

©1995 г.

ВЫСОТА БАРЬЕРА ШОТКИ С ТОНКИМ СИЛЬНО ЛЕГИРОВАННЫМ СЛОЕМ ПОЛУПРОВОДНИКА

В.В. Чижун

Научно-производственное предприятие «Исток»,
141120, Фрязино, Россия

(Получена 31 мая 1994 г. Принята к печати 16 сентября 1994 г.)

Предложена модель расчета вольт-амперных характеристик диодов с неоднородным легированием области пространственного заряда в барьере Шоттки.

Обычно используемая методика расчета параметров барьера Шоттки в структурах с тонким сильно легированным слоем связана с необходимостью машинного моделирования туннелирования электронов в барьере. Полученные в работе [1] результаты по расчету вольт-амперных характеристик (ВАХ) в диодах с тонким слабо легированным слоем позволяют также проводить расчеты ВАХ диодов с сильно легированным слоем полупроводника. Однако найденные решения справедливы лишь для больших положительных смещений на диоде, так как используемое в [1] приближение, заключающееся в том, что максимум туннельного тока должен находиться в первом (слабо легированном) слое, не представляет практического интереса. Это связано с тем, что диоды с тонким сильно легированным слоем необходимы для снижения высоты барьера в них при условии обеспечения малых коэффициентов идеальности. Однако если максимум туннельного тока находится в первом слое (что имеет место в диодах или с толстым n^+ -слоем или диодов, работающих в режиме больших положительных смещений), то коэффициент идеальности определяется сильно легированным слоем и будет иметь большие значения. Если первый слой достаточно тонок, то максимум сместится во второй слой, в результате чего коэффициент идеальности уменьшится.

Проводя расчеты, аналогичные [1], и используя введенные в [1] обозначения, для тока диода с тонким сильно легированным слоем после несложных, но громоздких преобразований получаем

$$I = A^* T^2 S B \exp \left\{ -\frac{\alpha_3 \varphi_B}{\varphi_T} \left[\frac{\varphi_T}{\varphi_{02}} \operatorname{th} \theta_m \cdot (1 - bX^{1/2}) + \frac{b\varphi_T}{\alpha_3 \varphi_{01}} \operatorname{th} \theta_1 \right] \right\},$$

где A^* — постоянная Ричардсона, T — температура диода, S — площадь контакта металл-полупроводник, B — параметр, слабо зависящий от напряжения [2],

$$\theta_m = \frac{\varphi_{02}}{\varphi_T} \frac{1 - b\theta_1\varphi_T/\varphi_{01}}{1 - bX^{1/2}},$$

$$B = \left(\frac{4 \text{th} \theta_m \cdot \pi \varphi_{02} \varphi_B}{\varphi_T^2 \text{ch}^2 \theta_m [1 - bX^{1/2}(1 - \text{sh} \theta_m)/\alpha_3 (\text{ch}^2 \theta_m - \alpha_3)^{1/2}]} \right)^{1/2},$$

$$\alpha_3 = 1 - h^2(1 - 2X)/L_1^2 - 2hK/L_2,$$

$$\varphi_{01} = \hbar \left(N_1/4m^* \varepsilon \varepsilon_0 \right)^{1/2},$$

$$X = N_2/N_1,$$

$$\varphi_{02} = \hbar \left(N_2/4m^* \varepsilon \varepsilon_0 \right)^{1/2},$$

$$\alpha_m/\alpha_3 = 1/\text{ch}^2 \theta_m, \quad \alpha_m = 1/\text{ch}^2 \theta_1,$$

$$K = \left[1 - h^2(1 - X)/L_1^2 \right]^{1/2},$$

$$L_1^2 = (2\varepsilon\varepsilon_0\varphi_B/qN_1), \quad L_2^2 = (2\varepsilon\varepsilon_0\varphi_B/qN_2),$$

$$L_{10}^2 = (2\varepsilon\varepsilon_0\varphi_0/qN_1), \quad L_{20}^2 = (2\varepsilon\varepsilon_0\varphi_0/qN_2),$$

$b = [h(1-X)/L_1 + X^{1/2}K]^2$, $\varphi_B = \varphi_0 - U$, U — напряжение смещения на диоде, φ_0 — высота барьера Шоттки относительно уровня Ферми, h — толщина первого слоя, \hbar — постоянная Планка, m^* — эффективная масса электрона.

Получаемые из ВАХ высота барьера и коэффициент идеальности имеют громоздкий вид. Однако при условии $X < 0.1$ и $h/L_1 < 0.3$, что выполняется в большинстве практически важных случаев ($N_2 < 10^{17} \text{ см}^{-3}$, $N_2 > 10^{18} \text{ см}^{-3}$, $h < 5 \text{ нм}$), возможно их существенное упрощение,

$$1/n = 1/n_1 - hK/(L_{20}n_{10}),$$

$$\varphi = \left[1/n - hK/(L_{20}n_{10}) - h^2(1 - 2X)/(L_{10}^2n_{10}) \right] \varphi_B, \quad (1)$$

где $1/n_1 = (1 - b\varphi_{02}/\varphi_{01})(1 - \theta_m^2/3)$, φ — высота барьера, получаемая из ВАХ, n — коэффициент идеальности, $1/n_{10} = (1 - b\varphi_{02}/\varphi_{01})$. Из полученных зависимостей следует, что, так же как и в случае однородных полупроводников [2], на структурах с тонким сильно легированным слоем, необходимо учитывать коэффициент идеальности при расчете высоты барьера.

Сопоставление параметров диодов, рассчитанных по (1), с полученными в результате численного интегрирования туннельных токов показало их хорошее совпадение (рисунок). Этот факт свидетельствует о верности выбранных приближений и возможности использования полученных зависимостей для расчета снижения высоты барьера с помощью тонкого сильно легированного слоя.

Список литературы

- [1] А.А. Кальфа, В.В. Чикун. ФТП, **26**, 1024 (1992).
- [2] C.R. Crowell, V.L. Rideout. Sol. St. Electron., **12**, 89 (1969).

Редактор Л.В. Шаронова

The height of Schottky barrier with a thin highly-doped layer of a semiconductor

V. V. Chikun

Istok State Research and Production Enterprise, 141120, Fryazino, Russia

A model is proposed for calculating the current-voltage characteristics of diodes having an inhomogeneously doped space charge region in a Schottky barrier.
