

УДК 537.2:621.38

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СТРУКТУР ДИОДОВ ШОТТКИ С ОХРАННЫМ КОЛЬЦОМ К РАЗРЯДАМ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

В.А. СОЛОДУХА¹, д-р техн. наук, проф. В.Л. ЛАНИН², канд. техн. наук, доц. Я.А. СОЛОВЬЁВ¹

¹ОАО «ИНТЕГРАЛ»–управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ»

²Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск)

Рассмотрена задача повышения устойчивости структур диодов Шоттки к разрядам статического электричества. Применение в диодной структуре диффузионно-легированного охранного кольца обеспечивает устойчивость к воздействию импульсов ЭСР отрицательной полярности с потенциалом до 14 кВ.

Введение. Диоды Шоттки – полупроводниковые приборы, построенные на основе контакта металл-полупроводник. В отличие от обычных диодов с $p-n$ -переходом диоды Шоттки характеризуются более низким падением напряжения при прямом смещении, что обусловило их широкое распространение в преобразовательной технике [1]. К недостаткам диодов Шоттки относятся высокие уровни обратных токов, что существенно сужает их температурный диапазон эксплуатации. Для снижения краевых токов утечки контакта металл – полупроводник и стабилизации обратного напряжения диодной структуры по периметру контакта располагают охранное кольцо p -типа проводимости (рис. 1) [2].

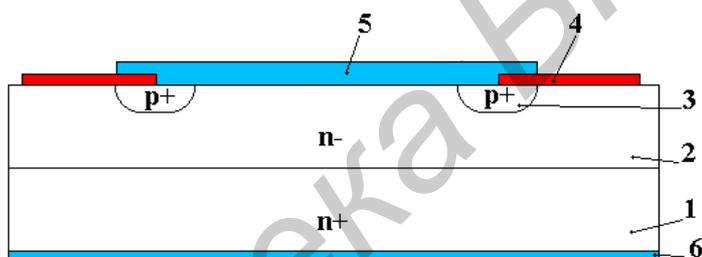


Рисунок 1 – Структура диода Шоттки с охранным кольцом:
1 – подложка; 2 – эпитаксиальный слой; 3 – охранное кольцо;
4 – защитный слой; 5 – металлизация анода; 6 – металлизация катода

Площадь охранного кольца в диодах Шоттки существенно меньше, чем в диодах с $p-n$ -переходом, поэтому диоды Шоттки в большей степени чувствительны импульсным перегрузкам при обратном смещении, в частности при воздействии разрядов статического электричества (РСЭ) [3].

Разряд статического электричества – это импульсный перенос электростатического заряда между телами с разными электростатическими потенциалами при непосредственном контакте или при сближении их на некоторое, достаточно маленькое, расстояние [4]. Разряды статического электричества могут возникать в результате контакта человеческого тела с радиоэлектронным устройством или его компонентами, а также при механическом воздействии на компоненты частей оборудования, при возникновении РСЭ в самом работающем устройстве, при коммутации устройства с кабелем [5]. Весьма значительные потери создают РСЭ в производстве и эксплуатации полупроводниковых приборов: 16–22% отказов у изготовителей приборов, 9–13% – у изготовителей электронной аппаратуры и 27–33% – у потребителей аппаратуры [6]. Разряды статического электричества вызывают такие виды повреждений, как тепловой пробой $p-n$ -перехода, образование пустот в окисле кремния, расплавление металлических проводников и др. [7].

Для диодов Шоттки наиболее характерным механизмом отказа является выгорание $p-n$ -переходов и барьеров Шоттки, когда сквозь них формируются проводящие каналы, приводящее к деградации электрических свойств барьера Шоттки, проявляемой, главным образом, в увеличении его обратного тока утечки и снижении пробивного напряжения. Конструктивно-технологические методы повышения устойчивости диодов Шоттки к воздействию РСЭ условно делятся на три группы:

- шунтирование барьера контакта металл-полупроводник интегрированным $p-n$ -переходом с меньшим обратным пробивным напряжением [5, 8–11];
- уменьшение напряженности электрического поля, индуцированного РСЭ, в критических местах структуры [5, 12–14];

– уменьшение проводимости полупроводникового материала при обратном смещении диода Шоттки [15, 16].

Настоящая работа посвящена разработке конструктивно-технологических методов повышения устойчивости к РСЭ диодов Шоттки с охранным кольцом.

Методика эксперимента. Диоды Шоттки формировали с использованием эпитаксиальных слоев 5 КЭФ 0,6 и 9 КЭФ 2,5, обеспечивающих обратное номинальное напряжение диодов Шоттки 45 и 100 В соответственно. Размеры кристаллов диодов Шоттки варьировали от 0,3 до 7,0 мм².

Охранный кольцо формировали ионным и диффузионным легированием. При ионном легировании проводили имплантацию ионов бора с энергией 60 кэВ дозой 9 мкКл/см² через слой защитного окисла толщиной 100 нм. Затем проводили отжиг при температуре 1050°С. При этом были получены области р-типа проводимости с поверхностным сопротивлением порядка 1000 Ом/квадрат, глубиной залегания примеси до 1,1 мкм и толщиной слоя окисла кремния до 450 нм. Максимальная концентрация бора в охранным кольце при ионном легировании может достигать уровня $8 \cdot 10^{17}$ см⁻³.

При диффузионном легировании сначала проводили диффузию бора из твердых планарных источников в среде кислорода при температуре 970 С в среде азота в течение 50 мин. В результате получали поверхностное сопротивление легированных слоев 30–40 Ом/кв. Далее снимали слой боросиликатного стекла и осуществляли разгонку примеси в среде азота с кислородом при температуре 1050 С в течение 50 мин [79]. С помощью диффузионного легирования получали области р-типа проводимости с поверхностным сопротивлением 60–80 Ом/кв, глубиной залегания примеси 1,3–2,5 мкм и толщиной слоя окисла кремния 430 нм. При этом максимальная концентрация бора в диффузионно-легированном кольце может достигать $2 \cdot 10^{19}$ см⁻³.

Для последующих измерений электрических параметров и испытаний на устойчивость к импульсам РСЭ кристаллы диодов Шоттки собирали в корпус КТ-28 (ГО-220). Измерения электрических параметров, таких как прямое и обратное напряжение, а также обратный ток проводили с помощью измерителя параметров транзисторов и диодов Л 2-69. Распределение тепла по поверхности кристаллов диодов Шоттки при лавинном пробое исследовали методом фотонной эмиссии с помощью зондовой станции Signatone S1160-8N и ПЗС камеры Nikon DS-Fi2 с разрешением 5 Мпикс., регистрирующей излучение в диапазоне длин волн от 0,3 до 1,1 мкм с выдержкой в течение 60 с.

Испытания диодов Шоттки на устойчивость к импульсам РСЭ проводили с помощью РСЭ-симулятора модели MiniZap MZ-15/ЕС (ТЕС, США) по методу IЕС 61000-4-2. Электрическая схема тестового устройства представлена на рисунке 2. В данной схеме конденсатор C_1 заряжается через высокоомный резистор R_1 напряжением от 1 до 14 кВ, а затем разряжается через резистор R_2 в тестируемое устройство. В соответствии с методом испытаний сопротивление R_1 устанавливали равным 100 МОм, емкость C_1 – равной 150 пФ, а сопротивление R_2 – 330 Ом [4].

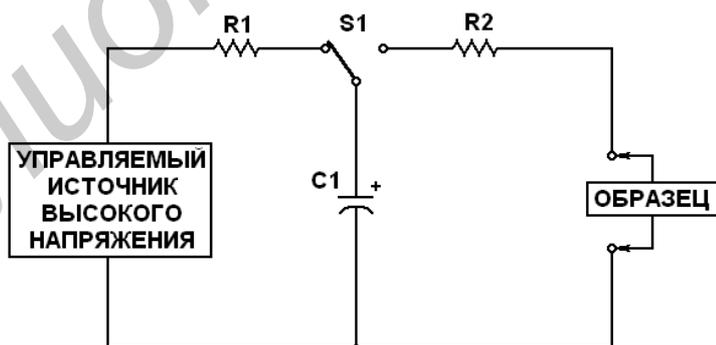


Рисунок 2 – Электрическая схема тестового устройства для испытаний на устойчивость к РСЭ

Испытания проводили на выборках, содержащих не менее 10 диодов Шоттки. Перед испытаниями на каждой выборке проводили контрольный замер основных электрических параметров: прямого напряжения и обратного тока на соответствие установленным нормам. Затем на каждый прибор из выборки последовательно подавали по 5 импульсов РСЭ положительной и по 5 импульсов РСЭ отрицательной полярности. Напряжение изменяли ступенчато от 2 до 14 кВ с шагом 2 кВ. После каждой ступени проводили замер основных электрических параметров. Критерием годности прибора считали соответствие измеренных параметров установленным нормам, пределом стойкости диодов Шоттки к РСЭ – ступень, которая предшествовала той ступени, на которой происходил хотя бы один отказ. Если во всем диапазо-

не изменяемых напряжений импульсов РСЭ отказов не наблюдали, то предел стойкости диодов Шоттки к РСЭ принимали равным 14 кВ.

Места отказов диодов Шоттки после испытаний исследовали методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) с использованием микроскопа типа S-806 (Hitachi, Япония).

Расчет допустимых потенциалов РСЭ. Величины максимально допустимых потенциалов РСЭ рассчитывали по методике, основанной на модели теплового повреждения полупроводниковых приборов Вунша – Белла [18], для импульсов отрицательной полярности, которые наиболее критичны для структур диодов Шоттки [19]. Согласно данной методике для импульсов отрицательной полярности разрядная цепь может быть представлена схемой, изображенной на рисунке 3, где величина емкости C_1 и сопротивления R_1 в соответствии с методом ИЕС 61000-4-2 составляет 150 пФ и 330 Ом соответственно, R_2 – дифференциальное сопротивление диода Шоттки при обратном смещении, R_3 – контактное сопротивление между прибором и землей, величина которого пренебрежимо мала и принималась равной нулю.

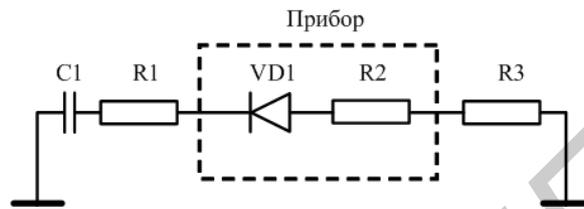


Рисунок 3 – Эквивалентная схема разряда статического электричества отрицательной полярности через диод Шоттки

Принимали во внимание 2 критерия отказа Вунша-Белла:

– отказ прибора в результате плавления кремния при равномерном протекании обратного тока через p - n -переход (случай 2), пороговую мощность определяли по формуле [18]:

$$P = 1809,7St^{-\frac{1}{2}}, \quad (1)$$

где S – площадь p - n -перехода охранного кольца диода Шоттки, которая определяется топологией, t – длительность импульса РСЭ, приведенного к прямоугольной форме;

– отказ прибора в результате плавления кремния при протекании обратного тока через p - n -переход с образованием горячих точек, занимающих 10% от его площади (случай 3), пороговую мощность определяли следующим образом:

$$P = 180,97St^{-\frac{1}{2}}. \quad (2)$$

Время импульса t рассчитывали в соответствии с формулой [6]:

$$t = 5(R_1 + R_2)C_1. \quad (3)$$

Для расчета максимально допустимого потенциала импульса РСЭ отрицательной полярности в соответствии с методикой [19] использовали следующую формулу:

$$U_p = \frac{\sqrt{4U_{R\max}^2 + 40PR_2} - 2U_{R\max}}{2R_2}(R_1 + R_2) + U_{R\max}, \quad (4)$$

где $U_{R\max}$ – напряжение лавинного пробоя p - n -перехода охранного кольца.

Величина R_2 может быть определена экспериментально согласно формуле

$$R_2 = \frac{\Delta U}{\Delta I}, \quad (5)$$

где ΔU – изменение обратного напряжения при увеличении обратного тока с 10 до 20 мА.

Результаты и их обсуждение

Диоды Шоттки с ионно-легированным кольцом. При измерении электрических параметров диодов Шоттки с размером кристалла $0,76 \times 0,76$ мм² с номинальным обратным напряжением 45 В величина $U_{R\max}$ составила порядка 50 В, величина R_2 – порядка 40 Ом, а для номинального обратного напря-

жения 100 В величина $U_{R_{\max}}$ составила порядка 120 В, а величина R_2 – порядка 300 Ом. Данные значения $U_{R_{\max}}$ и R_2 использовали для расчетов максимально допустимых потенциалов U_p в соответствии с формулами (1–4). Сравнительные результаты расчетов величины U_p и испытаний диодов Шоттки по методу ИЕС 61000-4-2 представлены на рисунках 4, а, б. Как видно из приведенных зависимостей, отказ структур диодов Шоттки с ионно-легированным охранным кольцом вследствие воздействия импульсов РЭС отрицательной полярности в большей мере соответствует случаю 3, то есть протекание тока разряда происходит не по всей площади p - n -перехода охранного кольца, а через горячие точки, занимающие менее 50 % его общей площади. Данный вывод подтверждается результатами исследований фотонной эмиссии кристаллов диодов Шоттки с номинальным обратным напряжением 100 В, результаты которых представлены на рисунках 5, а, б.

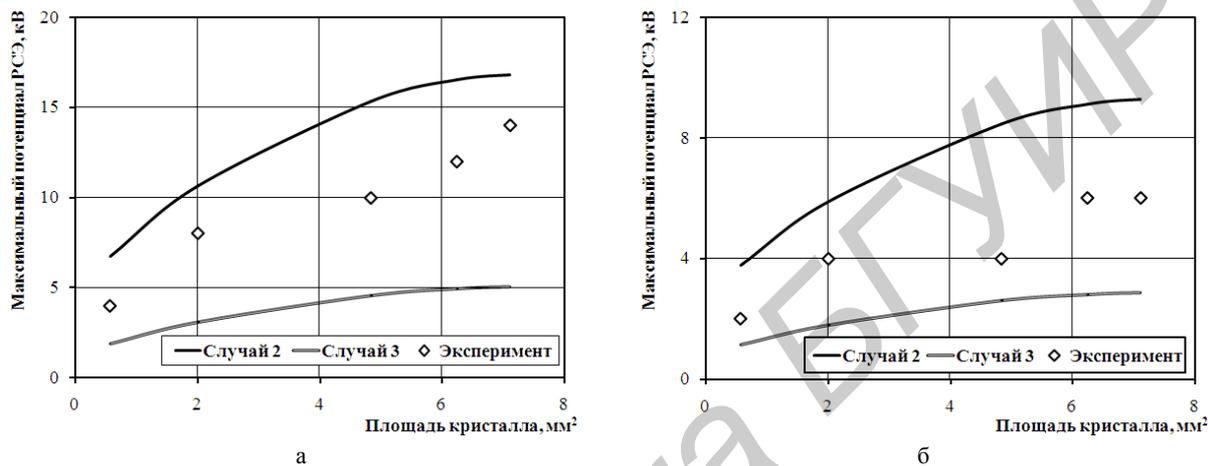


Рисунок 4 – Зависимости допустимых потенциалов импульсов РЭС отрицательной полярности и испытаний диодов Шоттки с ионно-легированным охранным кольцом от площади кристалла: а – номинальное обратное напряжение 45 В; б – номинальное обратное напряжение и 100 В



Рисунок 5 – Локализация мест выделения тепла в структурах диодов Шоттки с ионно-легированным охранным кольцом с номинальным обратным напряжением 100 В: а – обратное смещение 120 В; б – обратное смещение 125 В

Как видно из рисунков 5, а, б, основная энергия при пробое ионно-легированного охранного кольца локализуется в области его закруглений. В рассеянии энергии лавинного пробоя участвует менее 50 % площади охранного кольца, что объясняется в первую очередь относительно большой величиной поверхностного сопротивления p -слоя охранного кольца, достигающей 1000 Ом/кв. Таким образом, ток лавинного пробоя практически не растекается по всему охранному кольцу, а преимущественно локализуется в местах его закругления.

РЭМ-исследования структур диодов Шоттки, отказавших после испытаний на устойчивость к статическому электричеству (СЭ) (рис. 6, а, б), также показывают, что разрушение диодной структуры, как правило, происходит в области закругления охранного кольца.

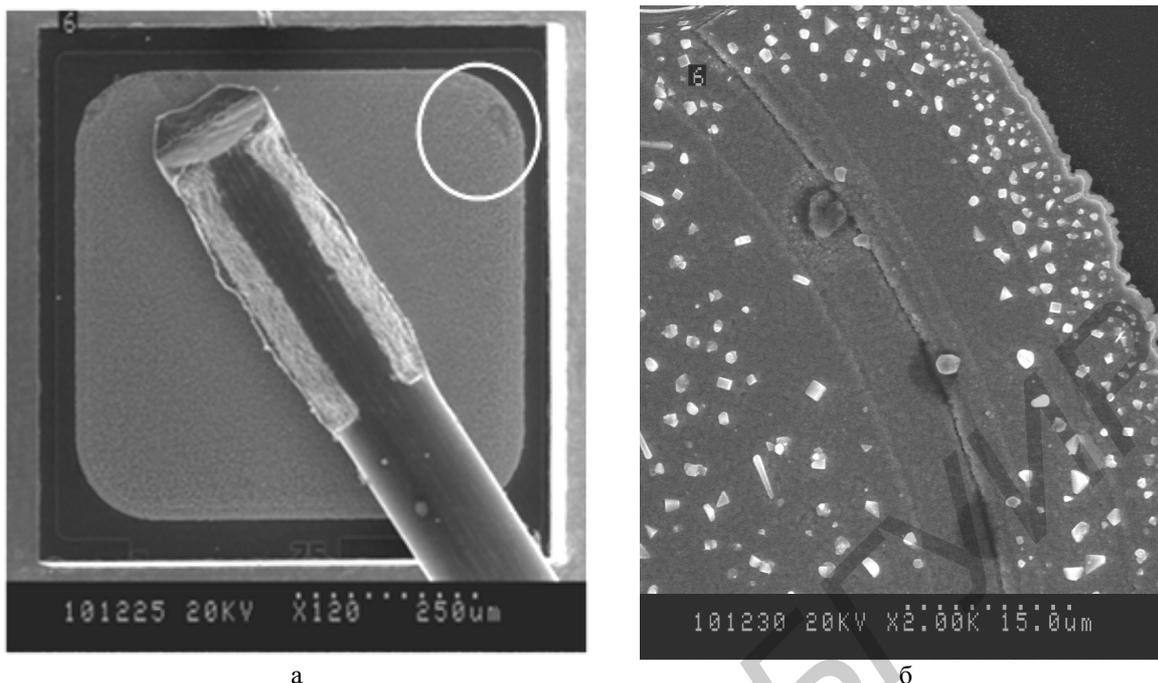


Рисунок 6 – РЭМ кристалла диода Шоттки, отказавшего после воздействия РЭС:
 а – общий вид кристалла, б – повреждения в области закругления охранного кольца

Анализ топологии охранного кольца. При анализе топологии охранного кольца (рис. 7) можно выделить четыре участка, отличающихся напряжением лавинного пробоя:

– **участок I** является плоским *p-n*-переходом охранного кольца, конфигурация которого полностью совпадает с конфигурацией маски, через которую оно формировалось, а напряжение лавинного пробоя данного участка будет описываться формулой [2]:

$$U_{R\max} = 60 \left(\frac{E_g}{1,1} \right)^{3/2} \left(\frac{N_D}{10^{22}} \right)^{-3/4}, \quad (6)$$

где E_g – ширина запрещенной зоны, N_D – концентрация доноров в полупроводнике;

– **участок II** является цилиндрическим *p-n*-переходом, образующимся за счет боковой диффузии примеси на прямолинейных участках охранного кольца. Напряжение лавинного пробоя данного участка будет определяться следующим выражением [5]:

$$\frac{V_{GY}}{V_B} = \left[\frac{1}{2} (\eta^2 + 2\eta^{6/7}) + \ln(1 + 2\eta^{-8/7}) - \eta^{6/7} \right], \quad (7)$$

где V_{CY} – напряжение лавинного пробоя цилиндрического *p-n*-перехода, V_B – напряжение лавинного пробоя плоского *p-n*-перехода, η – отношение глубины залегания *p-n*-перехода x_j к ширине обедненного слоя при пробое W_m ;

– **участок III** образован внутренней частью полутора, радиус вращения которого равен внутреннему радиусу закругления охранного кольца (по маске), а радиус окружности равен глубине залегания *p-n*-перехода. Очевидно, что совокупность всех участков III охранного кольца составит внутреннюю часть полутора, а напряжение пробоя *p-n*-перехода охранного кольца данной конфигурации будет больше, чем у цилиндрического перехода;

– **участок IV** образован наружной частью полутора, радиус вращения которого равен наружному радиусу закругления охранного кольца (по маске), а радиус окружности равен глубине залегания *p-n*-перехода. Как и в предыдущем случае, очевидно, что совокупность всех участков IV охранного кольца составит наружную часть полутора, а напряжение пробоя *p-n*-перехода охранного кольца данной конфигурации будет меньше, чем у цилиндрического перехода.

Таким образом, можно утверждать, что наиболее чувствительным к воздействию РЭС отрицательной полярности элементом конструкции диода Шоттки является наружная часть области закругления охранного кольца, которая отличается наименьшим напряжением лавинного пробоя, что и было подтверждено экспериментально.

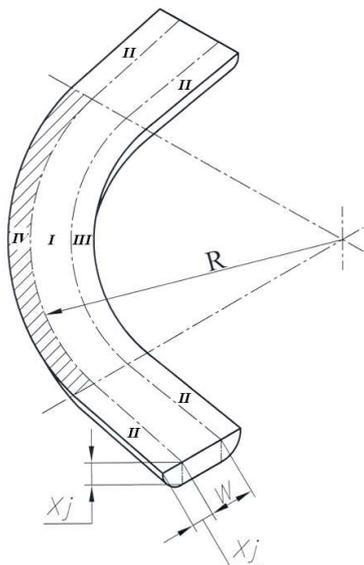


Рисунок 7 – Фрагмент топологии охранного кольца:
R – внешний радиус закругления охранного кольца,
W – ширина охранного кольца, x_j – глубина залегания *p-n*-перехода; **I** – участок охранного кольца с плоским *p-n*-переходом; **II** – участок охранного кольца с цилиндрическим *p-n*-переходом; **III** – участок охранного кольца с внутренней стороны изгиба; **IV** – участок охранного кольца с наружной стороны изгиба

Расчет дифференциального сопротивления. Если представить дифференциальное сопротивление в виде геометрического тела с известной длиной l площадью поперечного сечения S_{dif} , то очевидно, что его электрическое сопротивление будет определяться известной формулой:

$$R_2 = \rho \frac{l}{S_{dif}}, \quad (8)$$

где ρ – удельное сопротивление материала. Исходя из структуры диода Шоттки (рис. 1) очевидно, что длина l будет выражаться через разность между толщиной эпитаксиального слоя d_{N-} и глубиной охранного кольца x_j . В свою очередь, удельное сопротивление ρ в формуле (8) будет определяться удельным сопротивлением эпитаксиального слоя ρ_{N-} . С учетом сказанного выше формула (8) может быть преобразована:

$$R_2 = \rho_{N-} \frac{d_{N-} - x_j}{S_{dif}}. \quad (9)$$

С помощью формулы (9) можно экспериментально определить площадь поперечного сечения дифференциального сопротивления:

$$S_{dif} = \rho_{N-} \frac{d_{N-} - x_j}{R_2}. \quad (10)$$

С другой стороны, площадь области IV охранного кольца определяется согласно формуле

$$S_{IV} = \pi \left((R + x_j)^2 - R^2 \right). \quad (11)$$

Сравнительные результаты теоретических расчетов значений параметра S_{IV} по формуле (11) и определенных экспериментально значений параметра S_{dif} по формуле (10) для диодов Шоттки с ионно-легированным охранным кольцом различной топологии и номинальным обратным напряжением представлены в таблице 1.

Как видно из таблицы 1, величина дифференциального сопротивления не зависит от размеров охранного кольца и его ширины, а при одинаковой глубине залегания *p-n*-перехода определяется его внешним радиусом закругления. При этом для всех исследованных случаев площадь сечения дифференциального сопротивления оказалась на 10–30% меньше участка IV охранного кольца. Данный факт также

указывает на неполное задействование площади ионно-легированного охранного кольца при прохождении через диод Шоттки импульсов РСЭ отрицательной полярности.

Таблица 1 – Сравнительные результаты расчетов площади сечения дифференциального сопротивления S_{dif} и участка IV ионно-легированного охранного кольца S_{IV}

Эпитаксиальная структура	Размеры контакта внутри охранного кольца, мкм	Внешний радиус закругления охранного кольца, мкм	Ширина охранного кольца, мкм	x_j , мкм	R_2 , Ом	S_{dif} , мкм ²	S_{IV} , мкм ²
5,0 КЭФ 0,6	560×560	100	18	1,05	38,6	614	663
5,0 КЭФ 0,6	1420×1420	200	20	1,05	23,5	1021	1259
5,0 КЭФ 0,6	1752×1752	280	24	1,05	17,8	1345	1761
5,0 КЭФ 0,6	2261×2261	232,5	32	1,05	19,6	1236	1463
9,0 КЭФ 2,5	560×560	100	18	1,15	293	670	726

Для дальнейших расчетов параметры S_{dif} и S_{IV} полагали тождественными друг другу. В таком случае зависимость (4) для диодов Шоттки с ионно-легированным охранным кольцом с учетом критерия (2), а также формул (9) и (11) может быть представлена в виде

$$U_p = \frac{\sqrt{4U_{R_{max}}^2 + \frac{40 \cdot 180,97 \rho_{N-S}(d_{N-} - x_j)}{\pi((R+x_j)^2 - R^2)}} - 2U_{R_{max}}}{2 \frac{d_{N-} - x_j}{\pi((R+x_j)^2 - R^2)}} \left(R_1 + \frac{d_{N-} - x_j}{\pi((R+x_j)^2 - R^2)} \right) + U_{R_{max}} = \tag{12}$$

$$= \frac{\sqrt{4U_{R_{max}}^2 + \frac{1030,52 \rho_{N-S}(d_{N-} - x_j)}{\pi((R+x_j)^2 - R^2)}} - 2U_{R_{max}}}{2 \frac{d_{N-} - x_j}{\pi((R+x_j)^2 - R^2)}} \left(R_1 + \frac{d_{N-} - x_j}{\pi((R+x_j)^2 - R^2)} \right) + U_{R_{max}}$$

Диффузионно-легированное охранное кольцо. Сравнительные результаты экспериментального определения параметра S_{dif} и теоретического расчета S_{IV} (табл. 2) для диодов Шоттки с диффузионно-легированным охранным кольцом с размером кристалла 0,76×0,76 мм² и номинальными обратными напряжениями 45 и 100 В показывают их достаточно хорошее совпадение. Таким образом, можно сделать вывод, что в формировании дифференциального сопротивления принимает участие только область наружного закругления охранного кольца, причем данный феномен не зависит от технологии формирования охранного кольца. Это также свидетельствует о пригодности формул (9) и (11) для расчета значений дифференциального сопротивления.

Таблица 2 – Сравнительные результаты определения параметров S_{dif} и S_{IV}

Эпитаксиальная структура	Размеры контакта внутри охранного кольца, мкм	Внешний радиус закругления охранного кольца, мкм	Ширина охранного кольца, мкм	x_j , мкм	R_{dif} , Ом	S_{dif} , мкм ²	S_{IV} , мкм ²
5,0 КЭФ 0,6	560×560	100	18	1,32	27,3	809	834
9,0 КЭФ 2,5	560×560	100	18	1,43	197	961	904

Сравнительные результаты расчетов величины U_p в соответствии с формулами (1)–(4), (9), (11) и испытаниями диодов Шоттки с диффузионно-легированным охранным кольцом с номинальными обратными напряжениями 45 и 100 В по методу ИЕС 61000-4-2 представлены на рисунках 9, а, б.

Как видно из рисунка 9, отказ диодов Шоттки, с диффузионным охранным кольцом при испытаниях импульсами РСЭ отрицательной полярности в большей мере соответствует случаю 2, то есть, протекание разрядного тока происходит по всей площади охранного кольца. Данный вывод подтверждается также результатами фотоэмиссионных исследований локализации тепловых потоков в диодных структурах при обратном смещении (рис. 10 а, б). Как видно из рисунков 10 а, б, наблюдаемая фотонная эмиссия распределена равномерно по площади охранного кольца. Данный результат подтверждает факт влияния сопротивления охранного кольца на равномерность протекания тока пробоя по его площади, и, как следствие, на устойчивость диодных структур к РСЭ.

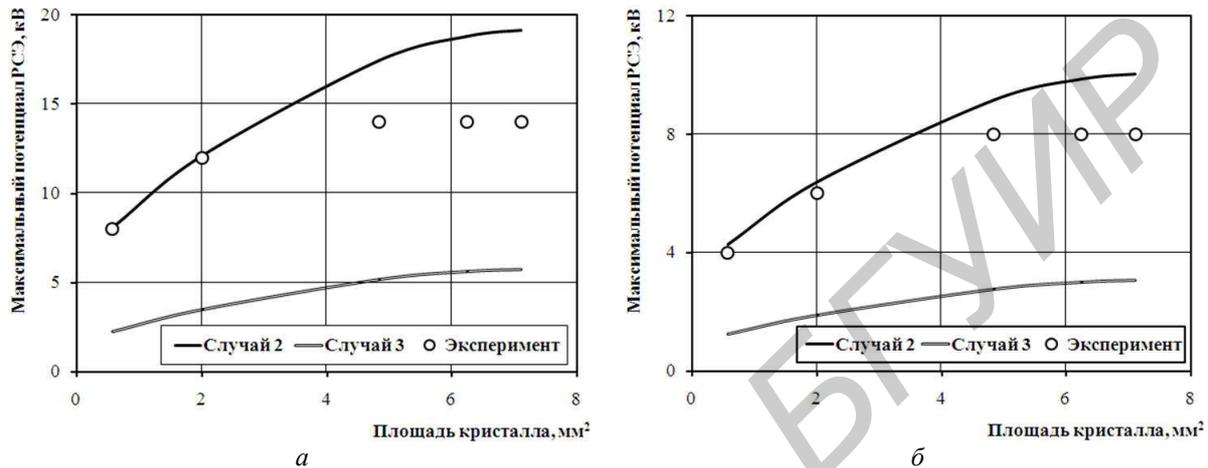


Рисунок 9 – Сравнительные результаты расчетов допустимых потенциалов импульсов РСЭ отрицательной полярности и испытаний диодов Шоттки с диффузионным охранным кольцом: а – номинальное обратное напряжение 45 В, б – номинальное обратное напряжение 100 В

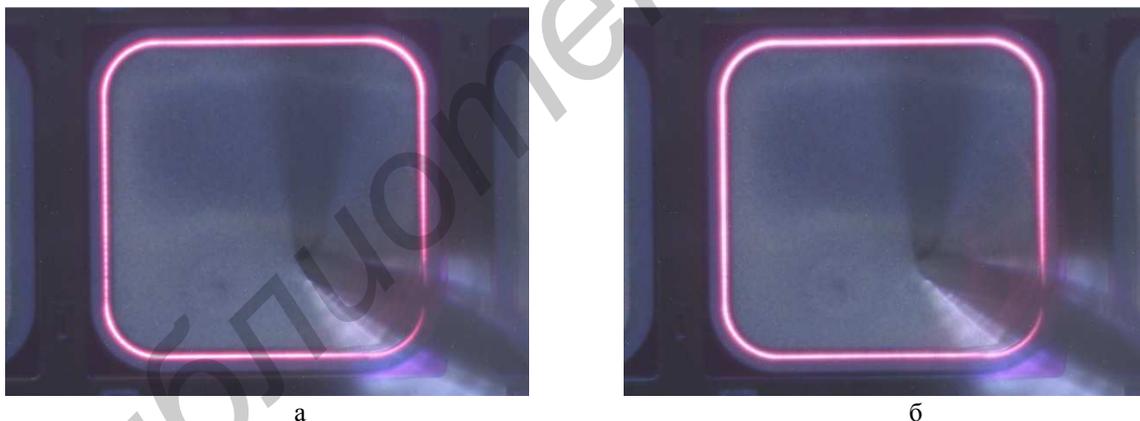


Рисунок 10 – Локализация мест выделения тепла в структурах диодов Шоттки с диффузионно-легированным охранным кольцом с номинальным обратным напряжением 100 В: а – обратное смещение 120 В, б – обратное смещение 125 В

Учитывая, что для диодов Шоттки с диффузионно-легированным охранным кольцом применим критерий Вунша-Белла согласно формуле (1), то с учетом формул (1, 3, 4, 9, 11) справедливо следующее выражение для расчета максимально допустимого потенциала РСЭ:

$$U_P = \frac{\sqrt{4U_{R \max}^2 + \frac{10305,2\rho_{N-S}(d_{N-} - x_j)}{(R+x_j)^2 - R^2}} - 2U_{R \max}}{2 \frac{d_{N-} - x_j}{\pi((R+x_j)^2 - R^2)}} \left(R_1 + \frac{d_{N-} - x_j}{\pi((R+x_j)^2 - R^2)} \right) + U_{R \max} \quad (13)$$

Из сравнения формул (12) и (13) видно, что при прочих равных параметрах диффузионно-легированное охранное кольцо обеспечивает более чем трехкратный запас по величине допустимого потенциала РСЭ. Увеличению запаса по потенциалу РСЭ при неизменных параметрах топологии диода Шоттки способствует увеличение глубины залегания p - n -перехода, а также уменьшение толщины и удельного сопротивления эпитаксиального слоя. Однако три последних параметра непосредственно влияют на запас по параметру U_{Rmax} , поэтому их варьирование должно проводиться с учетом данных условий. Повышению запаса устойчивости к РСЭ способствует увеличение площади и внешнего радиуса закругления охранного кольца, но при варьировании данного параметра необходимо учитывать изменение площади активной структуры диода Шоттки, непосредственно определяющей прямое падение напряжения.

Выводы. Таким образом, на основании аналитических расчетов и экспериментальных исследований было установлено, что:

- количественные зависимости максимально допустимых потенциалов РСЭ диодов Шоттки с ионно-легированными и диффузионно-легированными охранными кольцами в соответствии со стандартом испытаний IEC 61000-4-3-2009 на основе модели теплового повреждения полупроводниковых приборов Вунша – Белла, учитывающие площадь охранного кольца, глубину залегания и внешний радиус закругления охранного кольца, а также глубину и удельное сопротивление эпитаксиального слоя;
- диффузионно-легированное кольцо характеризуется трехкратным запасом устойчивости к воздействию РСЭ по сравнению с ионно-легированным охранным кольцом, что обусловлено на порядок меньшим поверхностным сопротивлением p -слоя, что обеспечивает равномерное протекание разрядного тока без образования горячих точек;
- повышению запаса устойчивости диодов Шоттки с охранным кольцом способствует увеличение глубины залегания p - n -перехода охранного кольца, уменьшение толщины и удельного сопротивления эпитаксиального слоя, увеличение площади и радиуса внешнего закругления охранного кольца;
- установленные закономерности позволяют определять конструктивные параметры проектируемых диодов Шоттки с заданными размерами кристалла, номинальным обратным напряжением и требованиями к стойкости к импульсам электростатических разрядов напряжением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попов, С. Диоды Шоттки для преобразовательной техники / С. Попов // Электронные компоненты. – 2002. – № 3. – С. 35–38.
2. Зи, С.М. Физика полупроводниковых приборов : в 2 кн. / С.М. Зи. – М. : Мир, 1984. – Кн. 1. – 455 с.
3. Повышение надежности диодов Шоттки при воздействии разрядов статического электричества / В.А. Солодуха [и др.] // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2012. – № 5. – С. 22–26.
4. Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электростатическим разрядам. Требования и методы испытаний : ГОСТ Р 51317.4.2-99 (МЭК 61000-4-2-95). – введ. 24.12.1999. – М. : Изд-во стандартов, 2000. – 24 с.
5. Dabral, S. Basic ESD and I/O design/ S.Dabral, T.J. Maloney. – NY.: John Wiley&Sons, 1998. – 305 p.
6. Горлов, М.И. Электростатические заряды в электронике/ М.И. Горлов, А.В. Емельянов, В.И. Плебанович.– Минск: Белорусская наука, 2006. – 295 с.
7. Строгонов А., Горлов М. Воздействие электростатического разряда на интегральные микросхемы // Компоненты и технологии. 2008. №3. С. 188–192.
8. Schottky diode with voltage limiting guard band : pat. US4110775, USA : IPC H01L29/48 / T. A. Festa ; applicant T. A. Festa. – № 854848 ; filed 25.11.1977 ; publ. date: 29.08.1978.
9. Laroch, J. R. Design of edge termination for GaN power Schottky diodes / J. R. Laroch[e.a.] // J. of Electronic Materials. – 2005. – Vol. 34. – №4. – P.370–374.
10. Distributed reverse surge guard : pat. US6717229, USA : IPC H01L29/66 / W. R. Buchanan., R. J. Hamerski., W. A. Smith ; applicant Fabtech Inc. - № 10/096203; filed 11.03.2002 ; publ. date: 06.04.2004.
11. Trench-gated Schottky diode with integral clamping diode : pat. US6078090, USA : IPC H01L29/66 / R. K. Williams, S. S. Malikarjunaswamy, J. Korec, W. B. Grabowski ; applicant Siliconix Inc. - № 08/832012; filed 02.04.1997 ; publ. date: 20.06.2000.
12. High voltage, high speed Schottky semiconductor device and method of fabrication : pat. US5027166, USA : IPC H01L29/872 / K. Ohtsuka, Y. Kutsuzawa, K. Ogata, H. Ichinosawa ; applicant Sanken Electric Co., Ltd. - № 277333; filed 29.11.1988 ; publ. date: 25.07.1991.

13. Schottky diode with titanium or like layer contacting the dielectric layer : pat. US4899199, USA : IPC H01L23/52 / H. J. Gould ; applicant Int. Rectifier Corp. - № 537509; filed 30.09.1983 ; publ. date: 06.02.1990.
14. Schottky diode and method of manufacture : pat. US7820473, USA : IPC H01L21/00 / L. Chen, B. E. Kruse, M. Duskin, J. D. Moran ; applicant Semiconductor Components Industries, LLC. - № 11/084524; filed 21.03.2005 ; publ. date: 26.10.2010.
15. Schottky barrier diode, and manufacturing method thereof : pat. JP2009059765, JPN : IPC H01L29/47 / K. Onishi ; applicant Panasonic Corp. - JP20070223793; filed 30.08.2007 ; publ. date: 19.03.2009.
16. Gate controlled Schottky barrier diode : pat. US5258640, USA : IPC H01L29/56 / C-M. Hsieh, L. L. Hsu, P. T. Nguyen, L. F. Wagner ; applicant IBM Corp. - № 939214; filed 02.09.1992 ; publ. date: 02.11.1993.
17. Способ диффузии бора из твердых источников бора при изготовлении полупроводниковых приборов и интегральных микросхем : пат. 10529 Респ. Беларусь: МПК Н 01L 21/02 (2006) / А. С. Турцевич [и др.]; / Афіцыйны бюл. / Нац. Цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2008. №2 – С. 110.
18. Wunch, D.C. Determination of Threshold Failure Levels of Semiconductor Diodes and Transistors Due to Pulse Voltages / D.C. Wunch, R.R. Bell // IEEE Trans. Nuc. Science. – 1968. – Vol. 15.–№. 4. – P. 244-259.
19. Солодуха, В.А. Прогнозирование максимально допустимых потенциалов разрядов статического электричества и их влияние на диоды Шоттки / В.А. Солодуха, В.Л. Ланин, Я.А. Соловьев // Доклады БГУИР. – 2015. –№ 4(90). –С. 80–86.

Поступила 21.09.2015

INCREASING OF STABILITY OF DIODES SCHOTTKY STRUCTURES WITH GUARD RING TO ELECTROSTATIC DISCHARGES

V. SOLODUKHA, V. LANIN, J. SOLOVJOV

The problem of increase of stability of diodes Schottky structures to electrostatic discharges is observed. Application in diodes structure of the ionic-alloyed guard ring provides stability to affecting electrostatic discharges pulses of negative polarity at level 14 kV for diodes structures with nominal return voltage 45 V.