

## PÓŁPRZEWODNIKI PO RAZ DRUGI

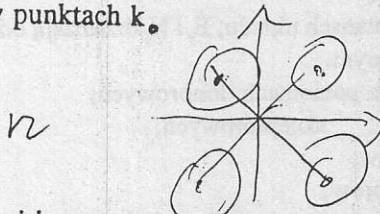
1. Antymonek indu ma stałą dielektryczną  $\epsilon = 17$  i masę efektywną elektronu  $m^* = 0.014m$ . Stosując metodę masy efektywnej, oblicz: (a) energię jonizacji płytkiego poziomu domieszkowego; (b) promień orbity elektronu związanego z donorem (w stanie podstawowym); (c) koncentrację domieszki, przy której orbity elektronów związanych z sąsiednimi atomami zaczynają się pokrywać; ] ?  
Jakie zjawisko zaczyna odgrywać rolę w tym przypadku?

2. Znaleźć gęstość stanów oraz masę efektywną gęstości stanów w następujących przypadkach:

a) sferycznych powierzchni izoenergetycznych z minimum w środku strefy Brillouina

$$E(k) = E_c + \frac{\hbar^2 k^2}{2m^*}$$

b) sferycznych powierzchni izoenergetycznych z minimum w punktach  $k_0$



$$E = E_c + \frac{\hbar^2 (k - k_0)^2}{2m^*}$$

c) elipsoidalnych powierzchni izoenergetycznych

$$E(k) = E_c + \frac{\hbar^2}{2} \left( \frac{k_x^2}{m_1} + \frac{k_y^2}{m_2} + \frac{k_z^2}{m_3} \right)$$

3. Probka krzemu zawiera  $10^{18}$  donorów na  $m^3$ . W jakim zakresie temperatur można traktować ją jako półprzewodnik niedomieszkowany? (przerwa energetyczna wynosi 1.1 eV, koncentracja nośników samoistnych w temperaturze 300K wynosi  $2 \cdot 10^{16} / m^3$ ).

4. Rozważ próbkę półprzewodzącą w temperaturze 300K z  $2.70 \times 10^{16}$  stanów/ $m^3$  w pasmie walencyjnym i  $3.5 \times 10^{16}$  stanów/ $m^3$  w pasmie przewodnictwa. Szerokość przerwy energetycznej wynosi 1.06 eV. Próbkę jest domieszkowana i zawiera  $4.5 \times 10^{11}$  atomów domieszki/ $m^3$ . Potencjał chemiczny znajduje się 0.760 eV ponad wierzchołkiem pasma walencyjnego. Załóż, że krotność poziomu domieszkowego wynosi 2. *Masa niedźwiei 2 - elektr.*

a) ile elektronów na jednostkę objętości znajduje się w pasmie przewodnictwa?

b) ile stanów w pasmie walencyjnym jest pustych?

c) ile elektronów na jednostkę objętości jest związanych na domieszkach?

d) gdzie, względem wierzchołka pasma walencyjnego znajdują się poziomy domieszkowe? ] ?

5. Półprzewodnik zawiera  $N_D$  donorów. W pewnej temperaturze wszystkie stany donorowe są puste. Przyjmij, że koncentracja elektronów w pasmie przewodnictwa samoistnego półprzewodnika w tej samej temperaturze wynosi  $n_i$  i wyprowadź wyrażenie na koncentrację elektronów w pasmie przewodnictwa półprzewodnika domieszkowanego. Ile będzie wynosić koncentracja elektronów gdy  $n_i \gg N_D$ ?

6. Wyznacz temperaturową zależność koncentracji elektronów oraz poziomu Fermiego w półprzewodniku domieszkowanym.

## Półprzewodniki

1. Rozważając półprzewodniki zawsze zakładamy, że pasma przewodnictwa i walencyjne mają kształt paraboliczny  $g(E) \sim E^{\frac{3}{2}}$ . Co usprawiedliwia takie założenie?
2. Wyznacz koncentrację elektronów i dziur w półprzewodniku niedomieszkowanym. Wyznacz poziom Fermiego takiego półprzewodnika.
3. Średnia liczba elektronów w układzie w stanie równowagi termodynamicznej ma postać:

$$\langle n \rangle = \frac{\sum N_j \exp[-\beta(E_j - N_j \mu)]}{\sum \exp[-\beta(E_j - N_j \mu)]}$$

gdzie sumowanie przebiega po wszystkich stanach układu,  $E_j$  i  $N_j$  oznaczają odpowiednio energię i liczbę elektronów w stanie  $j$ , zaś  $\mu$  jest potencjałem chemicznym.

Niech  $n_D$  jest liczbą elektronów na poziomach donorowych;

$p_A$  dziur akceptorowych;

$N_D$  koncentracją donorów;

$N_A$  koncentracją akceptorów;

Zakładając, że poziom donorowy nie może być podwójnie obsadzony, a poziom akceptorowy pusty, wyznacz  $n_D$  i  $p_A$ .

4. A) Pokaż, że jeżeli przyjmiemy, iż energia podwójnie obsadzonego poziomu donorowego  $= 2E_D + \Delta$ , to wyrażenie na  $n_D$  przyjmie postać:

$$n_D = N_D \frac{1 + \exp[-\beta(E_D - \mu + \Delta)]}{\frac{1}{2} \exp[\beta(E_D - \mu)] + 1 + \frac{1}{2} \exp[-\beta(E_D - \mu + \Delta)]}$$

B) Sprawdź, że powyższe równanie sprowadza się do wyniku otrzymanego w poprzednim zadaniu gdy  $\Delta \rightarrow \infty$ .

5. Antymonek indu ma stałą dielektryczną  $\epsilon = 17$  i masę efektywną elektronu  $= 0.014 m$ . Oblicz, w ramach przybliżenia atomu jednoelektronowego: (a) energię jonizacji donora; (b) promień orbity elektronu związanego z donorem (w stanie podstawowym); (c) koncentrację domieszki, przy której orbity sąsiednich atomów zaczynają się pokrywać. Jakie zjawisko zaczyna odgrywać rolę przy takich (i większych) koncentracjach domieszek?

6. Próbka krzemu zawiera  $10^{18}$  donorów na  $m^3$ . W jakim zakresie temperatur można traktować ją jako półprzewodnik niedomieszkowany? ( $E_g = 1.1 eV$ , koncentracja nośników samoistnych w temperaturze  $300K = 2 \cdot 10^{16} m^{-3}$ ).

7. Wiedząc, że koncentracja elektronów w germanie w temperaturze  $300K$  wynosi  $n_1 = 2 \cdot 10^{19} m^{-3}$ , oblicz wartość stosunku masy efektywnej elektronu do masy elektronu swobodnego. Szerokość pasma zabronionego dla germanu  $E_g = 0.66 eV$ . Przyjąć, że poziom Fermiego leży w środku przerwy energetycznej.

8. Wyznacz koncentrację elektronów oraz poziom Fermiego w półprzewodniku domieszkowanym.