

Wstęp do Optyki i Fizyki Materii Skondensowanej (ciało stałe)

Zadanie 1. (na wykładzie)

Wyznaczyć gęstość stanów w przestrzeni k dla trójwymiarowego kryształu o wymiarach $L_1 \times L_2 \times L_3$.

Zadanie 2 (do domu 2D, 1D)

Dla parabolicznego pasma wyznaczyć gęstość stanów dla zakresu energii $(E, E+\Delta E)$ w kryształach 3, 2 i 1 wymiarowym.

Zadanie 3

Dla półprzewodnika typu n całkowicie zdegenerowanego znaleźć zależność położenia poziomu Fermiego od koncentracji elektronów dla niskich temperatur, dla:

- dwuwymiarowego zdegenerowanego półprzewodnika, jeśli zależność dyspersyjna jest dana przez $E(k) = \hbar^2 k^2 / (2m_e)$ (pasma jest sferyczne i paraboliczne)
- dwuwymiarowego zdegenerowanego półprzewodnika, jeśli zależność dyspersyjna jest dana przez: $E(k) = \hbar^2 k_x^2 / (2m_x) + \hbar^2 k_y^2 / (2m_y)$ (pasma niesferyczne, paraboliczne. *Wskazówka:* powierzchnia elipsy o półosiach a i b jest równa πab)
- jednowymiarowego zdegenerowanego półprzewodnika

Zadanie 4 (do domu 2D)

Obliczyć zależność temperaturową potencjału chemicznego w dwuwymiarowym gazie elektronów o gęstości powierzchniowej n (Kittel s. 192).

Zadanie 5 (na wykładzie)

Znaleźć koncentrację dziur w paśmie walencyjnym i elektronów w paśmie przewodnictwa w półprzewodniku samoistnym o przerwie energetycznej E_g . Rozważyć pojedyncze pasmo dziur o masie efektywnej m_h i pojedyncze pasmo elektronów o masie efektywnej m_e . Przyjąć, że oba pasma są sferyczne i paraboliczne oraz, że prawdopodobieństwo obsadzenia stanu jest opisane rozkładem Maxwella-Boltzmana.

Zadanie 6

O ile zmieniło się położenie poziomu Fermiego w półprzewodniku GaAs jeżeli pod wpływem silnego oświetlenia przewodnictwo wzrosło z $8 \times 10^3 (\Omega \text{ cm})^{-1}$ do $8 \times 10^4 (\Omega \text{ cm})^{-1}$? Przyjąć, że w tym czasie nie zmieniły się mechanizmy rozpraszania nośników i że ruchliwość pozostała stała $\mu = 10^4 \text{ cm}^2 / (\text{Vs})$. Przyjąć, że masa efektywna elektronów $m_e^* = 0.06 m_0$, dziur $m_h^* = 0.5 m_0$, przerwa energetyczna GaAs $E_g = 1.50 \text{ eV}$. Obliczenia wykonać dla dwóch przypadków:

- kryształu objętościowego
- cienkiej warstwy epitaksjalnej (w tym wypadku potraktować półprzewodnik jako dwuwymiarowy). Grubość warstwy $d = 100 \text{ \AA}$ (**dla chętnych do domu 2D**)

Przyjąć, że pasma energetyczne są sferyczne i paraboliczne, a temperatura jest na tyle niska, że półprzewodnik można traktować jako zdegenerowany (dla uproszczenia można przyjąć temperaturę $T=0$).

Zadanie 7.

Wiedząc, że w pewnej próbce półprzewodnika zdegenerowanego, w temperaturze 0 K poziom Fermiego leży 37 meV powyżej dna pasma przewodnictwa oraz, że ruchliwość elektronów swobodnych wynosi $\mu = 0.1 \text{ m}^2 / \text{Vs}$ znaleźć:

- koncentrację elektronów swobodnych w tej próbce,
- oporność właściwą próbki.

Masa efektywna rozpatrywanego półprzewodnika wynosi $m^* = 0.1m_0$.

Wskazówka: $m_0 = 9 \cdot 10^{-31}$ kg, $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$ C, $\hbar = 1,055 \cdot 10^{-34}$ Js = $6,6 \cdot 10^{-16}$ eVs

Zadanie 8

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

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

Zadanie 9

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 10

W półprzewodniku GaAs silnie domieszkowanym na typ n zaobserwowano przesunięcie krawędzi absorpcji do wyższych energii – przejścia nie zaczynały się w energii E_g ale w $E_1 = 1.82$ eV (patrz rysunek). Jest to tzw. efekt Bursteina-Mossa wynikający z tego, że przejścia optyczne pomiędzy pasmami możliwe są tylko wtedy, gdy stan początkowy jest, a końcowy nie jest obsadzony. W rozważanym przypadku n-GaAs nie są możliwe przejścia do pasma przewodnictwa na stany już obsadzone elektronami.

Wiedząc, że masa efektywna elektronów $m_e^* = 0.06 m_0$, dziur $m_h^* = 0.5 m_0$, przerwa energetyczna GaAs $E_g = 1.50$ eV, a typowa ruchliwość elektronów $\mu = 10^4$ cm²/(Vs) obliczyć oporność takiego półprzewodnika w przypadku

- c) kryształu objętościowego
- d) cienkiej warstwy epitaksjalnej (w tym wypadku potraktować półprzewodnik jako dwuwymiarowy). $d = 100$ \AA

Przyjmując, że pasma energetyczne są sferyczne i paraboliczne, a temperatura jest na tyle niska, że półprzewodnik można traktować jako zdegenerowany (dla uproszczenia można przyjąć temperaturę $T=0$). Przyjmując wartości $m_0 = 9E-31$ kg, $e = 1.6E-19$ C, $\hbar = 1.1E-34$ Js.

