

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

А. В. РЖАНОВ

**ВЛИЯНИЕ РЕКОМБИНАЦИИ НА КОНТАКТЕ НА ВОЛЬТ-АМПЕРНУЮ
ХАРАКТЕРИСТИКУ ВЫПРЯМИТЕЛЯ**

(Представлено академиком Д. В. Скобельцыным 27 IV 1954)

Рассматривается система, состоящая из слоя полупроводника электронной проводимости толщины $2d$, ограниченного с одной стороны резким электронно-дырочным переходом, а с другой — неактивным контактом со скоростью поверхностной рекомбинации, равной R_k . Поток электронов через электронно-дырочный переход пренебрегаем. Поток дырок для случая малых концентраций дырок в предположении, что поле в слое практически отсутствует, описывается уравнением:

$$\frac{d^2 p}{dx^2} = \frac{p - p_0}{L^2}, \quad (1)$$

где p_0 — равновесная концентрация дырок, $L = \sqrt{D\tau}$ — длина диффузий дырок, D — коэффициент диффузии, а τ — время их жизни при малых концентрациях неравновесных носителей. Граничные условия нашей задачи могут быть записаны в следующем виде:

$$p_1 = p_0 e^{eV_1/kT} \quad \text{при } x = -d, \quad (2)$$

$$p_2 = p_0 e^{eV_2/kT} \quad \text{при } x = d, \quad (3)$$

$$-D \frac{dp}{dx} = (p - p_0) R_k \quad \text{при } x = d. \quad (4)$$

Здесь V_1 и V_2 — части внешней разности потенциалов, сосредоточенные на электронно-дырочном переходе и неактивном контакте, соответственно. Введение третьего граничного условия (4), определяющего рекомбинацию на контакте, не противоречит уравнению (1), так как распределение внешней разности потенциалов между V_1 и V_2 не задается.

Решение уравнения (1) при граничных условиях (2), (3) и (4) дает закон распределения дырок вдоль слоя. Плотность тока, протекающего через систему, определяется рекомбинацией дырок в объеме и на неактивном контакте и может быть представлена в следующем виде:

$$j = \int_{-d}^d \frac{e(p - p_0)}{\tau} dx + e(p - p_0)|_{x=d} R_k. \quad (5)$$

После интегрирования выражение (5) приводится к виду:

$$j = \frac{ep_0 D}{L} \operatorname{th} \frac{d}{L} \left(1 + \frac{R_k L}{2D \operatorname{sh} \frac{d}{L}} \frac{1}{\operatorname{ch} \frac{d}{L} + L \frac{R_k}{D} \operatorname{sh} \frac{d}{L}} \right) (e^{eV/kT} - 1). \quad (6)$$

Здесь $V \cong V_1 + V_2$ — полная внешняя разность потенциалов, приложенная в выпрямителю.

В том случае, когда полутолщина слоя полупроводника d мала по сравнению с длиной диффузии L , а скорость поверхностной рекомбинации велика ($R_k \gg D/d$), выражение (6) упрощается:

$$j \cong \frac{ep_n D}{L} \frac{d}{L} \left(1 + \frac{L^2}{2d^2}\right) (e^{eV/kT} - 1). \quad (7)$$

Сопоставление выражения (7) с обычной формулой для вольт-амперной характеристики электронно-дырочного перехода показывает, что влияние рекомбинации на неактивном контакте сказывается в существенном увеличении тока насыщения. Действительно, ток насыщения выпрямителя с большой толщиной слоя полупроводника, когда влиянием рекомбинации на контакте можно пренебречь, выражается следующим образом ⁽¹⁾:

$$j_n = \frac{ep_n D}{L}. \quad (8)$$

Наше выражение (7) отличается от (8) множителем:

$$\frac{d}{L} \left(1 + \frac{L^2}{2d^2}\right) \cong \frac{L}{2d}, \quad (9)$$

который по условию значительно больше единицы.

Все полученные результаты относятся к случаю концентраций неосновных носителей зарядов (дырок), много меньших равновесной концентрации основных носителей (электронов), т. е. пригодны для обратных и малых прямых токов через выпрямитель. Случай сравнимых значений концентрации носителей обоих типов труден для рассмотрения в силу появляющейся зависимости величин L и τ от концентраций.

Однако вполне аналогичным способом может быть рассмотрен случай больших концентраций неосновных носителей. При этом величины L' и τ' определяются плотностью центров рекомбинации и не зависят от концентраций ⁽²⁾. Вольт-амперная характеристика для этого случая выражается следующей формулой:

$$j = \frac{ep_n e^{eV/2kT}}{\left[\operatorname{ch} \frac{2d}{L'} + \frac{R_k L'}{D} \operatorname{sh} \frac{2d}{L'}\right]} \left[R_k + \frac{2L' \operatorname{sh}(d/L')}{\tau'} \left(\operatorname{ch} \frac{d}{L'} + \frac{R_k L'}{D} \operatorname{sh} \frac{d}{L'}\right)\right]. \quad (10)$$

Или при условиях $d \ll L'$ и $R_k \gg D/d$:

$$j \cong ep_n \sqrt{\frac{DR_k}{2d}} \left[1 + \frac{2d^2}{L'^2}\right] e^{eV/2kT}. \quad (11)$$

Появление множителя $1/2$ в показателе экспоненты связано, как указывалось, с изменением закона рекомбинации носителей зарядов; кроме того, в предэкспоненциальный множитель выражения (11) для больших прямых токов входит величина скорости рекомбинации на контакте. Таким образом, исследование прямой ветви вольт-амперной характеристики выпрямителя при больших токах может быть использовано для определения поверхностной скорости рекомбинации на контакте.

Физический институт им. П. Н. Лебедева
Академии наук СССР

Поступило
19 IV 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ В. Шокли, Теория электронных полупроводников, 1953. ² W. Shockley, W. Read, Phys. Rev., 87, 835 (1952).