

У ДК 621.382.33

ИМПУЛЬСНЫЕ ДИОДЫ НА ОСНОВЕ БАРЬЕРА ШОТТКИ С ОБЪЕМНЫМ ДЕЛИТЕЛЬНЫМ СЛОЕМ

Гусев В.А., Темнов С.А., Мурзин Д.Г.

Севастопольский национальный технический университет, кафедра электронной техники

Студгородок г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: delt@sevgtu.stel.sebastopol.ua

Предложена структура импульсного диода на основе барьера Шоттки с объемным делительным слоем. Проведенный расчет показал возможность реализации диодов с пробивным напряжением, аналогичным металлургическому p - n переходу

Создание мощных высоковольтных быстродействующих импульсных диодов наносекундного диапазона, способных коммутировать большие токи, является одной из проблем современной энергетической электроники. Возможным решением может быть применение диодов Шоттки. Однако существует ряд проблем, затрудняющих применение этих диодов вследствие низкого пробивного напряжения.

Для создания диодов Шоттки (ДШ) используется переход металл-полупроводник. Поскольку в рассматриваемых диодах нет инжекции неосновных носителей, то нет и таких медленных процессов, как накопление и рассасывание неравновесных носителей в базе. В результате инерционность диодов с выпрямлением на контакте металл-полупроводник определяется величиной барьерной емкости выпрямляющего контакта. Важным преимуществом диодов с выпрямлением на контакте металл-полупроводник по сравнению с диодами на p - n переходах являются также незначительные величины последовательных электрических и тепловых сопротивлений, так как металлический слой по этим свойствам превосходит любой сильно легированный слой полупроводника. В связи с тем, что барьерная емкость и последовательное сопротивление в таких диодах небольшие, соответственно мало и время перезарядки емкости; это дает возможность использовать диоды с выпрямлением на контакте металл-полупроводник в качестве сверхскоростных импульсных диодов.

Так как в ДШ отсутствует накопление неосновных носителей заряда, то ДШ используют в качестве элементов интегральных микросхем, а также в качестве дискретных приборов. Маломощные ДШ изготавливаются на основе кремния и арсенида галлия n -типа и предназначаются для преобразования сигнала СВЧ-диапазона и для использования в импульсных устройствах. Мощные ДШ для силовой полупроводниковой электроники изготавливаются на основе кремния n -типа, имеют рабочие токи до нескольких сот ампер, исключительно высокое быстродействие (по

сравнению с диодами на основе $p-n$ переходов), но низкие рабочие напряжения, не превышающее нескольких десятков вольт.

Низкие рабочие напряжения ДШ прежде всего связаны с наличием краевых эффектов при лавинном пробое барьера Шоттки, которые имеют место на периферии металлического контакта. Дело в том, что с увеличением обратного напряжения увеличивается напряженность электрического поля в области пространственного заряда (ОПЗ) ДШ. При критических полях 300 кВ/см в кремнии начинается ударная ионизация электронно-дырочных пар и их лавинное размножение, приводящее к сильному возрастанию обратного тока перехода [1]. Этот эффект наиболее выражен при слабом легировании полупроводника и приводит к краевому лавинному пробое при очень низких напряжениях (несколько вольт). Для увеличения надежности необходимо создать условия, при которых критическое значение напряженности не будет достигаться на границе раздела металл-полупроводник [2]. Для повышения напряжения пробоя было предложено множество конструкций ДШ: диод с перекрытием металла, диод с диффузионным охранным кольцом, диод с двойным диффузионным охранным кольцом, диод с металлическим охранным кольцом, диод с высокоомным охранным кольцом [3] и т.д. Наиболее удачной и употребительной является структура с охранным $p-n$ переходом. Таким образом, при глубине залегания $p-n$ перехода в несколько микрон удается повысить напряжение пробоя ДШ до нескольких десятков вольт. Дальнейшее повышение требует создания широкого и глубокого охранныго $p-n$ перехода. Однако при больших прямых токах $p-n$ переход сам начинает работать, инжектируя неосновные носители заряда (дырки) в n -область диода. Это приводит к накоплению большого избыточного заряда дырок, что совместно с дополнительной емкостью охранныго $p-n$ перехода ухудшает быстрое действие ДШ.

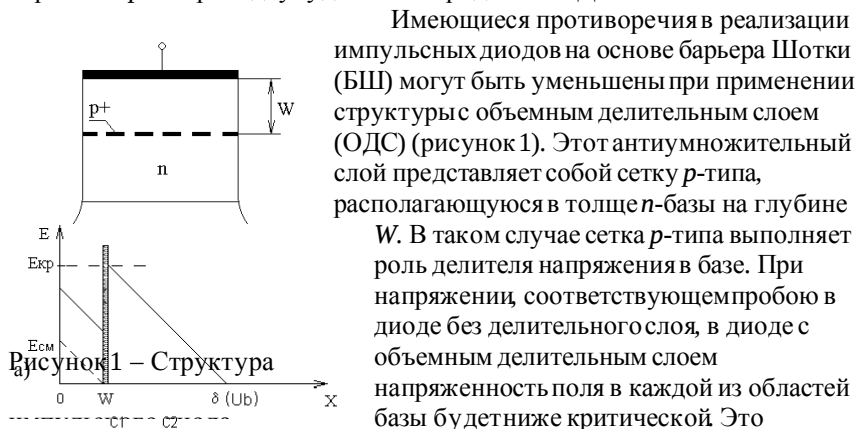


Рисунок 2 – Распределение

свидетельствует о том, что пробой в такой структуре наступит при больших напряжениях, чем в структуре без ОДС. Кроме того, уменьшается влияние краевых эффектов, поскольку зона пробоя смещена в объем прибора.

В электростатическом приближении (отсутствие токов проводимости) решение уравнения Пуассона для структуры с ОДС может быть смоделировано посредством двух последовательно соединенных емкостей (рисунок 2).

Эта модель справедлива при расположении ОДС в пределах $0 \leq W \leq \delta(U_{b0})$, где U_{b0} – напряжение пробоя диода без ОДС, и при напряжении, приложенном к структуре, большем, чем напряжение смыкания первой области. При выполнении этих условий $C1$ является конденсатором с постоянной емкостью, а $C2$ – с переменной, зависящей от напряжения, приложенного ко второй области. Из равенства заряда в первой и второй областях можно определить соответствующий прирост к напряжению смыкания ($\Delta U1$) и напряжение между делительным слоем и n -базой ($\Delta U2$)

$$\begin{cases} \Delta U1 = \frac{C2}{C1 + C2} \cdot V, \\ \Delta U2 = \frac{C1}{C1 + C2} \cdot V, \end{cases}$$

где $V = U - U_{cm}$; $C1, C2$ – емкости соответствующих областей.

Так как $C1 = S \cdot \frac{\epsilon_s}{W}$, $C2 = S \cdot \frac{\epsilon_s}{\delta(\Delta U2)}$, то после преобразования получаем

$$\begin{cases} \Delta U1 = \frac{1}{\frac{\delta(\Delta U2)}{W} + 1} \cdot V, \\ \Delta U2 = \frac{1}{\frac{W}{\delta(\Delta U2)} + 1} \cdot V. \end{cases}$$

Перепишем систему уравнений, введя в них напряжение смыкания

$$U_{cm} = \frac{E_{cm} \cdot W}{2} = \frac{q \cdot N}{\epsilon_s} \cdot \frac{W^2}{2}. \text{ Тогда получаем:}$$

$$\begin{cases} \Delta U_1 = \frac{U_{cm}}{2} \cdot \left[\sqrt{1 + \frac{4 \cdot V}{U_{cm}}} - 1 \right], \\ \Delta U_2 = \frac{U_{cm}}{4} \cdot \left[\sqrt{1 + \frac{4 \cdot V}{U_{cm}}} - 1 \right]^2, \\ U = U_{cm} + \Delta U_1 + \Delta U_2. \end{cases}$$

Исходя из полученной системы, можно записать систему уравнений для полных падений напряжения:

$$\begin{cases} U_{1\Sigma} = U_{cm} + \Delta U_1 = \frac{U_{cm}}{2} \cdot \left[\sqrt{1 + \frac{4 \cdot (U - U_{cm})}{U_{cm}}} + 1 \right], \\ U_{2\Sigma} = \frac{U_{cm}}{4} \cdot \left[\sqrt{1 + \frac{4 \cdot (U - U_{cm})}{U_{cm}}} - 1 \right]^2, \\ U = U_{1\Sigma} + U_{2\Sigma}. \end{cases}$$

В зависимости от расположения ОДС относительно полуширины ОПЗ δ_o можно определить напряжение пробоя в структуре с ОДС. Если ОДС находится ближе к барьеру Шоттки, то в этом случае пробой структуры будет определяться ударной ионизацией на границе ОДС – n -база. В этом случае $\frac{W}{\delta_o} \leq 0,5$.

$$Ub_{\Sigma} = Ub_0 \cdot \left(1 + \frac{W}{\delta_o} + \frac{W^2}{\delta_o^2} \right). \quad (1)$$

В случае если глубина залегания превышает половину ширины ОПЗ $\left(\frac{W}{\delta_o} \geq 0,5 \right)$, пробой происходит на физическом барьере Шоттки, и выражение для максимального напряжения структуры имеет вид:

$$Ub_{\Sigma} = Ub_0 \cdot \left(\frac{3 \cdot W^2}{\delta_o^2} - \frac{6 \cdot W}{\delta_o} + 4 \right). \quad (2)$$

Нетрудно видеть, что при $\frac{W}{\delta_o} = 0,5$ оба выражения дают максимальное значение, которое составляет $1,75 Ub_0$.

Исходя из полученных

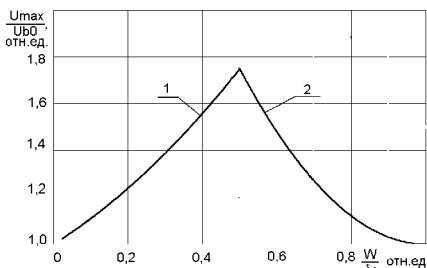


Рисунок 3 – Зависимость максимального напряжения от глубины залегания объемного делительного слоя: 1 – зависимость максимального напряжения при $\frac{W}{\delta_0} \leq 0,5$; 2 – зависимость максимального напряжения при $\left(\frac{W}{\delta_0} > 0,5\right)$

приложенного к структуре диода, от глубины залегания объемного делительного слоя W (рисунок 3).

Полученный результат позволяет оценить напряжение пробоя структуры с объемным делительным слоем, которое превышает или соизмеримо с напряжением пробоя металлургического p - n перехода

Максимальная напряженность поля на барьере Шоттки в структуре ОДС при напряжении пробоя $E_m = E_{кр} \cdot \left(0,5 + \frac{W}{\delta_0}\right)$, при $\frac{W}{\delta_0} \leq 0,5$ и $E_m = E_{кр}$ при $\frac{W}{\delta_0} > 0,5$ определяется из (1) и (2) (рисунок 4).

Как видно из этой зависимости, при выборе глубины залегания ОДС менее $0,5\delta_0$ можно добиться того, что пробой будет наступать в объеме базы диода. Структуры подобного типа обеспечивают высокое обратное напряжение и надежность, аналогичную диодам на основе p - n перехода, при значительно более высоком быстродействии.

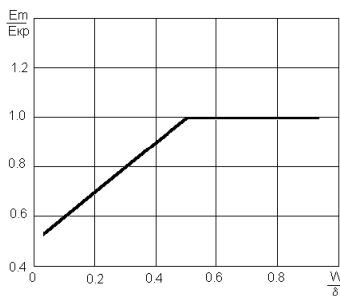


Рисунок 4 – Зависимость максимальной напряженности на барьере Шоттки в структуре с ОДС в режиме лавинного пробоя

выражений для $U_{b\Sigma}$, была построена зависимость максимального напряжения,

Библиографический список

1. Тугов Н.М. Полупроводниковые приборы / Н.М. Тугов, Б.А. Глебов, Н.А. Чарыков. — М.: Энергоатомиздат 1990. — 576 с.
2. Стриха В.И. Физические основы надежности контактов металл-полупроводник в интегральной электронике/ В.И. Стриха, Е.В. Бузанева — М.: Радио и связь, 1987. — 256 с.

3. Зи С. Физика полупроводниковых приборов / С. Зи. — М.: Мир, 1984. — 456 с.

Поступила в редакцию 15.06.2001 г.