

## МОДЕЛЬ ДИОДОВ ШОТТКИ С МОП-КАНАВОЧНОЙ СТРУКТУРОЙ

В.С. КОТОВ<sup>1</sup>, В.Е. БОРИСЕНКО<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Белорусский 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/SiO<sub>2</sub>/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.

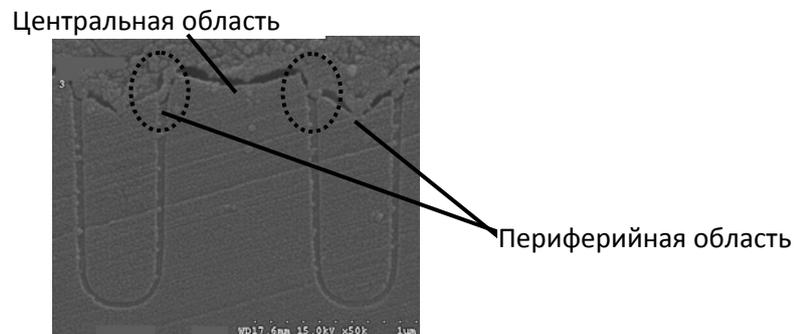


Рис. 1. Расположение центральной и периферийной областей контакта Шоттки в ячейке TMBS диода

Из-за влияния дополнительного электрического поля высота барьера  $\phi_B$  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;  $\phi_{B1}$ ,  $\phi_{B2}$  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  $\beta$  - безразмерный коэффициент, который может быть значительно больше единицы для аномального эффекта Шоттки;  $\alpha$  - 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].

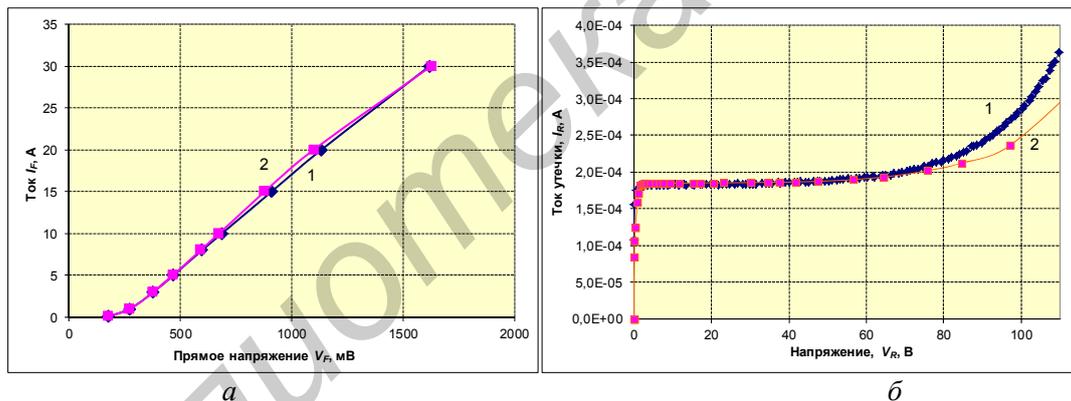


Рис. 2. Экспериментальные (1) и рассчитанные (2) ВАХ TMBS диода:  
 а – при прямом смещении, б – при обратном смещении

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.