

Д. т. н. В. В. БАРАНОВ, к. т. н. Я. А. СОЛОВЬЕВ,
Г. В. КОШКАРОВ

Республика Беларусь, г. Минск, Белорусский гос. университет
информатики и радиоэлектроники
E-mail: baranov@iee.org

Дата поступления в редакцию
17.05 2007 г.

Оппонент д. т. н. Р. В. КОНАКОВА
(ИФП им. В. Е. Лашкарёва, г. Киев)

ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КРЕМНИЕВЫХ ДИОДОВ ШОТТКИ ДЛЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО МИКРОМОНТАЖА

Рассмотрены конструктивно-технологические особенности и характеристики кремниевых диодов Шоттки, создаваемых в стеклянных корпусах, требующих обеспечения термостойкости кристаллов на уровне 650°C.

Микромонтаж и герметизация стеклом кристаллов изделий микроэлектроники в корпус типа DO-35 производится при температуре 600—650°C, при этом длительность температурного воздействия достигает нескольких минут. Применительно к структуре диода Шоттки такое высокотемпературное воздействие приводит к деградации электрических характеристик вследствие изменения параметров выпрямляющего контакта (высоты барьера Шоттки, переходного сопротивления) [1, с. 23—35], а также к зарядовой нестабильности пассивирующего покрытия, обусловленной миграцией ионов щелочных металлов (Li, Na, K), содержащихся в стекле [2]. Поэтому многие материалы оказались непригодными для формирования контактных структур и пассивации диодов Шоттки.

Данная работа посвящена разработке новых тонкопленочных элементов для формирования структур диодов Шоттки, устойчивых к воздействию высоких температур. Такая структура представлена на **рис. 1**.

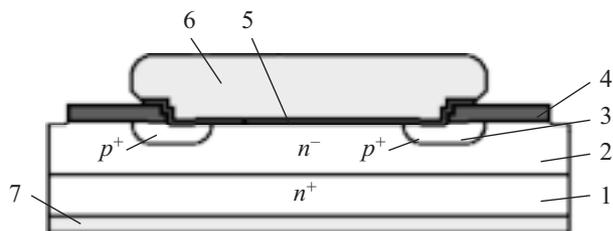


Рис. 1. Структура диода Шоттки:

1 — подложка; 2 — эпитаксиальный слой; 3 — охранный слой; 4 — пассивирующее покрытие; 5 — контактный слой; 6 — объемный вывод; 7 — металлизация катода

В качестве пассивирующего покрытия использовали слои диоксида кремния толщиной 0,5—0,7 мкм, полученные термическим окислением, а также двухслойные структуры $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ и $\text{SiO}_2/\text{Ta}_2\text{O}_5$. Слои нитрида кремния толщиной 0,1—0,2 мкм осаждали аммонолизом дихлорсилана. Слои пентаоксида тантала формировали термическим окислением (в среде сухого кислорода при температуре 550°C) пленок

тантала, нанесенных магнетронным распылением. Толщину слоя Ta_2O_5 варьировали в диапазоне от 0,04 до 0,5 мкм. В качестве контактного слоя использовали пленки молибдена и ванадия толщиной 0,3 мкм, нанесенные магнетронным распылением. Объемный вывод высотой 30 мкм формировали гальваническим осаждением серебра из раствора электролита через маску фоторезиста. Металлизацию катода получали путем нанесения в вакууме на обратную сторону кремниевых пластин трехслойной пленки с нижним (контактным) слоем ванадия, промежуточным слоем из серебряного припоя типа ПСр15 и верхним слоем серебра.

Экспериментальный микромонтаж кристаллов производили в восстановительной атмосфере при температуре 650°C пайкой высокотемпературным припоем (сплав «серебро—медь») к аксиальным выводам корпуса DO-35 с одновременной герметизацией стеклом (см. **рис. 2**). Вольт-амперные характеристики (ВАХ) диодов Шоттки после монтажа исследовали с помощью измерительного комплекса HP 4061A (Hewlett Packard, США). Для определения параметров контактов Шоттки использовали графоаналитический метод, а также расчет численными методами параметров модели прямой ВАХ [3]. Элементный состав переходных слоев исследовали оже-электронной спектроскопией при помощи спектрометра PHI-660 (Perkin Elmer, США).

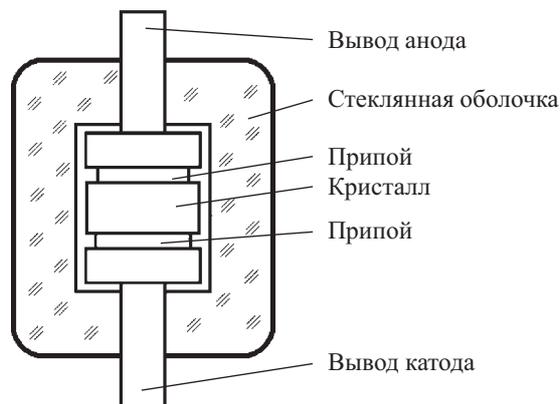


Рис. 2. Схематическое изображение диода Шоттки в корпусе DO-35 после высокотемпературного микромонтажа

Результаты измерения обратного тока диодов Шоттки с различным пассивирующим покрытием представлены в **табл. 1**. Как видно из таблицы, наилучшими защитными свойствами характеризуется

Таблица 1

Обратный ток диодов Шоттки с различным пассивирующим покрытием при величине обратного напряжения 15 В

Структура диэлектрических слоев	Обратный ток, мкА
SiO ₂ (0,6 мкм)	>1,0
SiO ₂ (0,6 мкм)/ Si ₃ N ₄ (0,15 мкм)	0,5
SiO ₂ (0,6 мкм)/ Ta ₂ O ₅ (0,04 мкм)	0,22
SiO ₂ (0,6 мкм)/ Ta ₂ O ₅ (0,07 мкм)	0,09
SiO ₂ (0,6 мкм)/ Ta ₂ O ₅ (0,27 мкм)	0,02
SiO ₂ (0,6 мкм)/ Ta ₂ O ₅ (0,40 мкм)	0,10
SiO ₂ (0,6 мкм)/ Ta ₂ O ₅ (0,50 мкм)	0,23

двухслойное пассивирующее покрытие SiO₂/Ta₂O₅ с толщиной верхнего слоя в диапазоне от 0,07 до 0,4 мкм. Величина обратного тока диодов Шоттки с таким покрытием в 25 раз меньше, чем с двухслойной структурой SiO₂/Si₃N₄, и в 50 с лишним раз меньше, чем для традиционно используемого пассивирующего покрытия слоем SiO₂. Это объясняется эффективными барьерными свойствами покрытия SiO₂/Ta₂O₅ против диффузии ионов щелочных металлов. Кроме того, соотношение толщины слоев данной двухслойной структуры позволяет управлять ее зарядовыми свойствами [4].

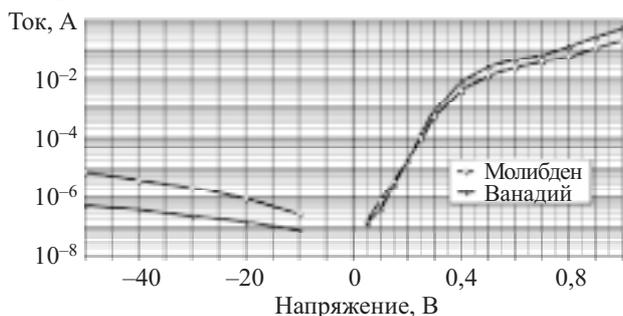


Рис. 3. Вольт-амперные характеристики диодов Шоттки в корпусе DO-35 с контактными слоями из молибдена и ванадия

Результаты измерений ВАХ диодов Шоттки с различными материалами контактных слоев представлены на рис. 3 для актуального на практике диапазона рабочих напряжений. Результаты исследования электрофизических свойств контактов Mo/Si и V/Si после микромонтажа в корпус DO-35 представлены в табл. 2.

Таблица 2

Электрофизические свойства контактов «молибден—кремний» и «ванадий—кремний» после микромонтажа в корпус DO-35

Параметры контакта	Методика исследования			
	Графо-аналитический метод		Расчет численными методами параметров модели прямой ВАХ	
	Mo/Si	V/Si	Mo/Si	V/Si
Последовательное сопротивление, Ом	—	—	7,41	4,43
Коэффициент неидеальности	1,22	1,11	1,23	1,04
Высота барьера, В	0,625	0,641	0,624	0,654

Как показали исследования, контакты V/Si характеризуются большей высотой барьера и меньшим последовательным сопротивлением, что обуславливает их преимущество перед контактами Mo/Si как в части уменьшения падения прямого напряжения диодов Шоттки, так и уменьшения их обратного тока.

Однако полученная высота барьера 0,654 В не совпадает с известным значением для контактов «ванадий—кремний» *n*-типа, равным 0,55 В [5]. Это указывает на наличие фазы дисилицида ванадия, которая характеризуется высотой барьера к кремнию *n*-типа 0,65 В [1]. Наличие переходного слоя дисилицида ванадия установлено оже-электронной спектроскопией (рис. 4), а также данными рентгенострук-

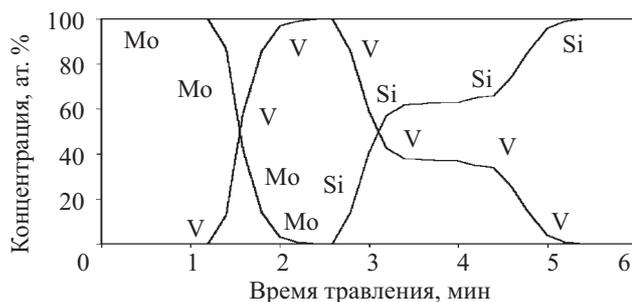


Рис. 4. Профиль распределения элементов многослойной структуры Mo/V/Si после температурной обработки при 625°С в течение 30 мин

турного анализа на пластинах-«свидетелях». Это означает, что тепловое воздействие высокотемпературного микромонтажа способствует формированию материала контактного слоя, обеспечивающего требуемые параметры выпрямляющих контактов диодов Шоттки.

Таким образом, найдены и исследованы тонкопленочные элементы для формирования выпрямляющих контактов и пассивации активной структуры кремниевых диодов Шоттки, устойчивых к воздействию высокотемпературного микромонтажа.

Для исключения диффузии ионов щелочных металлов целесообразно использовать двухслойную пассивирующую структуру SiO₂/Ta₂O₅ с толщиной слоя пентаоксида тантала 0,07—0,4 мкм.

Как показала контактная структура V/Si, тепловое воздействие высокотемпературного микромонтажа способствует формированию переходного слоя силицида в качестве материала контактного слоя, что обеспечивает заданные параметры выпрямляющего контакта.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Мьюрарка Ш. Силициды для СБИС.— М.: Мир, 1986.
2. Croft D. C. The construction and reliability of Schottky diodes // Microelectron. and Reliab.— 1978.— Vol. 17.— P. 445—455.
3. Баранов В. В., Соловьев Я. А., Кошкаров Г. В. Определенные электрофизических параметров контактов Шоттки расчетом численными методами параметров модели ВАХ // Изв. Белорусской инженерной академии.— 2005.— № 1 (19)/5.— С. 101—104.
4. Баранов В. В., Пономарь В. Н., Петлицкая Т. В., Соловьев Я. А. Диоды Шоттки с многослойной пассивацией // Там же.— 2002.— № 2 (14) /2.— С. 23—25.
5. Ануфриев Л. П., Баранов В. В., Глухманчук В. В. и др. Диоды Шоттки на основе переходных металлов и их силицидов // Актуальные проблемы твердотельной электроники и микроэлектроники: Тр. Восьмой междунар. науч.-техн. конф. Ч. 1.— Таганрог: ТГРТУ, 2002.— С. 157—159.