

Конструктивно-технологическое усовершенствование

Trench-диодов Шоттки

В статье рассмотрены некоторые усовершенствования конструкции и технологии Trench-диодов Шоттки, позволяющие упростить технологический процесс, исключить одну фотолитографию, и достигнуть увеличения обратного пробивного напряжения.

Павел Андреев,

Николай Голубев,
к. ф.-м. н.,

Владимир Котов,

Виталий Куст,

Владимир Токарев,
к. ф.-м. н.

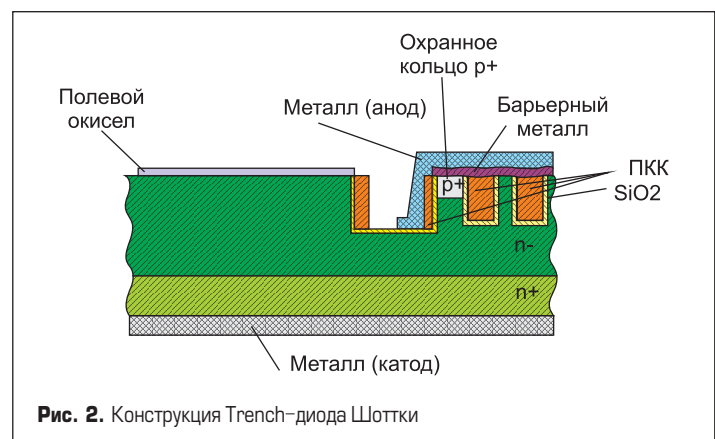
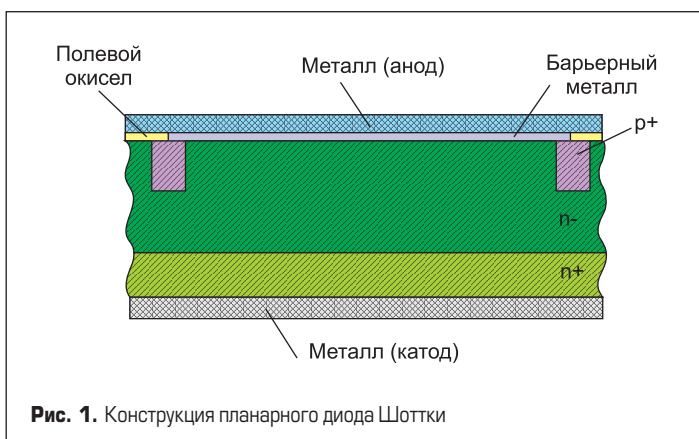
Наиболее распространенные диоды Шоттки имеют планарную структуру. Такая структура (рис.1) включает: кремниевый эпитаксиальный слой (n) с электронным типом проводимости и достаточно высоким удельным сопротивлением на низкоомной подложке (n^+); замкнутое охранное кольцо (p^+) с дырочным типом проводимости; защитный диэлектрический слой (полевой окисел) за пределами зоны, окруженной охранным кольцом; барьер Шоттки в контакте металл-полупроводник, сформированный внутри области, ограниченной охранным кольцом; контактную площадку анода на планарной стороне; контактную площадку катода на обратной стороне низкоомной подложки [1].

Производители, имеющие современное субмикронное технологическое оборудование [2, 3], начали серийное производство диодов Шоттки нового поколения, известных под названием Trench-диоды Шоттки. За счет применения новых конструктивных решений в таких диодах по сравнению с планарными достигнуты более низкие значения прямого напряжения и обратного тока при прочих равных условиях. В активной области Trench-диодов Шоттки создается множество узких канавок, в которых

на боковых стенках сформированы МОП-структуры с поликремниевым или металлическим электродом, расположенным внутри канавки и соединенным с анодом диода (рис. 2) [4]. Барьер Шоттки в такой структуре создается на горизонтальной поверхности части эпитаксиального слоя между соседними канавками. Прибор в целом в такой конструкции состоит из множества соединенных параллельно диодов Шоттки, каждый из которых ограничен канавкой с МОП-структурой на боковой стенке. Данная конструкция имеет ряд преимуществ по сравнению с планарной структурой:

- При обратном смещении вдоль боковых стенок канавок образуются области пространственного заряда (ОПЗ), в которых электрическое поле ориентировано перпендикулярно направлению протекания тока, что приводит к снижению значений обратного тока.
- При положительном потенциале на аноде в МОП-структуре вдоль боковых стенок канавок возникает обогащенный слой, следствием чего является снижение прямого напряжения.

Достижение качественно новых характеристик на Trench-диодах Шоттки стало возможным благодаря применению новых технологий и более сложного



оборудования, что неизбежно привело к росту себестоимости производства кристаллов. Анализ известной конструкции [4] показал, что технологический процесс производства Trench-диодов Шоттки можно упростить за счет уменьшения числа фотолитографий.

В конструкции [4] на периферии формируется охранный область *p*-проводимости (рис. 2), для чего требуется выполнять специальную фотолитографию, ионное легирование акцепторных примесей и блок высокотемпературных операций. В планарных диодах Шоттки охранный область проводимости *p*-типа (рис. 1) создается с целью исключения краевых эффектов и повышения пробивного напряжения. Особенности конструкции Trench-диодов Шоттки позволяют исключить блок операций формирования охранной области проводимости *p*-типа по следующим причинам. Как отмечалось выше, Trench-диод Шоттки можно рассматривать как множество соединенных параллельно диодов Шоттки, каждый из которых ограничен канавкой с МОП-структурой на боковой стенке. Такой отдельный диод Шоттки конструктивно подобен классическому диоду с мезаструктурой, в котором отсутствуют краевые эффекты. МОП-структура на боковых стенках канавок «растягивает» ОПЗ внутрь эпитаксиального слоя, что обеспечивает оптимизацию конструкции по величине обратного пробивного напряжения без создания охранных областей проводимости *p*-типа.

Основные результаты

С целью подтверждения предположений о возможности оптимизации конструкции тренч диодов Шоттки проведено численное моделирование структуры прибора с разными конфигурациями конструктивных элементов и определено распределение электрического поля в ней с использованием современных пакетов программ для технологического моделирования. В процессе моделирования выявлены наиболее критичные области в конструкции прибора, в которых напряженность электрического поля достигает значений, при которых происходит лавинный пробой.

По результатам моделирования было установлено, что максимальные значения пробивного напряжения достигаются в структурах, активная область которых ограничена одной

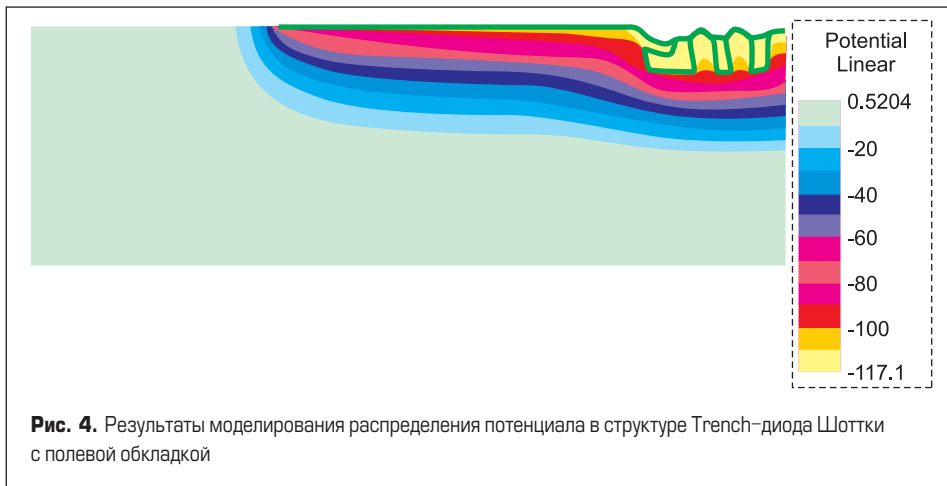


Рис. 4. Результаты моделирования распределения потенциала в структуре Trench-диода Шоттки с полевой обкладкой

Таблица 1. Расчетные значения пробивного напряжения (V_{BR}) для разных конструктивных исполнений диодов Шоттки

Варианты конструкций	Планарный диод	Trench-диод [4]	Trench новой конструкции	Trench новой конструкции с одним доп. кольцом	Trench новой конструкции с двумя доп. кольцами
V_{BR}, B	117	117	119	123	126

или несколькими замкнутыми канавками, защищенными полевым окислом (рис. 3). Металлическая контактная площадка анода должна быть расширена за пределы области охранных колец на расстояние, превышающее ширину ОПЗ при напряжении пробоя прибора. Канавки охранной области конструктивно подобны внутренним канавкам активной области, но отличаются по ширине: первая от активной области канавка охранной области имеет ширину в полтора-два раза больше ширины канавок активной области.

Найденное конструктивное решение обеспечивает надежную изоляцию активной области от периферии кристалла и позволяет создать металлическую полевую обкладку, обеспечивающую расширение ОПЗ за пределами активной области и оптимизацию конструкции по величине пробивного напряжения (рис. 4).

Использование после широкой канавки дополнительных колец, аналогичных по геометрическим параметрам канавкам в активной области (рис. 5), дает дополнительно увеличение максимального значения пробивного напряжения: первая на 3,3%, а вторая — еще на 2,5%.

Результаты численного моделирования пробивного напряжения планарных диодов Шоттки, Trench-диодов предлагаемой конструкции, а также конструкции [4] представлены в таблице 1.

Экспериментальные исследования влияния конструктивных параметров Trench-структуры на характеристики диодов Шоттки проводились на специально спроектированной матрице разных конструктивных исполнений кристаллов, размещенных на одном фотошаблоне. Спроектированный комплект шаблонов позволяет изготавливать на одной пластине в едином технологическом процессе несколько различных по конструктиву кристаллов, включая планарную конструкцию.

Для изготовления кристаллов диодов использовались пластины диаметром 150 мм. Эпитаксиальные слои толщиной $h = (7,0-9,0)$ мкм с удельным сопротивлением $\rho = (2,0-2,5)$ Ом·см изготавливались на подложках с удельным сопротивлением $\rho = (0,002-0,007)$ Ом·см, ориентация (100). При изготовлении Trench-структур использовалось технологическое оборудование с проектными нормами 0,35 мкм.

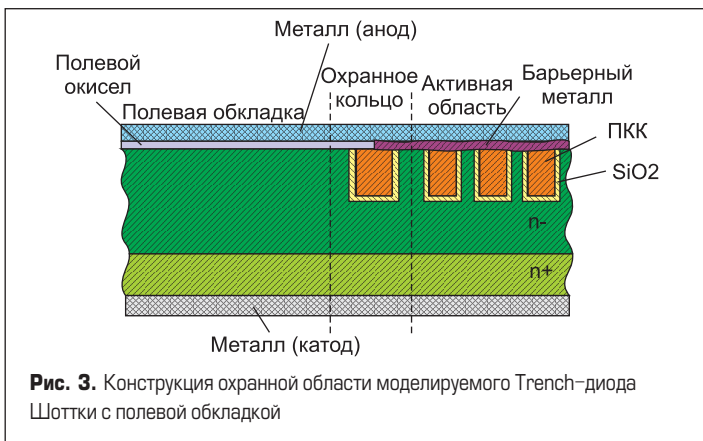


Рис. 3. Конструкция охранной области моделируемого Trench-диода Шоттки с полевой обкладкой

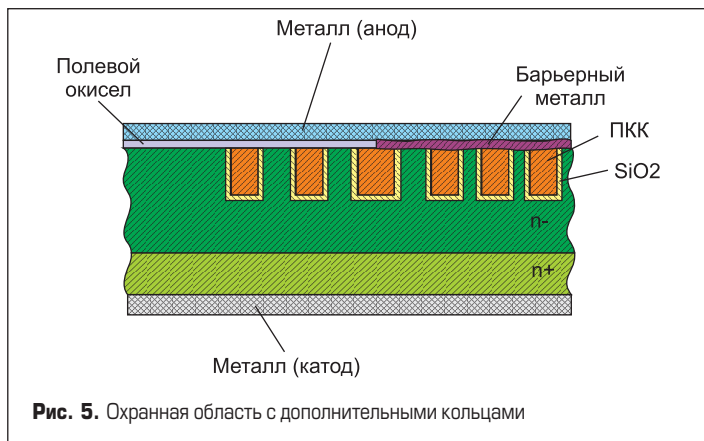


Рис. 5. Охранный область с дополнительными кольцами

Результаты измерений параметров изготовленных экспериментальных образцов приборов разных конструктивных исполнений приведены в таблице 2.

Полученные экспериментальные результаты показывают, что на всех конструктивных вариантах Trench-диодов Шоттки пробивное напряжение выше, чем на планарных, при тех же параметрах эпитаксиальных слоев, и не обнаружено заметных различий значений прямого напряжения. Формирование дополнительных канавок в области охраны обеспечивает увеличение пробивного напряжения на несколько процентов.

Заключение

Проведенное численное моделирование и спланированные по результатам расчетов эксперименты показали, что предлагаемая конструкция области охранных колец Trench-диодов Шоттки позволяет изготавливать кристаллы с параметрами, соответствующими требованиям спецификаций ведущих зару-

Таблица 2. Типовые значения параметров экспериментальных диодов Шоттки, изготовленных на эпитаксиальных структурах разной толщины

Параметры ЭС		Trench (без дополнительных колец)	Trench + одно дополнительное кольцо	Trench + два дополнительных кольца	Планарный	Trench (без дополнительных колец)	Планарный
ρ , Ом·см	h, мкм	V_{BR} при 5 мА, В				V_f при 10 А, В	
2,0	7,0	118,4	121,1	123,2	116,3	0,73	0,73
2,0	8,0	121,1	123,4	126,1	118,2	0,75	0,745
2,0	9,0	124,4	126,1	129,2	119,1	0,78	0,78

бежных производителей. Предлагаемая конструкция позволяет упростить известный [4] технологический процесс за счет исключения одной фотолитографии и блока высокотемпературных операций, необходимых для создания диффузионного охранного кольца.

Литература

1. Пат. № 4691435 (США) Method for making Schottky diode having limited area self-aligned guard ring / Narasipur G. Anantha, Harsaran S.

Bhatia, Santosh P. Gaur, John L. Mauer // Appl. № 06/263,227. May 13, 1981.

2. Голубев Н., Токарев В., Шпаковский С. Применение субмикронной технологии — путь к созданию высокоэффективных диодов Шоттки // Силовая электроника. 2005. № 3.
3. Chen M., Kuo H., Kim S. High-Voltage TMBS Diodes Challenge Planar Schottky // Power Electronics Technology. October, 2006.
4. Пат. 7466005 В2 (США). Recessed termination for trench schottky device without junction curvature / D. Chiola // Appl. № 11/077,929. Dec. 16, 2008.