

Fizica semiconductorilor - examen

26 iunie 2023

Durata examenului este de două ore. Tratați, în scris, următoarele subiecte:

- (a) Se măsoară efectul Seebeck în cazul unui semiconductor. Configurația experimentală este cea indicată în figura 1. Precizați tipul de conducție al semiconductorului (care sunt purtătorii de sarcină majoritari?).

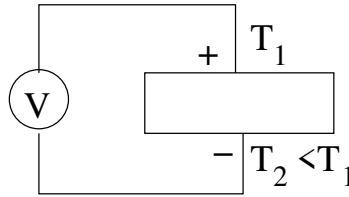


Figura 1: Configurația experimentului de măsurare a coeficientului Seebeck al unui semiconductor.

- (b) Coeficientul Seebeck măsurat la temperatura $T = 30$ K este $S = -2.1$ mV/K. Semiconductorul se află în regim de recapturare a purtătorilor de sarcină liberi majoritari pe centrii de impuritate care controlează densitatea acestor purtători. Se știe că densitatea centrilor de impuritate este $N_{\text{imp}} = 2 \times 10^{15}$ cm⁻³, masa efectivă a densității de stări în banda Bloch relevantă este $m_{\text{ef}} = 0.553m_0$, iar mecanismul dominant de împrăștiere a purtătorilor de sarcină liberi este cel pe fononi acustici ($r = -\frac{1}{2}$). Precizați tipul centrilor de impuritate (donori sau acceptori) și determinați poziția nivelului energetic asociat acestor centri în banda interzisă. Se dau: $h = 6.626 \times 10^{-34}$ J · s, $k_B = 1.38 \times 10^{-23}$ J/K, $m_0 = 9.1 \times 10^{-31}$ kg.
- La momentul $t_1 = 10^{-4}$ s după întreruperea generării omogene de perechi electron-gol, densitatea în exces a purtătorilor de sarcină s-a dovedit a fi de 10 ori mai mare decât la momentul $t_2 = 10^{-3}$ s. Determinați timpul de viață τ al purtătorilor de sarcină în exces, știind că nivelul de excitație este slab ($\Delta n \ll n_0, p_0$), iar recombinarea se face bandă-bandă ($r_n = \gamma(np - n_i^2)$, γ fiind o constantă, iar $n = n_0 + \Delta n$, $p = p_0 + \Delta p$).
- Un semiconductor este iluminat cu lumină puternic absorbită ($\alpha d \gg 1$, $L_{n,p} \ll d$, α este coeficientul de absorbție optică, $L_{n,p} = \sqrt{D_{n,p}\tau_{n,p}}$ este lungimea de difuzie a electronilor, respectiv golurilor, $D_{n,p}$ și $\tau_{n,p}$ sunt coeficienții de difuzie, respectiv timpii de viață ai celor două tipuri de purtători) (Fig. 2). Fluxul luminos incident la suprafața iluminată este Φ_0 . Mobilitatea electronilor este mai mare decât mobilitatea golurilor ($\mu_n > \mu_p$). În condiții staționare, se constată că pe direcția de iluminare (Ox) apare o diferență de potențial, pe care o veți evalua.

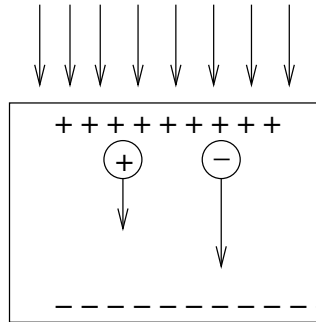


Figura 2: Pe direcția de iluminare a unui semiconductor cu lumină absorbită puternic apare, în condiții staționare, o diferență de potențial.

- (a) Experimentul se face în condiții de circuit deschis (se măsoară o diferență de potențial cu ajutorul unui instrument cu impedanță mare de intrare). Scrieți expresiile densităților de curent de electroni și goluri și determinați câmpul electric local din condiția de circuit deschis (densitatea totală de curent este nulă).
- (b) Scrieți ecuațiile de continuitate pentru cele două tipuri de purtători, în condiții staționare. Câmpul electric este mic, veți neglija termenul de drift în raport cu termenul de difuzie. Condițiile la capete sunt cele standard:

$$\begin{aligned}
 x = 0 & : D_n \left. \frac{d\Delta n}{dx} \right|_{x=0} = s_n \Delta n(0), D_p \left. \frac{d\Delta p}{dx} \right|_{x=0} = s_p \Delta p(0) \\
 x = d & : \Delta n \rightarrow 0, \Delta p \rightarrow 0,
 \end{aligned}$$

în care $s_{n,p}$ sunt vitezele de recombinare superficială pentru electroni și goluri. Calculați distribuția purtătorilor de sarcină în exces $\Delta n(x)$, respectiv $\Delta p(x)$.

- (c) În cele ce urmează veți considera că nivelul de injecție este mic ($\Delta n \ll n_0$, $\Delta p \ll p_0$, n_0 și p_0 fiind densitățile de purtători liberi la echilibru termodinamic). În aceste condiții, evaluați diferența de potențial măsurată pe direcția de iluminare $V = -\int_0^d E(x)dx$. Comentați rezultatul. Consistent cu condițiile la capete indicate mai sus, veți considera că $e^{-\alpha d} \rightarrow 0$, $e^{-\frac{d}{L_{n,p}}} \rightarrow 0$.