

## О емкостном профилировании вблизи изотипного гетероперехода

© В.И. Зубков, М.А. Мельник, А.В. Соломонов

Санкт-Петербургский электротехнический университет,  
197376 Санкт-Петербург, Россия

(Получена 20 февраля 1997 г. Принята к печати 3 июня 1997 г.)

Предлагается метод аккуратного определения профиля основных носителей заряда вблизи изотипного гетероперехода, учитывающий различную величину диэлектрической проницаемости по разные стороны гетерограницы. Метод основан на коррекции концентрационного профиля носителей, первоначально рассчитанного по экспериментальной вольт-фарадной характеристике.

Вольт-фарадные характеристики являются эффективным инструментом определения профиля основных носителей заряда в полупроводниках. Для изотипных гетеропереходов с помощью  $C-V$ -характеристик удается определить концентрации носителей в областях обогащения и обеднения вблизи гетеробарьера, а также величину встроенного на гетерогранице заряда и величину разрыва зон [1,2]. В общем случае материалы по обе стороны перехода обладают различной величиной диэлектрической проницаемости. Однако этот факт обычно не учитывается при расчете профиля концентрации носителей по измеренной вольт-фарадной характеристике, поскольку заранее неизвестна координата гетероперехода. Таким образом, полученный профиль оказывается отличным от реального.

Мы предлагаем метод аккуратного определения профиля основных носителей заряда вблизи изотипного гетероперехода (ГП), основанный на уточнении первоначально рассчитанного по  $C-V$ -характеристике концентрационного профиля.

Рассмотрим изотипный гетерополупроводник (для определенности  $p-p$ -типа), на одной стороне которого сделан омический контакт, а на другой — выпрямляющий барьер. Узкозонная прослойка имеет ширину запрещенной зоны  $E_1$  и диэлектрическую проницаемость  $\epsilon_1$ , широкозонный слой — соответственно  $E_2$  и  $\epsilon_2$ . При небольшом обратном смещении область объемного заряда (ООЗ) целиком находится в прослойке вблизи выпрямляющего барьера металл-полупроводник, поэтому начальный участок  $C-V$ -характеристики определяется параметрами прослойки ( $E_1, \epsilon_1$ ). При увеличении обратного смещения край области объемного заряда пересекает гетерограницу, включает в себя область объемного заряда вблизи гетероинтерфейса и движется в глубь широкозонного слоя (рис. 1). При этом величина приращения емкости справа от гетерограницы определяется параметрами второго слоя.

Предположим, что гетерограница расположена на расстоянии  $w_0$  от выпрямляющего барьера. Представим тогда полную емкость структуры при обратном смещении  $U_r$  как сумму емкостей двух последовательно соединенных конденсаторов

$$C = \frac{C_1 C_x}{C_1 + C_x}, \quad (1)$$

где  $C_1$  — емкость узкозонной прослойки,  $C_x$  — емкость слоя широкозонного полупроводника толщиной  $x$ .

По формуле плоского конденсатора

$$C_1 = \frac{\epsilon_1 \epsilon_0 S}{w_0}, \quad (2)$$

$$C_x = \frac{\epsilon_2 \epsilon_0 S}{x}.$$

Здесь  $S$  — площадь образца.

Отсюда

$$C = \frac{\epsilon_1 \epsilon_2 \epsilon_0 S}{\epsilon_1 x + \epsilon_2 w_0}. \quad (3)$$

Если ввести некую эффективную диэлектрическую проницаемость  $\epsilon^*$  так, что

$$C = \frac{\epsilon^* \epsilon_0 S}{w_0 + x}, \quad (4)$$

то выражение для  $\epsilon^*$  можно записать в виде

$$\epsilon^* = \frac{w_0 + x}{w_0/\epsilon_1 + x/\epsilon_2}. \quad (5)$$

Величина  $\epsilon_2$ , очевидно, близка к  $\epsilon_1$ , если ООЗ находится вблизи ГП и стремится к  $\epsilon_2$ , когда ООЗ с ростом  $U_r$  перемещается в глубь слоя, граничащего с омическим контактом (рис. 2).

Теперь последовательность определения точного профиля основных носителей заряда в изотипном гетеропереходе сводится к следующему.

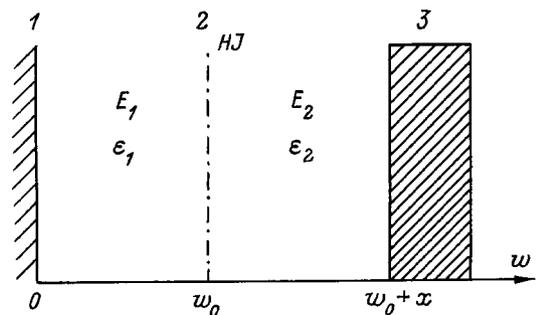


Рис. 1. Схематическое изображение изотипного гетероперехода. Штрихпунктиром отмечено положение гетерограницы. 1 — барьер Шоттки, 2 — область пространственного заряда, 3 — квазинейтральная область.

1. По измеренной  $C-V$ -характеристике рассчитывается концентрационный профиль носителей заряда, используя обычную процедуру численного дифференцирования  $C-V$ -зависимости по формулам [3]

$$p(w) = -\frac{C^3}{q\varepsilon\varepsilon_0S^2} \left(\frac{dC}{dU}\right)^{-1}, \quad (6)$$

$$w = \frac{\varepsilon\varepsilon_0S}{C},$$

принимая  $\varepsilon = \varepsilon_1$ .

2. По полученной зависимости  $p(w)$  находится координата точки максимума, которая соответствует пику узкой области обогащения основными носителями вблизи ГП.

В нулевом приближении можно принять эту координату за толщину плоской  $w_0$ . (Численные расчеты, основанные на решении уравнения Пуассона [1,2,4], показывают, что в случае узкозонной прослойки точка гетероперехода лежит между экстремумами  $p(w)$  примерно в 10 раз ближе к максимуму).

3. Для всех точек  $w_i > w_0$  из формул (1), (2) найдем  $x$ :

$$x_i = \frac{\varepsilon_2\varepsilon_0S}{C_i} - \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_i w_0} \quad (7)$$

и соответственно по формуле (5) рассчитаем  $\varepsilon^*$ . Тогда для каждой точки  $w_i > w_0$  пересчитываются толщина ООЗ и концентрация по формулам

$$w_{icorr} = w_0 + x_i, \quad (8)$$

$$p_{icorr} = p_i \cdot \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon^*}. \quad (9)$$

Скорректированный профиль  $p(w)$  приведен на рис. 3. Там же для сравнения пунктиром изображен профиль, первоначально рассчитанный по формуле (6) без учета изменения  $\varepsilon$ , справа от гетероперехода.

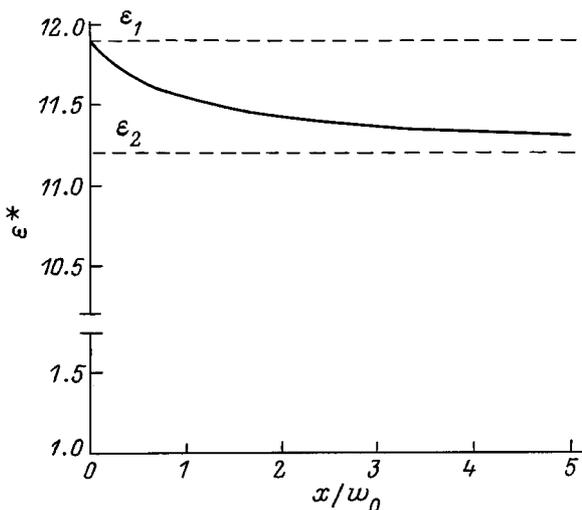


Рис. 2. Зависимость "эффективной" диэлектрической проницаемости от толщины обедненного широкозонного слоя.

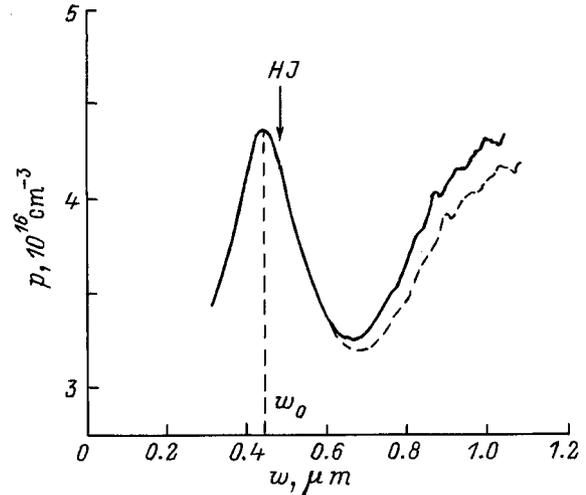


Рис. 3. Исходный (пунктир) и скорректированный (сплошная линия) профили основных носителей заряда вблизи гетероперехода ( $\varepsilon_2 < \varepsilon_1$ ).

Полученный в результате коррекции профиль точнее соответствует реальному распределению носителей заряда в изотипном гетеропереходе по сравнению с распределением, полученным "обычным способом" [формула (6)]. Следует также отметить, что именно его следует использовать также и для сопоставления с результатами моделирования  $C-V$ -характеристик, основанными на численном решении уравнения Пуассона.

## Список литературы

- [1] J.S. Rimmer, M. Missous, A.R. Peaker, *Appl. Surf. Sci.*, **50**, 149 (1991).
- [2] M.O. Watanabe, J. Yoshida, M. Mashita, T. Nakanisi, A. Hojo. *J. Appl. Phys.*, **57**, 5340 (1985).
- [3] Л.С. Берман. *Емкостные методы исследования полупроводников* (Л., Наука. 1972) с. 104.
- [4] М.А. Мельник, А.Н. Пикхтин, А.В. Соломонов, В.И. Зубков, F. Bugge. *Summaries of 23 Int. Symp. on Compound Semicond.* (St. Petersburg, Russia, 1996) p. 62.

Редактор В.В. Чалдышев

## On $C-V$ -profiling near an isotype heterojunction

V.I. Zubkov, M.A. Melnik, A.V. Solomonov  
St. Petersburg Electrotechnical University,  
197376 St. Petersburg, Russia

**Abstract** A method is presented for accurate determination of the majority carrier profile near an isotype heterojunction. The method takes into consideration different values of dielectric constants on the both sides of heterojunction. The carrier profile that has been first calculated by the  $C-V$ -characteristic in further corrected after the maximum of  $p(w)$ .

Fax: (812)-234-98-68

E-mail: zubkov@fvleff.etu.spb.ru