

ВЛИЯНИЕ НЕРАВНОМЕРНОГО ПО ПЛОЩАДИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИМЕСИ НА ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕЕ КОНЦЕНТРАЦИИ

© А.А.Лебедев

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук,
194021 Санкт-Петербург, Россия
(Получена 19 июля 1995 г. Принята к печати 28 июля 1995 г.)

При неравномерном по площади легировании полупроводника концентрация мелкой примеси N , определенная из вольт-фарадных характеристик диодов, всегда меньше средней по площади концентрации примеси. Возможна значительная разница в величине N , полученной при измерении различными методами.

Для определения концентрации примеси в приборах часто используется измерение зависимости емкости p - n -перехода или барьера Шоттки (БШ) от напряжения (вольт-фарадные характеристики — ВФХ). Из решения уравнения Пуассона в одномерном приближении следует, что в случае резкого p - n -перехода или БШ $[1-3]$ концентрация примеси равна

$$N(w) = \frac{2}{q\epsilon_a} \frac{dV}{d(1/C^2)}, \quad (1)$$

где q — заряд электрона, ϵ_a — абсолютная диэлектрическая постоянная полупроводника, V — напряжение на диоде, w — расстояние от p - n -перехода. Значение $N(w)$, определенное по формуле (1), соответствует концентрации ионизованных центров только при их равномерном распределении по площади измеряемой структуры. Если же это условие не выполняется, то измеряемая таким образом концентрация является эффективной N_{ef} . Возможна ошибка, иногда весьма заметная, если эту величину принимают за усредненную концентрацию примеси N_{av} .

Рассмотрим частный случай, когда примесь неравномерно распределена по площади диодной структуры, но ее концентрация не изменяется с удалением от выпрямляющего контакта. Предполагаем также, что все центры в квазинейтральной области диода полностью ионизованы при температуре эксперимента, последовательное сопротивление в любой точке диода мало $[2,4,5]$ и контактная разность потенциалов

$V_c \neq f(N)$. Тогда емкость диода на единицу площади равна

$$C = \sqrt{\frac{q\epsilon_a}{2V}} \sum_{i=1}^n S_i \sqrt{N_i}, \quad (2)$$

где S_i — относительная площадь поверхности диода с локальной концентрацией $N_i = \text{const}$. В этом случае из ВФХ определяется величина

$$N_{ef} = \left[\sum_{i=1}^n S_i \sqrt{N_i} \right]^2. \quad (3)$$

Сравним ее с полной концентрацией заряженных центров в слое объемного заряда.

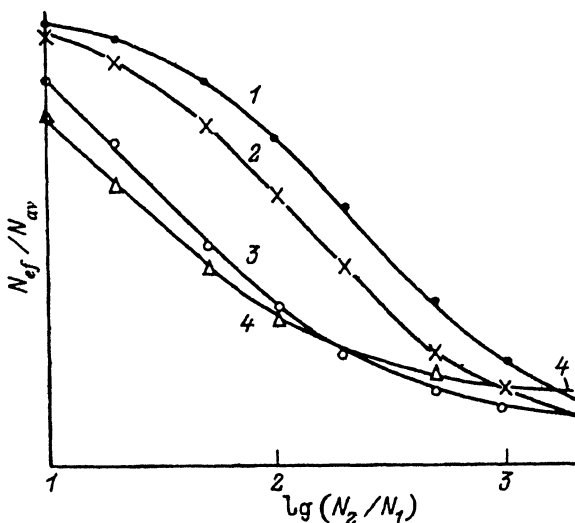
Из математического неравенства Буняковского–Коши [6,7] следует, что

$$\left(\sum_{i=1}^n a_i b_i \right)^2 \leq \sum_{i=1}^n a_i^2 \sum_{i=1}^n b_i^2. \quad (4)$$

Если положить $a = \sqrt{S}$ и $b = \sqrt{S N_i}$, то

$$\left(\sum_{i=1}^n S_i \sqrt{N_i} \right)^2 \leq \sum_{i=1}^n S_i \sum_{i=1}^n S_i N_i = \sum_{i=1}^n S_i N_i, \quad (5)$$

так как первый сомножитель в правой части неравенства (5) тождественно равен 1 по определению S_i . Таким образом, измеряемая из ВФХ концентрация примеси N_{ef} всегда меньше ее средней по площади величины N_{av} .



Зависимость N_{ef}/N_{av} от N_2/N_1 при значениях S_1 , равных: 1 — 0.955, 2 — 0.99, 3 — 0.95, 4 — 0.9

На частном примере оценим влияние неравномерного по площади распределения примеси. Рассмотрим диод с двумя областями с относительной площадью $S_1 \geq S_2 = 1 - S_1$ и соответствующими концентрациями примеси $N_1 \leq N_2$. Тогда отношение N_{ef}/N_{av} равно

$$\frac{N_{ef}}{N_{av}} \leq \frac{(S_1\sqrt{N_1} + S_2\sqrt{N_2})^2}{S_1N_1 + S_2N_2} = \frac{(S_1 + S_2\sqrt{N_2/N_1})^2}{S_1 + N_2/N_1}. \quad (6)$$

На рисунке показаны вычисленные по формуле (6) зависимости $N_{ef}/N_{av} = f(N_2/N_1)$ для нескольких отношений S_1/S_2 . Из рисунка видно, что с ростом N_2/N_1 отношение N_{ef}/N_{av} монотонно уменьшается. Включение небольших слабо легированных областей в сильно легированную матрицу также приводит к уменьшению N_{ef} по сравнению с N_{av} . Зависимость же $N_{ef}/N_{av} = f(S_2/S_1)$ при $N_2/N_1 = \text{const}$ немонотонная с минимумом при

$$S_1 = \frac{N_2/N_1 - \sqrt{N_2/N_1}}{N_2/N_1 - 1}.$$

Из приведенного примера видно, что в случае небольших сильно легированных областей различие между полной концентрацией примеси и измеряемыми из ВФХ значениями N_{ef} может при неблагоприятных условиях достигать порядка. При сравнении N_{av} с величиной N , определенной из измерения удельного сопротивления ρ , следует учитывать, что наибольший вклад в величину ρ дают более высокоомные участки структуры, если низкоомные области распределены более или менее равномерно в виде небольших включений. С другой стороны, известно, что даже небольшие участки с повышенной концентрацией примеси снижают пробивное напряжение диодов. Таким образом, при неравномерном легировании базы диода определенная различными методами концентрация примеси может значительно отличаться.

Список литературы

- [1] Г. Хениш. *Полупроводниковые выпрямители* (М., Изд-во иностр. лит., 1951).
- [2] Л.С. Берман, А.А. Лебедев. *Емкостная спектроскопия глубоких центров в полупроводниках* (Л., Наука, 1981).
- [3] В.В. Батавин, Ю.А. Концевой, Ю.В. Федорович. *Измерение параметров полупроводниковых материалов и структур* (М., Радио и связь, 1985).
- [4] А.А. Лебедев, Н.А. Соболев, В.М. Урунбаев. *ФТП*, 16, 1874 (1982).
- [5] Е.В. Астрова, А.А. Лебедев, А.А. Лебедев. *ФТП*, 19, 1382 (1985).
- [6] Э. Беккенбах, Р. Белламан. *Неравенства* (М., Мир, 1965).
- [7] А.Г. Цыпкин, Г.Г. Цыпкин. *Математические формулы* (М., Наука, 1985).

Редактор Т.А. Полянская

Influence of surface irregular impurity distribution on impurity concentration definition

A.A. Lebedev

A.F. Ioffe Physicotechnical Institute, Russian Academy of Sciences,
194021 St.Petersburg, Russia

The shallow impurity concentration defined by diode voltage-capacitance dependence is always below the average over the surface concentration under irregular semiconductor doping. A significant difference in the concentration values found by different methods is possible.
