

Wstęp do Optyki i Fizyki Materii Skondensowanej (półprzewodniki)

Zadanie 1

Znaleźć widmo energii i promieni bohrowskich dla elektronu na domieszce wodoropodobnej w półprzewodniku o względnej przenikalności dielektrycznej ϵ (McKelvey s. 268). Wyprowadź:

$$E_n = -\left(\frac{m^*}{m_0}\right) \frac{13.6 eV}{\epsilon^2 n^2} \quad r_B^* = -\frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{m_0 e^2} \epsilon_s \left(\frac{m_0}{m^*}\right) \approx 0,5 \text{ \AA} \epsilon_s \left(\frac{m_0}{m^*}\right)$$

Zadanie 2

W InSb względna przenikalność dielektryczna wynosi $\epsilon = 18$, masa efektywna elektronu $m_c = 0.015 m_0$. Obliczyć energię jonizacji płytkiego donoru oraz promień orbity dla jego stanu podstawowego. Przy jakiej minimalnej koncentracji płytkich donorów możemy spodziewać się formowania pasma domieszkowego (Kittel s. 256)?

Zadanie 3

Dany jest półprzewodnik o przerwie energetycznej E_g . Pasma przewodnictwa opisane jest zależnością dyspersyjną $E(k) = \hbar^2 k^2 / (2m_c)$, a pasmo walencyjne $E(k) = \hbar^2 k^2 / (2m_h)$. Półprzewodnik został domieszkowany donorami (o koncentracji N_d i energii jonizacji E_d) i akceptorami (o koncentracji N_a i energii jonizacji E_a), przy czym $N_a < N_d$ i $E_d < E_a$. Znaleźć zależność położenia poziomu Fermiego od temperatury w zakresie temperatur, w których koncentracja swobodnych elektronów i dziur jest dużo mniejsza niż koncentracja zjonizowanych domieszek. Wyznaczyć koncentrację swobodnych elektronów i dziur wiedząc, że półprzewodnik jest niezdegenerowany. Prawdopodobieństwo obsadzenia stanu akceptorowego przez elektron jest dane przez $(1 + 2 * \exp((E_a - F)/kT))^{-1}$, a stanu donorowego przez $(1 + 1/2 * \exp((E_d - F)/kT))^{-1}$.

Zadanie 4.

W kryształach krzemu domieszkowanego arsenem zmierzono w temperaturze 300K koncentrację elektronów, która wynosiła $n = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$. Wiedząc, że domieszkowanie jest na tyle słabe, że półprzewodnik można uważać za niezdegenerowany, znaleźć koncentrację dziur w paśmie walencyjnym. Założyć, że pasma są sferyczne i paraboliczne, $m_e^* = 1.06 m_0$, $m_h^* = 0.59 m_0$, $E_g = 1.12 \text{ eV}$. (Hennel, Szuszkiewicz : "Zadania z fizyki atomu, cząsteczki i ciała stałego" zad. IX.13)

Zadanie 5

Obliczyć minimalne przewodnictwo elektryczne w stanie równowagi w półprzewodniku domieszkowanym na typ n z koncentracją N_d i na typ p z koncentracją N_a ; ruchliwości nośników wynoszą μ_n i μ_p (McKelvey ss. 279, 318)?

Zadanie 6

Półprzewodnik o przerwie energetycznej $E_g = 1 \text{ eV}$ i równych masach efektywnych elektronów i dziur $m_c = m_v = m_0$ został domieszkowany na typ p z koncentracją akceptorów $N_A = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$. Poziom akceptorowy jest położony 0.2 eV powyżej krawędzi VB. Pokazać, że przewodnictwo samoistne w $T = 300 \text{ K}$ jest zaniedbywalne. Obliczyć przewodnictwo σ w temperaturze $T = 300 \text{ K}$, jeśli ruchliwość dziur wynosi $100 \text{ cm}^2/(\text{Vs})$ (Ibach s. 433).

Zadanie 5

Fonony. W jednowymiarowym, nieskończonym układzie kulek o masach m i M ($M > m$) połączonych sprężynkami o stałych sprężystości α rozchodzi się fala podłużna. W stanie równowagi odległości pomiędzy kulkami wynoszą a . Znaleźć związek dyspersyjny $\omega(k)$ (naskicować) i podać zakres dozwolonych częstości ω .