

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРИНЫ ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЫ ПОЛУПРОВОДНИКА

Ширина запрещенной зоны может быть найдена с помощью изменений электропроводности или постоянной Холла в зависимости от температуры, а также из спектрального распределения фототока полупроводника.

Цель работы

Определить ширину запрещенной зоны полупроводника по температурной зависимости электропроводности. Сравнить полученный результат с табличным.

Зависимость электропроводности от температуры

Электропроводность полупроводника равна сумме собственной и примесной электропроводности:

$$\sigma = \sigma_i + \sigma_{пр} . \quad (1)$$

При высоких температурах $\sigma_i \gg \sigma_{пр}$. Электропроводность собственного полупроводника

$$\sigma_i = n_i e \mu_n + p_i e \mu_p , \quad (2)$$

где e – заряд электрона, n_i, μ_n, p_i, μ_p – концентрации и подвижности

электронов и дырок соответственно.

Для того чтобы найти зависимость электропроводности от температуры, необходимо выяснить, как изменяются концентрации носителей заряда и их подвижности с изменением температуры. Рассмотрим чистый полупроводник, не содержащий примесей. Пусть ширина его запре-

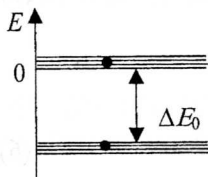


Рис. 1

щенной зоны равна ΔE_0 . Примем наинизший уровень зоны проводимости за начало отсчета энергии (рис. 1).

Для участия в электрическом токе валентный электрон должен перейти из связанного состояния в валентной зоне в свободное состояние в зоне проводимости. Очевидно, что минимальная энергия, необходимая для такого перехода, равна ширине запрещенной зоны ΔE_0 , называемой также энергией ионизации атома полупроводника. Эта энергия может быть сообщена электрону за счет теплового движения. Концентрация электронов в зоне проводимости

$$n_i = \int_0^{\infty} f_F dz = \int_0^{\infty} \left(e^{\frac{E-E_F}{kT}} + 1 \right)^{-1} \frac{4\pi(2m_n^*)^{3/2}}{h^3} E^{1/2} dE, \quad (3)$$

где dz – число разрешенных состояний в интервале энергий dE ; f_F – функция Ферми; m_n^* – эффективная масса электрона; E_F – энергия Ферми.

Так как в собственных полупроводниках число электронов, переходящих в зону проводимости, обычно значительно меньше числа состояний в зоне проводимости, то лишь малая часть состояний занята электронами. (Заметим, что число разрешенных энергетических уровней в два раза меньше числа доступных квантовых состояний.) В этом случае функция Ферми переходит в функцию Больцмана:

$$f_F = f_B = e^{-\frac{E_F - E}{kT}}. \quad (4)$$

Заменяя f_F в (3) и интегрируя, получаем

$$n_i = \frac{2(2\pi m_n^* kT)^{3/2}}{h^3} e^{-\frac{E_F}{kT}}. \quad (5)$$

Аналогично для концентрации дырок получаем

$$p_i = \frac{2(2\pi m_p^* kT)^{3/2}}{h^3} e^{-\frac{\Delta E_0 + E_F}{kT}}. \quad (6)$$

В собственном полупроводнике $n_i = p_i$. Тогда из (5) и (6) находим

$$n_i = \sqrt{n_i p_i} = \frac{2 \left(2\pi \sqrt{m_n^* m_p^* kT} \right)^{3/2}}{h^3} e^{-\frac{\Delta E_0}{2kT}}. \quad (7)$$

Рассмотрим зависимость подвижности от температуры. По определению дрейфовая подвижность равна отношению дрейфовой скорости к напряженности электрического поля

$$\mu_n = \frac{v_n}{E} = \frac{a\tau_n}{E} = \frac{eE\tau_n}{m_n^* E} = \frac{e\tau_n}{m_n^*}, \quad (8)$$

где τ_n – время свободного пробега электрона (время релаксации).

Время релаксации τ_n равно отношению длины свободного пробега к скорости теплового движения электрона:

$$\tau_n = \lambda / v_T. \quad (9)$$

В случае рассеяния носителей заряда на колебаниях решетки (на акустических фононах)

$$\lambda = A / T, \quad (10)$$

$$v_T = \sqrt{\frac{3kT}{m_n^*}}. \quad (11)$$

Из (9), (10), (11) получаем выражение для подвижности электронов:

$$\mu_n = \frac{eA}{\sqrt{3km_n^*}} T^{-3/2} = BT^{-3/2}. \quad (12)$$

Аналогично для подвижности дырок

$$\mu_p = CT^{-3/2}. \quad (13)$$

Из (2), (7), (12), (13) получаем выражение для электропроводности собственного (беспримесного) полупроводника

$$\sigma_i = \sigma_0 e^{-\Delta E_0 / 2kT}. \quad (14)$$

Логарифмируем (14):

$$\ln \sigma_i = \ln \sigma_0 - \Delta E_0 / 2kT . \quad (15)$$

Следовательно, изменение проводимости при изменении температуры определяется из

$$\Delta \ln \sigma_i = - \frac{\Delta E_0}{2k} \Delta \left(\frac{1}{T} \right) . \quad (16)$$

Ширину запрещенной зоны полупроводника определяем из (16):

$$\Delta E_0 = - \frac{2k \Delta \ln \sigma_i}{\Delta(1/T)} , \quad (17)$$

где $k = 8,6 \cdot 10^{-5}$ эВ/К, $\Delta \ln \sigma_i = \ln \sigma_2 - \ln \sigma_1 = \ln \frac{\sigma_2}{\sigma_1}$,

$$\Delta(1/T) = 1/T_2 - 1/T_1 .$$

Значения $\ln \sigma_1$, $\ln \sigma_2$, $1/T_1$, $1/T_2$ определяются по графику зависимости $\ln \sigma$ от $1/T$.

Вычисление электропроводности проводится по рабочей формуле

$$\sigma_i = \frac{I}{U_{34}} \frac{l}{S} . \quad (18)$$

Описание экспериментальной установки

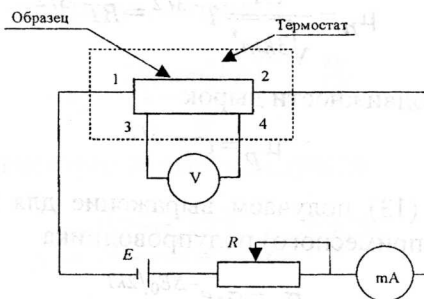


Рис. 2

