

Найти плотность состояний в валентной зоне, полагая, что закон дисперсии имеет вид:

$$\varepsilon(\vec{p}) = \frac{1}{2m_0} \left[Ap^2 \pm \sqrt{Bp^4 + C^2(p_x^2 p_y^2 + p_y^2 p_z^2 + p_z^2 p_x^2)} \right]$$

Найти положение уровня Ферми и температурную зависимость концентрации в собственном полупроводнике в невырожденном случае. Как изменится концентрация электронов при изменении температуры от 200 К до 300 К, если $E_g = (0,785 \text{ эВ} - \xi T)$?

Закон дисперсии дырок в валентной зоне можно представить в виде

$$E(\mathbf{k}) = E_v - \frac{\hbar^2 k^2}{2m_0} \left\{ A \pm B' \left[1 + \delta \cdot 6 \left(\frac{k_x^2 k_y^2 + k_y^2 k_z^2 + k_z^2 k_x^2}{k^4} - \frac{1}{6} \right) \right]^{1/2} \right\}$$

где $B' = (B^2 + C^2/6)^{1/2}$, $\delta = C^2/6B'^2$, а значение выражения в круглых скобках не превосходит 1/6. Используя разложение по δ , оценить эффективные массы плотности состояний для зон «легких» и «тяжелых» дырок в германии ($A = 13,3$; $B = 8,57$; $C = 12,78$), а также эффективную плотность состояний для всей валентной зоны.

Рассчитать зависимость населенности верхних минимумов арсенида галлия (рис. 1) от температуры электронного газа в отсутствие вырождения. Чему равно отношение концентрации электронов верхних минимумов n_{II} к концентрации электронов основного минимума n_I при 300 К и при 1000 К? Эффективную массу плотности состояний для электронов верхнего минимума принять равной $m_{II} = 15 m_I$, $E_s = 0,35 \text{ эВ}$,

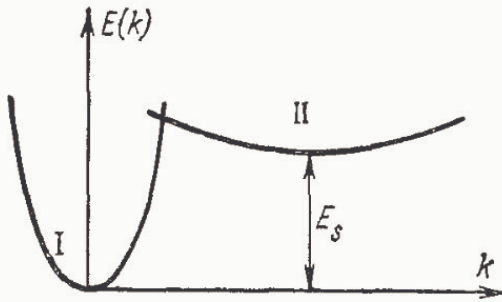


Рис. 1. Неэквивалентные минимумы зоны проводимости.

а полную плотность электронов считать не зависящей от температуры.

В однородный полубесконечный электронный полупроводник ($x \geq 0$) в плоскости $x = 0$ непрерывно инжектируются дырки, так что $\Delta p(0) = 10^{14} \text{ см}^{-3}$. Найти неравновесную концентрацию дырок на расстоянии $x = 4 \text{ мм}$ от поверхности, если $\tau_p = 10^{-3} \text{ с}$, $D_p = 40 \text{ см}^2 \text{ с}^{-1}$.

Найти диффузионную длину дырок, если концентрация неравновесных носителей заряда на поверхности толстого образца германия n -типа (рис. 4) при равномерной по объему генерации пар равна $\Delta p_1 = 10^{13} \text{ см}^{-3}$ при скорости поверхностной рекомбинации $s_1 = 8 \cdot 10^2 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$, а при скорости поверхностной рекомбинации $s_2 = 3 \cdot 10^2 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$ она равна $\Delta p_2 = 2 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$; $\tau_p = 10^{-3} \text{ с}$.

Найти концентрацию неравновесных дырок на освещенной поверхности толстого образца n -Ge, если $s = 5 \cdot 10^2 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$, плотность потока квантов $J = 6 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$, квантовый выход $\eta = 1$, коэффициент поглощения света $\gamma = 10^3 \text{ см}^{-1}$, $\tau_p = 10^{-4} \text{ с}$, $D_p = 49 \text{ см}^2 \text{ с}^{-1}$.

В толстом образце германия n -типа (рис. 4) равномерно по объему генерируются электронно-дырочные пары. Найти скорость поверхностной рекомбинации, если концентрация неравновесных дырок на поверхности образца в 4 раза меньше, чем в объеме; $L_p = 0,2 \text{ см}$, $\tau_p = 10^{-3} \text{ с}$.

На поверхности кремния p -типа существует обедненный слой, причем концентрация электронов считается пренебрежимо малой. Найти толщину области объемного заряда при 300 К, если $\phi_s = 0,25 \text{ В}$, а концентрация мелких полностью понижованных акцепторов в объеме $N_a = 10^{15} \text{ см}^{-3}$.

Определить форму зон, если к полупроводнику с собственной проводимостью нормально к его поверхности приложено постоянное электрическое поле \mathcal{E} настолько слабое, что везде в полупроводнике $e\phi/kT \ll 1$. Найти скачок потенциала на поверхности, если $\mathcal{E} = 160 \text{ В} \cdot \text{см}^{-1}$, $n_i = 2,2 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$, $\epsilon = 16$, $T = 300 \text{ К}$.

Найти поверхностный потенциал для собственного германия при комнатной температуре, если концентрация адсорбированной на его поверхности донорной примеси $N = 10^{12} \text{ см}^{-2}$. Ход потенциала $\phi(x)$ аппроксимировать двумя прямолинейными участками (рис. 10):

$$\phi = \begin{cases} \phi_s - \mathcal{E}x, & 0 \leq x \leq \phi_s/\mathcal{E}_s \\ 0, & x \geq \phi_s/\mathcal{E}_s \end{cases}$$

где напряженность поля \mathcal{E} постоянна. Считать искривление зон на поверхности большим: $e\phi_s/kT \gg 1$, $n_i = 2,2 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$, $\epsilon = 16$.

Для полупроводника, содержащего в объеме полностью ионизованную примесь, найти связь между зарядом на поверхности и поверхностным потенциалом; считать $\varphi|_{x=0} = \varphi_s > 0$.

Для дырочного полупроводника с полностью ионизованными примесями в объеме приближенно вычислить поверхностную проводимость, если при адсорбции акцепторных молекул энергетические зоны изогнулись на 0,25 эВ; $p = 10^{13} \text{ см}^{-3}$, $\epsilon = 12$, $\mu_p^* = 10^3 \text{ см}^2 \text{ В}^{-1} \text{ с}^{-1}$, температура комнатная.

Определить поверхностный потенциал полупроводника с собственной проводимостью, если поверхностная проводимость $G = 10^{-7} \text{ Ом}^{-1}$. Считать всюду в полупроводнике $e\varphi/kT \ll 1$ ($\varphi > 0$); $\mu_n^* = \mu_n = 3800 \text{ см}^2 \text{ В}^{-1} \text{ с}^{-1}$, $\epsilon = 16$, $n_i = 2,2 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$, $T = 300 \text{ К}$.

Определить плотность заряда в поверхностных состояниях, если к электронному полупроводнику нормально к его поверхности прикладывается постоянное электрическое поле $\mathcal{E} = 5 \cdot 10^3 \text{ В} \cdot \text{см}^{-1}$ ($\varphi > 0$), и при этом поверхностная проводимость оказывается равной 10^{-8} Ом^{-1} . Считать, что всюду в полупроводнике выполнено условие $e\varphi/kT \ll 1$; $n = 5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$, $\epsilon = 16$, $\mu_n^* = \mu_n = 3800 \text{ см}^2 \text{ В}^{-1} \text{ с}^{-1}$, $T = 300 \text{ К}$. Считать доноры в полупроводнике полностью ионизованными.

Вычислить комбинированную плотность состояний для зоны проводимости и зоны легких дырок, описываемых законом дисперсии

$$E(\mathbf{k}) = E_c + \frac{1}{2} \left(\pm \sqrt{E_g^2 + 2\hbar^2 k^2 E_g / m(0)} - E_g \right).$$