

МОДЕЛЬ ДИОДОВ ШОТТКИ С МОП-КАНАВОЧНОЙ СТРУКТУРОЙ

В.С. КОТОВ¹, В.Е. БОРИСЕНКО²

¹ООО “СКТБ «Микроника»”
ул.Тростенецкая, 3, г. Минск, 220033, Республика Беларусь
vladimir.k@micronica-msq.com

²Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
ул. П. Бровки, 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь
borisenko@bsuir.by

Предложена и экспериментально подтверждена модель переноса носителей заряда в мощных кремниевых диодах Шоттки с МОП-канавочной структурой, в которой впервые перенос зарядов через центральную и периферийную область контактов Шоттки разделен на соответствующие составляющие части со своими собственными контактными разностями потенциалов барьера и величиной понижения высоты барьера из-за действия сил изображения и дипольного эффекта.

Ключевые слова: кремний, диод Шоттки, канавочная структура, TMBS, модель диода, пробивное напряжение, прямое напряжение, ток утечки.

Существующие в настоящее время классические представления и модели диодов Шоттки нового поколения: с МОП-канавочной структурой (Trench MOS barrier Schottky diodes, TMBS диодов), не позволяют описать с достаточной точностью экспериментально регистрируемые характеристики (прямое падение напряжения и ток утечки при обратном смещении). Поэтому конструкции и технология изготовления этих диодов пока далеки от оптимальных. Преодолению этого ограничения посвящена данная работа.

В силу конструктивных особенностей TMBS диода электрическое поле в каждом конструктивном элементе диода (ячейке) действует как в зоне формирования барьера Шоттки (перпендикулярно границе раздела металл/полупроводник), так и в структуре поликремний/SiO₂/Si, перпендикулярно боковым стенкам канавок. Поэтому модель диода Шоттки должна учитывать краевые эффекты, обусловленные влиянием дополнительного электрического поля от боковых стенок канавки. В центральной области формирования барьера Шоттки в ячейке (рис. 1) распределение электрического поля можно считать соответствующим классической модели.

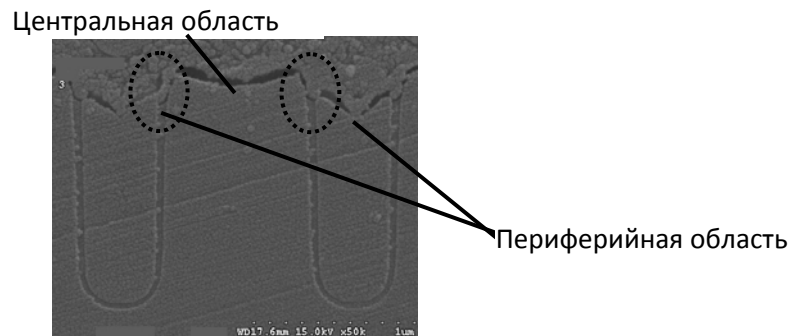


Рис. 1. Расположение центральной и периферийной областей контакта Шоттки в ячейке TMBS диода

Из-за влияния дополнительного электрического поля высота барьера ϕ_B будет разной в центральной и периферийной областях барьера Шоттки..

С учетом вышеизложенного выражение для тока I через TMBS диод в зависимости от приложенного напряжения U_D будет иметь следующий вид [1]:

$$I = \left[S_1 A^* T^2 \exp\left(-\frac{q(\phi_{B1} - \Delta\phi_1)}{kT}\right) + S_2 A^* T^2 \exp\left(-\frac{q(\phi_{B2} - \Delta\phi_2)}{kT}\right) \right] \times \left[\exp\left(\frac{qU_D}{kT}\right) - 1 \right], \quad (1)$$

где S_1 и S_2 – площадь периферийной и центральной контактных областей; ϕ_{B1} , ϕ_{B2} и $\Delta\phi_1$, $\Delta\phi_2$ – контактная разность потенциалов идеального барьера и понижение высоты барьера из-за действия сил изображения и дипольного эффекта соответственно периферийной и центральной областей барьера Шоттки;

Понижение высоты барьера $\Delta\phi$ описывается выражением

$$\Delta\phi = \beta \sqrt{\frac{qE}{4\pi\epsilon_s}} \pm \alpha E, \quad (2)$$

где β - безразмерный коэффициент, который может быть значительно больше единицы для аномального эффекта Шоттки; α - глубина проникновения электрического поля диполя от поверхности контакта Шоттки.

Экспериментальные исследования проводили на TMBS диодах с рабочим напряжением до 100 В и током до 10 А. ВАХ диода при прямом смещении и её сравнение с расчетными данными показаны на рис. 1, при обратном смещении – на рис. 2 [2].

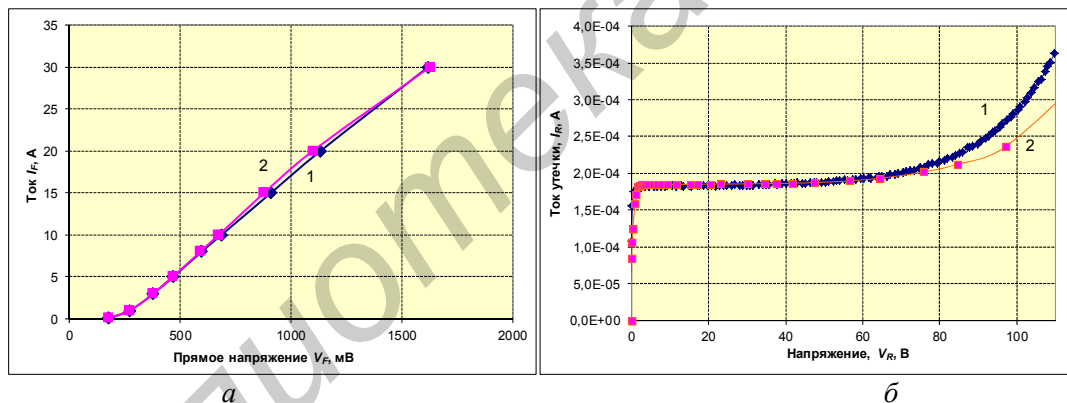


Рис. 2. Экспериментальные (1) и рассчитанные (2) ВАХ TMBS диода:
 а – при прямом смещении, б – при обратном смещении

Результаты численных расчетов в рамках единой модели с высокой степенью точности совпадают с экспериментальными данными во всем диапазоне исследованных ВАХ. Разница между экспериментальными данными и результатами расчета по предложенной модели не превышает 3 % для прямого падения напряжения и 10 % для тока утечки при обратном смещении, что подтверждает корректность модели.

Список литературы

1. Котов В.С., Голубев Н.Ф., Токарев В.В. и др. // Практическая Силовая Электроника. 2013. № 51(3). С. 48–53.
2. Котов В.С., Голубев Н.Ф., Борисенко В.Е.// Доклады БГУИР. 2013. № 5(75). С. 12–16.