

## Улучшение обратных характеристик кремниевых диодов при использовании геттерирования дефектов

Литвиненко В.Н., Дощенко Г.Г., Самойлов Н.А.

Доцент кафедры информационно-вычислительных технологий электроники и инженерии, к.т.н. Литвиненко Виктор Николаевич  
Херсонский национальный технический университет  
Бериславское шоссе, 24, тел. 32-69-44, [viktor\\_719160@mail.ru](mailto:viktor_719160@mail.ru)

Доцент кафедры эксплуатации судового электрооборудования и средств автоматики, к.т.н. Дощенко Галина Геннадиевна  
Херсонская государственная морская академия, пр. Ушакова, 20,  
тел. 26-22-59, [herson@yandex.ru](mailto:herson@yandex.ru)

Ведущий инженер лаборатории №23 Самойлов Николай Александрович  
Институт физики полупроводников НАН Украины (Херсонский филиал),  
ул. Заводская, 76, тел. 51-54-57, [nas\\_50@mail.ru](mailto:nas_50@mail.ru)

### 1. Введение.

Кремний с его уникальной комбинацией электрических и технологических свойств продолжает занимать в производстве полупроводниковых приборов и интегральных микросхем доминирующее положение. Эксплуатационные характеристики ряда кремниевых приборов и микросхем зависят от плотности структурных дефектов в исходном кремнии. В не меньшей степени на качество приборов влияют неконтролируемые примеси (кислород, углерод, металлы), которые находятся в кремниевой пластине, или примеси, введенные в процессе изготовления приборов [1].

Известно [2], что структурные дефекты в кремнии приводят к повышению уровня обратных токов и снижению пробивных напряжений изготавливаемых на его основе полупроводниковых приборов. Влияние дефектов и примесей, в первую очередь, сказывается на обратной ветви вольт - амперной характеристике (ВАХ) диода, так как обратные токи сравнительно малы.

Уровень обратных токов кремниевых диодов определяется многими факторами, а именно, совершенством эпитаксиальной структуры, технологическими режимами формирования р - n перехода, электрическими характеристиками защитных покрытий, материалами и режимами получения омических контактов, состоянием поверхности р - n перехода. Многофакторная зависимость обратного тока диодов делает задание установления механизма прохождения тока в них очень сложной, но необходимой, так как знание последнего позволяет с помощью соответствующей корректировки технологического процесса существенно

повысить выход годных приборов. Одним из основных видов структурных дефектов, образующихся в кремнии при проведении высокотемпературных термических операций [3, 4], являются окислительные дефекты упаковки (ОДУ), представляющие собой прослойки, в которых нарушено нормальное чередование плотноупакованных слоев [5].

Для уменьшения влияния ОДУ на параметры р-п структур используют различные методы геттерирования [6]. Несмотря на многообразие методов геттерирования структурно-примесных дефектов, которые приводятся в литературе, многие из них нетехнологичны и не вписываются в технологический цикл изготовления диода, что затрудняет их внедрение в производство.

**2. Цель и задачи исследования.** Данная работа посвящена исследованию причин низкого процента выхода годных диодов и разработке эффективного технологического метода геттерирования структурных дефектов в кремнии с целью уменьшения плотности дефектов и повышения выхода годных диодов.

### **3. Материалы и методы исследования.**

Структуры исследуемого диода были изготовлены по стандартной эпитаксиально-планарной технологии [7]. Для их изготовления использовали эпитаксиальные пленки, легированные фосфором, с удельным сопротивлением  $2 \text{ Ом} \cdot \text{см}$  и толщиной  $11 \text{ мкм}$ . Технологический процесс изготовления диода включал следующие высокотемпературные операции: термическое окисление в парах воды при температуре  $1050^\circ\text{C}$ , загонка бора при температуре  $1100^\circ\text{C}$  в течение 20 минут и разгонка бора при температуре  $1150^\circ\text{C}$  в течение 80 минут в атмосфере кислорода.

Для выяснения причины низкого выхода структур диодов по уровню обратных токов были проведены металлографические исследования. С этой целью после проведения разгонки бора пластины были подвергнуты селективному травлению в реактиве Сиртла в течение 20 - 70 сек. В активных областях диодных структур были выявлены окислительные дефекты упаковки (рис. 1), плотностью  $10^3\text{-}10^5 \text{ см}^{-2}$ .

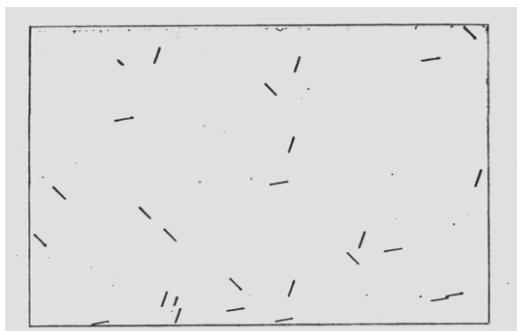


Рис. 1. Микрофотография поверхности структуры кремниевого диода после селективного травления

С целью предотвращения образования ОДУ в исследуемых диодных структурах в процессе проведения разгонки бора, являющейся самой высокотемпературной технологической операцией, было опробовано геттерирование с помощью проведения перед разгонкой бора дополнительной загонки бора в нерабочую сторону пластин при температуре  $1000^{\circ}\text{C}$  из источника  $\text{B}_2\text{O}_3$  в течение 60 минут в вакууме. Для защиты рабочей стороны пластины на нее наносился слой пиролитического  $\text{SiO}_2$ , толщиной 0,25 мкм. После окончания процесса геттерирования было проведено одновременное стравливание защитного слоя  $\text{SiO}_2$  с рабочей стороны пластин и боросиликатного стекла с нерабочей стороны пластин в растворе плавиковой кислоты ( $\text{HF}:\text{H}_2\text{O}=1:10$ ). Проведенные металлографические исследования показали отсутствие ОДУ в кремниевых диодных структурах. Омические контакты на диодных структурах получали путем химического осаждения никеля с последующей термообработкой в инертной среде при температуре  $600^{\circ}\text{C}$  в течение 10 минут. На сформированных диодных структурах была проведена 100% - я разбраковка диодов по уровню обратных токов. Критерий годности:  $I_{\text{обр}} \leq 1 \text{ мкА}$  при обратном напряжении 40 В.

#### 4. Экспериментальные данные и их обработка.

На рис. 2 представлены обратные ветви вольт-амперных характеристик диодных структур: изготовленной по базовой технологии (без использования геттерирования, кривая 2) и по предложенной технологии (с использованием геттерирования, кривая 1).

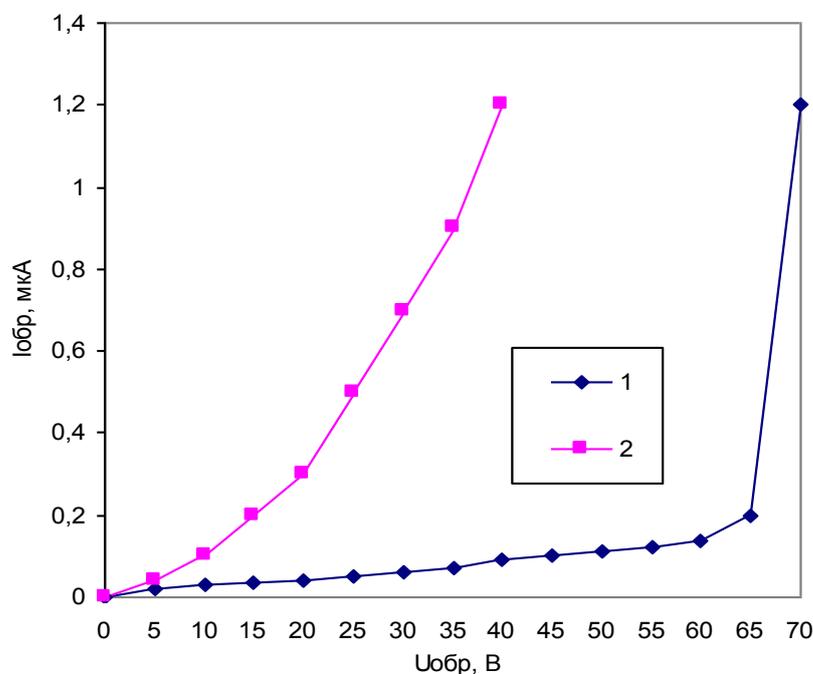


Рис. 2. Вольт - амперные характеристики диодных структур:  
 1 – диодная структура, изготовленная по предложенной технологии;  
 2 – диодная структура, изготовленная по базовой технологии

Как видно из рис. 2, применение геттерирования дает возможность значительно уменьшить уровень обратных токов диодов. В то же время кривая обратной ВАХ диодной структуры, изготовленной без использования геттерирования, имеет форму «мягкой» ВАХ, что указывает на наличие в активных областях диодов декорированных примесями ОДУ [2].

В таблице приведены сравнительные результаты 100% - й разбраковки по обратному току диодов, изготовленных по базовой (партии №1, 2) и разработанной (партии №3, 4) технологиям.

Таблица

Сравнительные характеристики базовой и разработанной технологий

Технология изготовления диодных структур	Номер партии пластин	Выход годных варикапов по обратному току, %
Без использования геттерирования	1	72
	2	76
С геттерированием путем проведения дополнительной загонки бора в вакууме	3	91
	4	88

Как видно из таблицы, использование геттерирования дает возможность существенно повысить выход годных диодных структур.

Механизм влияния геттерирования посредством проведения дополнительной диффузии бора в нерабочую сторону пластин перед разгонкой бора можно представить следующим образом. В процессе проведения дополнительной загонки бора на тыльной (обратной) стороне пластин формируется сильнолегированный бором  $p^+$ -геттерирующий слой. При этом составляющие образовавшихся на предыдущих высокотемпературных операциях ОДУ междоузельные атомы кремния диффундируют к созданной области геттера и захватываются ею. В результате этого ранее образовавшиеся ОДУ уменьшаются в размерах или полностью исчезают. С другой стороны, сильнолегированный бором  $p^+$ -геттерирующий слой захватывает атомы посторонних примесей, являющихся зародышами ОДУ, что предотвращает образование ОДУ в процессе разгонки бора.

**5. Выводы.** Таким образом, причиной низкого выхода годных диодов являются ОДУ, образующиеся в кремнии в процессе высокотемпературных технологических операций. Использование геттерирования, путем проведения диффузии бора в вакууме в нерабочую сторону пластин перед разгонкой бора, позволяет предотвратить образование ОДУ в процессе разгонки бора, а также ликвидировать ОДУ, образовавшихся на предыдущих высокотемпературных операциях, что обеспечивает снижение уровня обратных токов диодов и увеличение выхода годных приборов.

### Литература

1. Смульский А.С. Бездислокационный кремний и создание современных полупроводниковых приборов: Обзоры по электронной технике. – М: ЦНИИ «Электроника», 1979. – 59 с. (Сер. 2. Полупроводниковые приборы: Вып. 12).
2. Рейви К. Дефекты и примеси в полупроводниковом кремнии. -М.: Мир, 1984.- 472 с.
3. Волков А.Ф., Зайцев Н.А., Суриков М.В. Влияние термических операций на характеристики кремния: Обзоры по электронной технике. – М: ЦНИИ «Электроника», 1983. – 48 с. (Сер. 6. Материалы: Вып. 10).
4. Александров О.В., Соколов В.И. Влияние дефектов, развивающихся при высокотемпературных обработках, на вольт – амперные характеристики планарных приборов // Электронная техника. Сер. 2. Полупроводниковые приборы. – 1975. - Вып. 3.(95). - С. 73-81.
5. Шаскольская М.П. Кристаллография.-М.: Высшая школа, 1984.-376с.
6. Современные методы геттерирования в технологии полупроводниковой электроники / В.А. Лабунов, И.Л. Баранов, В.П. Бондаренко, А.М. Дорофеев. – Зарубежная электронная техника, № 11(270), 1983. –М.: ЦНИИ “Электроника”. - С. 3-66.
7. Курносоев А.И., Юдин В.В. Технология изготовления ПП и ИМС. –М.: Радио и связь, 1986.-368 с.

### Аннотация

#### **Улучшение обратных характеристик кремниевых диодов при использовании геттерирования дефектов**

Установлены причины высокого уровня обратных токов диодов. Разработан эффективный метод геттерирования окислительных дефектов упаковки путем проведения дополнительной диффузии бора в вакууме в нерабочую сторону пластин перед разгонкой бора. Приведены экспериментальные результаты исследования влияния геттерирования на выход годных диодных структур. Предложен механизм ликвидации дефектов упаковки в процессе проведения геттерирующей диффузии бора.

### Annotation

#### **Improvement of reverse descriptions of silicic diodes at the use of gettering defects**

Reasons are set high level reverse currents of diodes. The effective method of gettering of oxidizing defects of packing by conducting of additional diffusion of the coniferous forest is developed in a vacuum in the non-working side of plates before the acceleration of the coniferous forest. The experimental results of research of influencing of gettering are resulted on the output of suitable diode structures. The mechanism of liquidation of defects of packing in the process of conducting of gettering diffusion of the coniferous forest is offered.

## **IMPROVEMENT OF REVERSE DESCRIPTIONS OF SILICIC DIODES AT THE USE OF GETTERING DEFECTS**

Associate professor of department of informatively - calculable technologies of electronics and engineering, candidate of engineering sciences Litvinenko Victor Nick

Kherson national technical university

Berislavskoe of highway, 24, tel. 32-69-44, [viktor.719160@mail.ru](mailto:viktor.719160@mail.ru)

Associate professor of department of exploitation of ship electrical equipment and facilities of automation, candidate of engineering sciences Doschenko Galina Gennadievna

Kherson state marine academy, boulevard of Ushakova, 20, tel. 26-22-59, [herson@yandex.ru](mailto:herson@yandex.ru)

Leading engineer of laboratory '23 Samoilo Nikolai Alexander  
Institute of physics of semiconductors of National academy of sciences of Ukraine (Kherson branch), a street is Factory, 76, tel. 51-54-57, [nas-50@mail.ru](mailto:nas-50@mail.ru)

**Ключевые слова:** геттерирование, обратный ток, кремний, диод, диффузия, окислительные дефекты упаковки.

**Keywords:** gettering, reverse current, silicon, diode, diffusion, oxidizing defects of packing.