

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО БЕСКОРПУСНОГО ВАРИКАПА

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

Херсонский национальный технический университет

OPTIMIZATION TECHNOLOGY OF HIGH-FRAME VARACTORS

Ivershenko V. A., Litvinenko V. N., Doschenko G.G. ,
Kherson national technical university

Аннотация

Оптимизация технологии изготовления высоковольтного бескорпусного варикапа

Разработана технология изготовления высоковольтных бескорпусных варикапов, обеспечивающая повышение выхода годных приборов за счет уменьшения их обратных токов. Представлены результаты экспериментального исследования влияния четырехслойной защиты p-n перехода варикапа пленками диэлектриков и геттерирования посредством шлифовки обратной стороны пластин на выход годных приборов. Приведены технологические режимы создания геттерирующей области в структуре варикапа и формирования пленок диэлектриков четырехслойной защиты его p-n перехода.

Ключевые слова: пленки диэлектриков, геттерирование, p-n переход, варикап, структурные дефекты.

Annotation

Optimization technology of high-frame varactors

The technology of manufacturing high frameless varactors, delivers increased device yield by reducing their reverse currents. The results of experimental studies of the effect of a four-protection p-n transition varicap dielectric film and gettering by grinding the back side plates on the device yield. Given the technological regimes create gettering region in the structure and formation of the varicap dielectrics films protect his four-p-n junction.

Keywords: film dielectrics, gettering, p-n junction varactor, structural defects .

1. Введение. Одной из проблем высоковольтных диодов является состояние поверхности p-n перехода. Поверхностные заряды, образованные неконтролируемыми примесями значительно увеличивают поверхностную составляющую обратного тока варикапа [1].

Другой предпосылкой, которая приводит к значительному снижению выхода годных диодов является высокая плотность структурных дефектов, которые образуются в кремнии в процессе высокотемпературных технологических операций [2].

2. Цель и задачи исследования. Данная работа посвящена разработке технологии изготовления высоковольтного бескорпусного варикапа, которая обеспечивает предотвращение влияния поверхностных эффектов и структурных дефектов на его параметры.

3. Материалы и методы исследования. Структуры исследуемого варикапа изготавливались по стандартной эпитаксиально-планарной технологии [3]. В качестве исходного материала использовали эпитаксиальные пленки, легированные фосфором, с удельным сопротивлением $5 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ и толщиной 35 мкм , нанесенных на подложку толщиной 350 мкм с удельным сопротивлением $0,003 \text{ Ом} \cdot \text{см}$.

Для улучшения параметров исследуемого варикапа и повышения выхода годных приборов были проведены работы по усовершенствованию защиты выходящего на поверхность p-n перехода и разработка метода геттерирования структурных дефектов из активных областей варикапа.

3.1 Совершенствование защиты p-n перехода варикапа за счет использования покрытия из четырех слоев диэлектрических пленок

Было проведено опробование в качестве защиты p-n перехода покрытия из четырех слоев диэлектрических пленок вместо традиционной защиты слоем пленки двуокиси кремния SiO_2 .

На рис.1 приведена структура варикапа с последовательным защитой

p-n перехода, выходящего на поверхность, слоями двуокиси кремния SiO_2 , боро- и фосфоросиликатного стекла и пленкой нитрида кремния Si_3N_4 .

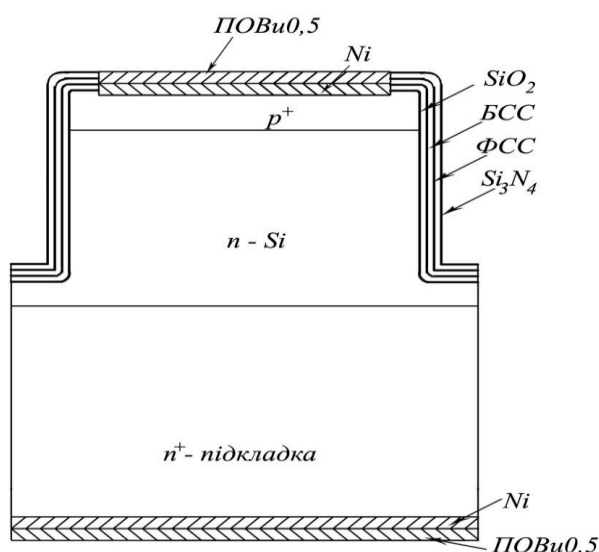


Рис. 1. Структура высоковольтного варикапа

После химической обработки кремниевых пластин в перекисно - аммиачном растворе проводились загонка бора при $T = 1120^\circ\text{C}$ в атмосфере аргона (100 л / ч) и кислорода (5л / ч) в течение 30 минут и разгонка бора при $T = 1150^\circ\text{C}$: 60 минут в атмосфере аргона и 35 минут в атмосфере кислорода. Далее после фотолитографии проводили травление меза - структур.

Сформированные на поверхности пластин меза - структуры (p-n переход выходит на поверхность) необходимо защитить от воздействия внешней среды. Защита p-n перехода была проведена последовательным формированием четырех защитных слоев. Рассмотрение технологий нанесения защитных слоев на поверхности кремниевых пластин начнем с формированию слоя SiO_2 . Термическое окисление исследуемых образцов проводилось в кварцевой трубе по режиму: $T = 1150^\circ\text{C}$; время процесса - 120 минут по циклу: сухой O_2 - влажный O_2 - сухой O_2 . Слой боросиликатного стекла формировался проведением диффузии бора методом открытой трубы из источника B_2O_3 при температуре 1050°C в течение 20 минут. Толщина слоя БСС составила 0,1 мкм. Пленка фосфоросиликатного стекла

формировалась проведением диффузии фосфора из источника POCl_3 при температуре 950°C в течение 10 минут. Толщина слоя ФСС составила 0,05 мкм. Защитный слой нитрида кремния Si_3N_4 получили осаждением из парогазовой фазы при температуре 850°C в течение 45 минут, используя компоненты: хлористый кремний и жидкий аммиак. Всего было сформировано 5 опытных партий, каждая из которых была разделена на две части - в одной части варикапы с защитой p-n перехода покрытием из четырех слоев диэлектрических пленок, в другой - варикапы изготовлены по базовой технологии с защитой p-n - перехода пленкой двуокиси кремния SiO_2 . После завершения формирования четырех защитных слоев были проведены следующие технологические операции: шлифовка обратной стороны пластин, создание омического контакта методом химического осаждения никеля с последующим отжигом пластин в среде аргона при $T = 750^\circ\text{C}$ в течение 20 минут. Далее проводилось измерение электрических параметров на структурах варикапов, облуживание пластин сплавом PbBi0,5 и повторное измерение электрических параметров.

3.2. Разработка метода геттерирования проведением шлифовки обратной стороны пластины

Проведенное исследование забракованных по обратному току варикапных структур показало наличие в их активных областях высокой плотности окислительных дефектов упаковки (ОДУ), (до 10^5 см^{-2}).

После каждой высокотемпературной операции, режимы которых приведены в разделе 3.1, на структурах диодов проводились исследования их кристаллической структуры. Выявление структурных дефектов проводилось посредством селективного травления структур в реактиве Сиртла на протяжении от 10 до 170 с. Установление вида структурных дефектов и оценка их плотности проводилась с помощью оптического микроскопа ММУ- 3. Уже после загонки бора в структурах диодов были обнаружены ОДУ плотностью до 10^3 см^{-2} . После последней высокотемпературной операции плотность структурных дефектов выросла до 10^5 см^{-2} .

Была поставлена задача выбрать эффективный метод геттерирования, который органично вписывался бы в технологический маршрут изготовления варикапов. Поскольку ОДУ образуются, начиная с первой высокотемпературной операции - диффузии бора, то очевидно, что следует использовать геттерирование уже в самом начале технологического маршрута изготовления варикапа.

Предварительные исследования показали, что наиболее эффективным для предотвращения образования ОДУ является метод создания области геттера с помощью шлифовки обратной стороны пластин [5]. Чтобы избежать попадания загрязнений на рабочую сторону пластины, ее защищали слоем лака ХВ-784. Шлифовку пластин проводили на шлифовальном станке В1М3.105.000. Шлифовка проводилась абразивом на основе двуокиси алюминия с размером частиц 2-15 мкм. С помощью шлифовки на нерабочей стороне пластины формировался нарушенный слой толщиной примерно 10 мкм, который и использовался для геттерирования. После стравливания защитного слоя лака на рабочей стороне пластин и стандартной химической обработки пластины были переданы на загонку бора. В процессе загонки бора атомы нежелательных примесей (например, Ni, Fe, Cu, Na) мигрируя по кристаллу, осаждаются на дислокациях, которые образуются в области нарушенного слоя. При этом происходит очистка активных областей варикапов от посторонних примесей, что предотвращает образование в них окислительных дефектов упаковки и других структурных дефектов [5]. Металлографические исследования показали отсутствие окислительных дефектов упаковки в активных областях кремниевых структур после загонки бора. После прохождения стандартного для данного варикапа технологического процесса, описанного в разделе 3.1, было проведено измерение обратных токов на изготовленных варикапных структурах.

4. Экспериментальные данные и их обработка.

4.1. Обработка экспериментальных данных после проведения исследований по использованию защиты р - n перехода варикапа четырьмя

слоями диэлектрических пленок дала следующие результаты. В таблице 1 приведены результаты измерения на варикапных структурах уровня обратных токов и их оценка по выходу годных варикапов в соответствии с критерием годности: $I_{обр} \leq 3$ мкА при $U_{обр}=150$ В.

Таблица 1

Способ защиты р-n - перехода варикапа	Номер опытной партии	Выход годных варикапных структур по обратному току, %
Структуры варикапа с защитой р-n-перехода пленкой двуокиси кремния SiO ₂	1	81
	2	80
	3	81
	4	83
	5	85
Структуры варикапа с защитой р-n-перехода покрытием из четырех слоев диэлектрических пленок	1*	94
	2*	93
	3*	93
	4*	92
	5*	94

Как видно из таблицы 1, использование предложенного метода защиты р-n перехода покрытием из четырех слоев диэлектрических пленок дает возможность повысить выход годных варикапов, в среднем на 11,2%.

Полученный положительный результат можно объяснить тем, что в состав четырехслойной защиты р-n-перехода входят геттерирующие слои пленок боро- и фосфоросиликатного стекла, которые обладают геттерирующим действием по отношению к посторонним примесям и структурным дефектам в кремнии [4]. Пленка нитрида кремния Si₃N₄ также выполняет геттерирующее действие по отношению к посторонним примесям на поверхности кремния и защищает ее от воздействия окружающей среды. Очевидно, что очистка приповерхностных активных областей варикапных структур от нежелательных примесей дает возможность значительно уменьшить поверхностную составляющую обратного тока варикапов.

4.2. Обработка экспериментальных данных после проведения исследований по использованию разработанного метода геттерирования

структурных дефектов с помощью шлифовки обратной стороны пластин дала следующие результаты. В таблице 2 приведены сравнительные результаты измерения уровня обратных токов варикапов, изготовленных по базовой (партии № 1, 2) и разработанной (партии № 3, 4) технологиям. Критерий годности: $I_{обр} \leq 3$ мкА при $U_{обр}=150$ В.

Таблица 2

Технология изготовления варикапных структур	Номер партии пластин	Выход годных варикапов по обратному току, %
Без использованием геттерирования	1	85
	2	78
С использованием геттерирования	3	93
	4	90

Как видно из таблицы, создание геттерирующего слоя с нерабочей стороны пластин, ее шлифовкой перед загонкой бора, позволило повысить выход годных варикапных структур, в среднем на 10%.

Также были измерены вольт - амперные характеристики (ВАХ) диодных структур (рис. 2), изготовленных по базовой технологии (без использования геттерирования) и по предложенной технологии (с использованием геттерирования).

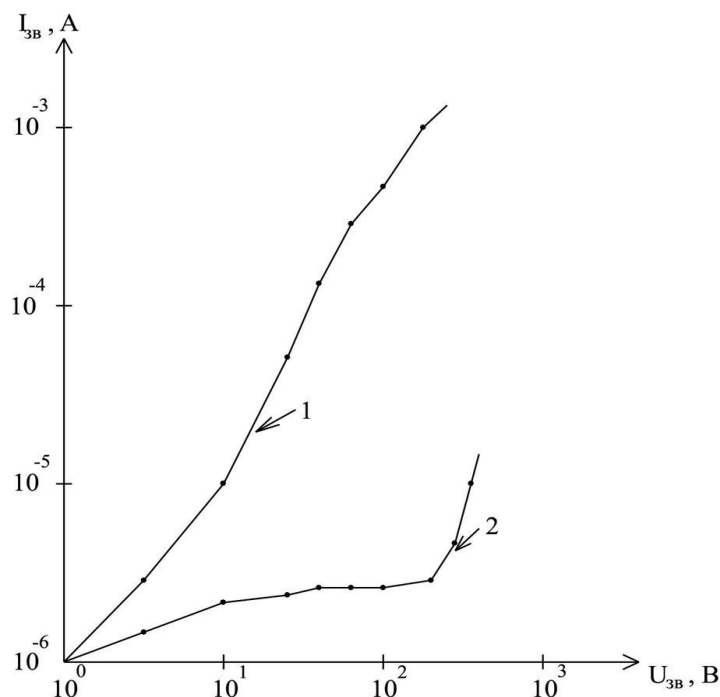


Рис. 2. Вольт - амперные характеристики варикапных структур:

1 – варикапная структура, изготовленная по базовой технологии;

2 – варикапная структура, изготовленная по предложенной технологии

Как видно из рис. 2, применение геттерирования дает возможность значительно уменьшить уровень обратных токов варикапов. Таким образом, использование геттерирования, путем шлифовки нерабочей стороны пластин перед загонкой бора, позволяет предотвратить образование ОДУ в активных областях варикапов и тем самым уменьшить уровень их обратных токов, что обеспечивает увеличение выхода годных приборов.

5. Выводы. Таким образом, разработанная технология изготовления высоковольтных бескорпусных варикапов обеспечила улучшение состояния поверхности р-п перехода и дала возможность предотвратить образование окислительных дефектов упаковки в активных областях варикапов, что выразилось в уменьшении уровня обратных токов варикапов и увеличении выхода годных приборов. Повысилась и надежность варикапов.

Литература

1. Агаларзаде П.С., Петрин А.И., Изидинов С.О. Основы конструирования и технологии обработки поверхности р-п перехода. –М.: Сов. радио, 1978.- 224с.
2. Рейви К. Дефекты и примеси в полупроводниковом кремнии. -М.: Мир, 1984.- 472 с.
3. Курносое А.И., Юдин В.В. Технология изготовления ПП и ИМС. –М.: Радио и связь, 1986.-368 с.
4. Литвиненко В.Н. Улучшение обратных характеристик кремниевых диодов с омическим контактом на основе никеля //Электронная техника. Сер. 2. Полупроводниковые приборы. – 1986. - Вып. 6. – С.58 – 62.
5. 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.