості поверхні діодних структур і впливом на них структурних дефектів і сторонніх домішок [1]. В першу чергу слід відзначити окислювальні дефекти упакування (ОДУ), що утворюються в активних областях діодів при проведенні високотемпературних технологічних операцій [2]. Зазвичай ОДУ розташовуються в приповерхневій області кристала. Декорування ОДУ домішками важких металів в процесі термічного окислення призводить до того, що в поверхневому шарі кремнію утворюється висока щільність поверхневих станів. Після осадження на таку поверхню молибдену, який формує бар'єр Шоттки, бар'єр на межі поділу метал-напівпровідник стає досить тонким для тунельного проходження електронів з металу в напівпровідник при зворотному зміщенні на переході [3]. Тунелювання є однією з причин спостережуваних так званих «м'яких» зворотних характеристик.

Також слід зазначити вплив на ВАХ діодів Шоттки генерації носіїв струму в області просторового заряду. Генераційний компонент зворотного струму виражається формулою [1]:

$$I_g = qn_i(d/2\tau_T),$$

де  $d$  - ширина області просторового заряду в напівпровіднику,  $\tau_T$  - час життя носіїв струму в збідненій області;  $q$  - заряд електрона;  $n_i$  - концентрація власних носіїв у напівпровіднику.

Особливо інтенсивно йде генерація носіїв струму в області просторового заряду при наявності високої щільності структурних дефектів (наприклад, ОДУ) в напівпровіднику, так як суттєво зменшується  $\tau_T$ .

**Постановка задачі.** З'ясування причин низького виходу діодів Шоттки на контролі рівня їх зворотних струмів і **визначення** можливості застосування операцій гетерування для його зниження і підвищення виходу придатних приладів.

**Основна частина.** Структури досліджуваних діодів виготовлялися за ізопланарною технологією [4] на кремнієвих епітаксіальних структурах п-типу провідності з питомим опором 1 Ом·см і товщиною 3 мкм, вирощених на

кремнієвій підкладці, орієнтованої за площиною (111).

Для з'ясування причин високих рівнів зворотних струмів були проведені дослідження на непридатних по зворотному струму діодних структурах, які показали наявність в активних областях ОДУ щільністю  $10^4$ - $10^5$  см<sup>-2</sup>. Дослідження показали, що найбільш ефективним для придушення ОДУ є метод створення гетеруючої області на зворотному боці пластини за допомогою імплантації іонів фосфору в зворотну сторону пластини і наступного відпалу пластин в суміші азоту і кисню перед осадженням шарів нітриду кремнію [5]. Область гетера на зворотній стороні пластини була сформована за допомогою імплантації іонів фосфору в зворотну сторону пластини з енергією 100 кеВ, дозою  $7 \cdot 10^{15}$  см<sup>-2</sup> на установці «Везувій-5» і наступного відпалу пластин в суміші азоту (120 л / год) і кисню (4 л / год) за температури  $T = 1050^\circ\text{C}$  протягом 2,5 год.

Для поліпшення стану поверхні структур діодів і зменшення рівня їх зворотних струмів, які пов'язані з поверхневими витоками, був випробуваний також метод гетерування за допомогою проведення після формування захисного шару SiO<sub>2</sub> дифузії бору в робочу сторону структур, яка проводилася методом відкритої труби з джерела В<sub>2</sub>О<sub>3</sub> за температури 1000°C впродовж 30 хв в суміші аргону (110 л/год) і сухого кисню (5 л/год) [6].

Для випробування запропонованої технології виготовлення структур діода Шотткі були сформовані дослідні партії, кожна з яких ділилася на дві частини: одна частина партії була виготовлена за базовою технологією, інша частина - за розробленою технологією з застосуванням 2 стадій гетерування: 1) гетерування областю гетера, створеної на зворотній стороні пластини перед осадженням нітриду кремнію (перша стадія гетерування); 2) гетерування проведенням дифузії бору в робочу сторону пласти після окислення меза-структур (друга стадія гетерування).

Ефективність використання запропонованої технології оцінювалася за відсотком виходу придатних діодних структур на контролі зворотного струму ( $I_{зв}$ ). Критерій придатності:  $I_{зв} \leq 1$  мкА при зворотній напрузі 30 В.

У таблиці 1 наведені порівняльні результати контролю по рівню зворотного струму діодів, виготовлених за базовою технологією і розробленою технологією з застосуванням 2 стадій гетерування. З таблиці 1 видно, що використання гетерування дозволяє підвищити вихід придатних діодних структур по зворотному струму в середньому на 8,1%. При цьому діодні структури, виготовлені за розробленою технологією, мали рівень зворотних струмів в 4 ... 7 рази нижче в порівнянні з діодними структурами, виготовленими за базовою технологією.

Таблиця 1- Порівняльні характеристики базової і розробленої технологій

Технологія виготовлення діодних структур	Вихід придатних діодних структур на контролі рівня їх зворотних струмів, %
Без використання гетерування	86,2
З застосуванням 2 стадій гетерування	94,3

Проведені перед формуванням випрямляючого контакту металографічні дослідження на структурах діодів, виготовлених із застосуванням гетерування, показали відсутність в структурах окислювальних дефектів упакування.

На рис. 1 наведені зворотні гілки ВАХ діодних структур, виготовлених за базовою технологією, а також в разі застосування 2 стадій гетерування структурно-домішкових дефектів. Видно, що застосування гетерування дає можливість істотно знизити рівень зворотних струмів діодів.

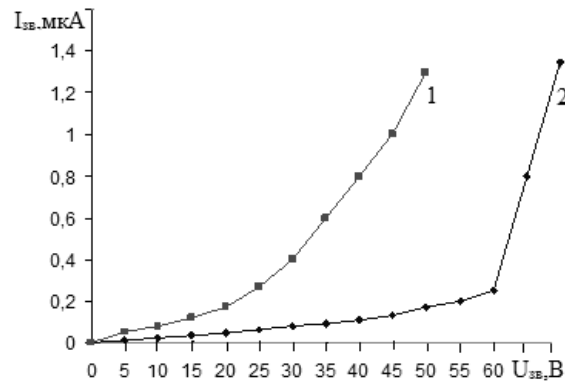


Рис. 1. Вольт-амперні характеристики діодних структур: 1 - виготовленої за базовою технологією; 2 - виготовленої з використанням 2 стадій гетерування

Висновки. Таким чином, причиною низького відсотка виходу структур діода Шоттки на операції контролю рівня їх зворотного струму є окислювальні дефекти упакування, що утворюються в активних областях діодів в процесі проведення термічного окислення, і домішкові забруднення на поверхні діодних структур. Розроблена технологія виготовлення структур діода Шоттки із застосуванням 2 стадій гетерування структурно-домішкових дефектів дозволяє запобігти утворенню окислювальних дефектів упакування в активних областях діодів і поліпшити стан поверхні діодних структур, що забезпечує зниження рівня зворотних струмів діодів і, як наслідок, підвищення відсотка виходу придатних приладів.

### Список використаних джерел

1. Родерик Э.Х. Контакт металл-полупроводник. Радио и связь, 1982. 208с.
2. Ravi K.V. Imperfections and Impurities in Semiconductor Silicon. John Wiley & Sons, New York, 1981. 379 p.
3. Tu K.N., Analysis of marker motion in thin – film silicide formation // J. Appl. Phys, 1977. V.48. №8. P. 3379-3382.
4. Павлов С. М. Основи мікроелектроніки. Навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2010. 224с.
5. Литвиненко В.Н., Богач Н.В. Дефекты и примеси в кремнии и методы их геттерирования // Вісник ХНТУ, 2017. №1(60). С.32-42.
6. Литвиненко В.М., Вікулін І.М. Вплив властивостей поверхні на зворотні характеристики напівпровідникових приладів // Вісник ХНТУ, 2018. №1(64). С.46-56.