Podstawy Fizyki Ciała Stałego II

Fizyka Techniczna, 3 rok, zestaw 5 - półprzewodniki.

1. Wyprowadzić wzór na koncentrację nośników w funkcji temperatury w półprzewodniku samoistnym (dokładniej, na iloczyn np).

2. Na następnej stronie znajduje się kopia strony z podręcznika Kittela ze schematem pasm i masami efektywnymi elektronów i dziur w kilku podstawowych półprzewodnikach. a) Czym jest masa efektywna? b) Wykonujemy pomiar masy efektywnej metodą rezonansu cyklotronowego w polu EM o częstotliwości $f = 24$ GHz. Dla jakich pól magnetycznych spodziewamy się maksimum absorpcji fali radiowej w GaAs?

3. Foton światła o długości fali 500 nm jest zaabsorbowany w GaAs i wzbudza, w drodze przejścia prostego, elektron z pasma walencyjnego ciężkich dziur do pasma przewodnictwa. Obliczyć energię kinetyczną dziury i elektronu w meV, $E_g = 1.42$ eV.

4. Ruchliwość elektronów w czystym germanie w temperaturze 300 K wynosi $\mu_n = 0.38$ m^2/Vs. Znaleźć oporność właściwą tej próbki w temperaturze pokojowej i w $T = 30$ K. Ruchliwość zmienia się wg zależności $\mu = a(kT)^{-3/2}$, $a = const$. Masy efektywne $m_e = 0.56$, $m_h = 0.37$, przerwa energetyczna zmienia się z temperaturą wg równania $E_g = 0.785 - 4 \times 10^{-4}T$ (eV), stosunek ruchliwości elektronów i dziur jest stały i równy 2.1.

5. Wyjaśnić na czym polega efekt Halla. Przy pomiarze efektu Halla na prostopadłościennej próbce w polu magnetycznym 2 T uzyskano napięcie Halla 2 mV przy natężeniu prądu w próbce 500 mA i grubości próbki 3 mm. Jaka jest gęstość nośników w półprzewodniku?

6. Oszacować ile atomów Si w krysztale krzemu należy podstawić atomami B, aby uzyskać krzem typu p o koncentracji nośników domieszkowych 2×10^{17} cm^{-3}. Krzem ma strykturę diamentu, stała sieci 5.43 Å.

7. Przyjmując, że struktura elektronowa InSb daje się dobrze opisać modelem elektronów swobodnych, jeśli zastosuje się przybliżenie masy efektywnej, obliczyć położenie E_F w domieszkowanym InSb typu n oraz p o koncentracjach nośników 10^{18} cm^{-3}. InSb ma strukturę blendy cynkowej (tak jak diament z różnymi atomami na przesuniętych podsieciach), stała sieci $a = 6.48$ Å. Masy efektywne w tabelce na następnej stronie. Dla typu p można pominąć podpasmo dziur lekkich. Przeliczyć E_F na temperaturę.

8. W InSb przerwa energetyczna wynosi 0.23 eV, względna przenikalność dielektryczna $\epsilon = 18$ a masa efektywna elektronu $m_e^* = 0.015$. Korzystając z wodoropodobnego modelu domieszki obliczyć a) energię jonizacji donoru, b) promień orbity donorowej, c) minimalną koncentrację domieszek, przy której orbity donorowe zaczną się przekrywać.

9. Ogniwo fotowoltaiczne ma charakterystykę prądowo-napięciową w postaci przesuniętej charakterystyki diody półprzewodnikowej:
$$I(U) = I_0 \left[\exp(\frac{q_e U}{k_B T}) - 1 \right] - I_l \tag{1}$$
gdzie I_l jest prądem wytwarzanym przez światło. Przyjmując, że średnia energia fotonu pochłanianego przez ogniwo to 2 eV, każdy foton generuje 1 elektron, ogniwo jest kwadratem o boku 10 cm oraz że strumień energii słonecznej wynosi 1 kW/m^2 obliczyć prąd I_l oraz napięcie na ogniwie rozwartym (I = 0). Przyjąć $I_0 = 1$ nA.

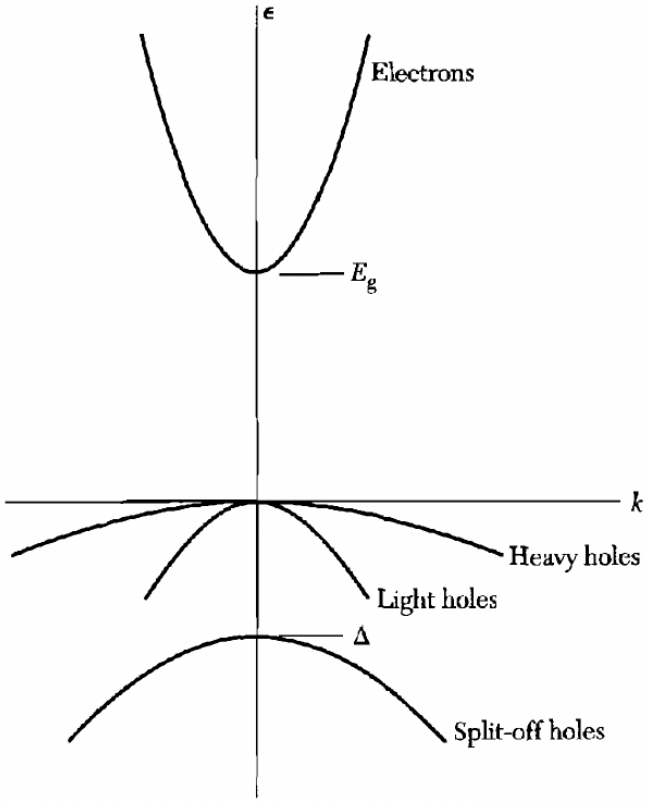

Figure 13 Simplified view of the band edge structure of a direct-gap semiconductor.

Table 2 Effective masses of electrons and holes in direct-gap semiconductors

Crystal	Electron m_e/m	Heavy hole m_{hh}/m	Light hole m_{lh}/m	Split-off hole m_{soh}/m	Spin-orbit Δ, eV
InSb	0.015	0.39	0.021	(0.11)	0.82
InAs	0.026	0.41	0.025	0.08	0.43
InP	0.073	0.4	(0.078)	(0.15)	0.11
GaSb	0.047	0.3	0.06	(0.14)	0.80
GaAs	0.066	0.5	0.082	0.17	0.34
Cu_2O	0.99	—	0.58	0.69	0.13