Ιωάννης Τσαντίλας
el20883

1ο Φυλλάδιο ασκήσεων
Δομή και Ηλεκτρικές Ιδιότητες Υλικών

Άσκηση Ι

Α) Ο συντελεστής διέλευσης ενός ηλεκτρονίου δίνεται από τον τύπο: $T = T_0 e^{-2ac}$

όπου $T_0 = \frac{16E(V_0-E)}{V_0^2}$, E: ενέργεια ηλεκτρονίου

$c = \sqrt{\frac{2m(V_0-E)}{\hbar^2}}$, V_0: ύψος ενεργειακού φράγματος

m: μάζα ηλεκτρονίου

a: εύρος φράγματος

$$T_0 = \frac{16E(V_0-E)}{V_0^2} = \frac{16 \cdot 0,1(1-0,1)}{1^2} = 1,44$$

$$c = \sqrt{\frac{2m(V_0-E)}{\hbar^2}} = \frac{\sqrt{2 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31}(1-0,1)\, 1,6 \cdot 10^{-19}}}{1,05 \cdot 10^{-34}} =$$

$$= \frac{\sqrt{26,23 \cdot 10^{-50}}}{1,05 \cdot 10^{-34}} = \frac{5,12 \cdot 10^{-25}}{1,05 \cdot 10^{-34}} = 4,87 \cdot 10^{9}$$

$a = 4\,\mathring{A} = 4 \cdot 10^{-10}\, m$

Άρα: $T = 1,44\, e^{-2 \cdot 4,87 \cdot 10^{9} \cdot 4 \cdot 10^{-10}} = 1,44\, e^{-38,96 \cdot 10^{-1}} \Rightarrow$

$$\boxed{T = 0,02926}$$

Β) Τα T_0, c δεν επηρεάζονται από την αλλαγή άρα:

$a' = 12\,\mathring{A} = 12 \cdot 10^{-10}\, m$ και:

$T' = 1,44\, e^{-2 \cdot 4,87 \cdot 10^{9} \cdot 12 \cdot 10^{-10}} = 1,44\, e^{-11,688} \Rightarrow$

$$\boxed{T' = 0,00001208}$$

Γ) Ισχύει πως $J_{εξόδου} = T \cdot J_{εισ} \Rightarrow J_{εισ} = \frac{J_{εξόδου}}{T} = \frac{1,2}{0,02926} = 0,41011\ mA/cm^2$

Άρα η ζητούμενη πυκνότητα ηλεκτρονίων: $\frac{0,41011}{1,6 \cdot 10^{-19}} = \boxed{0,256 \cdot 10^{19}\ \frac{mA}{cm^2 \cdot C}}$

Άσκηση II

• Ορισμός μικρής διόδου:

Έστω ότι τα μήκη των ουδέτερων περιοχών p,n είναι μεγάλα σε σχέση με τα μήκη διάχυσης των φορέων L_n, L_e. Στη δίοδο μικρού μήκους τα μήκη των ουδέτερων περιοχών είναι μικρότερα από τα μήκη διάχυσης των φορέων, δηλαδή: $l_p < L$ και $l_n < L_n$

• Απόδειξη:

Ισχύει πως $p_n(x = W_n) = p_{n0}$ και $\Delta p_n(x = W_n) = 0$

$\Delta p_n(x=0) = \Delta p_n(0) = A + B$

$\Delta p_n(x = W_n) = A e^{-W_n/L_p} + B e^{W_n/L_p} = 0$

Λύνοντας ως προς τα A, B καταλήγουμε πως:

$$\Delta p_n(x) = \Delta p_n(0) \left(\frac{e^{(W_n - x)/L_p} - e^{-(W_n - x)/L_p}}{e^{W_n/L_p} - e^{-W_n/L_p}} \right) = \Delta p_n(0) \frac{\sinh\left(\frac{W_n - x}{L_p}\right)}{\sinh\left(\frac{W_n}{L_p}\right)}$$

Η συγκέντρωση ρεύματος των οπών είναι:

$$J_p(x) = \frac{q D_p p_{n0}}{L_p} \left(e^{qV_s/kT} - 1\right) \frac{\cosh\left(W_n - x/L_p\right)}{\sinh\left(W_n/L_p\right)}$$

$$J_p(0) = \frac{q D_p p_{n0}}{L_p} \left(e^{qV_s/kT} - 1\right) \frac{1}{\tanh\left(W_n/L_p\right)}$$

Υποθέτοντας πως η ποσότητα $\sinh\left(W_n/L_p\right)$ είναι πολύ μικρότερη του 1 έχουμε: $\Delta p_n(x) = \Delta p_n(0) \left(1 - \frac{x}{W_n}\right)$ και έτσι:

Εύκολα παρατηρούμε πως η συνάρτηση $\Delta p_n(x)$ είναι φθίνουσα. Άρα η συγκέντρωση των φορέων μειονότητας φθίνει γραμμικά.

Άσκηση III

A) Έχουμε: $q \cdot \varphi_{Bv} = q\,\varphi_m - X = 4{,}5 - 4{,}01 = 0{,}49\,eV$
και $\varphi_{Bv} = 0{,}49\,V$

B) $\Phi_{Bn} = V_{bi} + V_n \Rightarrow V_{bi} = \Phi_{Bn} - V_n = \Phi_{Bn} - \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{N_c}{N_D}\right) =$

$$= 0{,}49 - \frac{8{,}62 \cdot 10^{-5} \cdot 300}{1{,}6 \cdot 10^{-19}} \ln\left(\frac{2{,}8 \cdot 10^{19}}{3 \cdot 10^{13}}\right) = 0{,}49 - 0{,}2364 = 0{,}254\,V$$

Γ) $$E_m = \frac{2(V_{bi} - V)}{W} = \frac{2(V_{bi} - V)}{\sqrt{\frac{2\varepsilon_s (V_{bi} - V)}{q \cdot N_D}}} = \frac{2(V_{bi} - V)}{\sqrt{\frac{(2\,\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_{r_s}\,(V_{bi} - V_n)}{q\,N_D}}} =$$

$$= \frac{2(0{,}254 - (-5))}{\sqrt{\frac{2 \cdot 11{,}7 \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-14}\,(0{,}254 - (-5))}{1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 3\,10^{15}}}} = 6{,}9 \cdot 10^{14}\,V/cm$$

Δ) $$C = \frac{\varepsilon_s}{W} = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r}{\sqrt{\frac{2 \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r\,(V_{bi} - V_n)}{q \cdot N_D}}} = 6{,}87 \cdot 10^{-9}\,F/cm^2$$

Άσκηση IV

A) Θα εξετάσουμε το φαινόμενο σε δύο χρονικές περιόδους:

1. Πριν την πρόσπτωση του φωτός στον ημιαγωγό:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{d\Delta n}{dt} = G_L + G_{th} - R = 0 \Rightarrow G_L = G_{\nu o \rho}$$

2. Μετά την πρόσπτωση ισχύει:

$R = C_{p0}(n_0 + \Delta n)$ και άρα $G_{th} - R = C_{p0}\Delta_n = -\frac{\Delta n}{\tau_h}$

$$\frac{d(\Delta n)}{dt} = G_L - \frac{\Delta n}{\tau_h} = 0 \quad , \text{με } \Delta n = G_L \cdot \tau_h = g'\tau_h = 5 \cdot 10^{14} cm^{-3}$$

Άρα $\frac{d(\Delta n)}{dt} = \frac{-\Delta n}{\tau_h} \Rightarrow \Delta n(t) = \Delta n(0)\, e^{-t/\tau_h} = 5 \cdot 10^{14} \cdot e^{(-t/5 \cdot 10^{-6})}$, για κάθε

Όταν $t = 2 \cdot 10^{-6}$ sec ξαναανοίγουμε την πηγή φωτός, επομένως:

$\Delta n(2 \cdot 10^{-6}) = \ldots = 3{,}35 \cdot 10^{14}\ cm^{-3}$

Για μια κάποια άλλη χρονική στιγμή $t' = t - 2 \cdot 10^{-6}$ έχουμε:

$\frac{d(\Delta n)}{dt} = G_L - \frac{\Delta n}{\tau_h}$ και με την επίλυση της εν λόγω διαφορικής εξίσωσης καταλήγουμε στην λύση: $\Delta n(t') = c_1 e^{(-t'/\tau_h)} + g'\tau_h$

Όμως $\Delta n(0) = 3{,}35 \cdot 10^{14} \Rightarrow c_1 = -1{,}65 \cdot 10^{14}$ και άρα:

$$\Delta n(t') = 5 \cdot 10^{14} - 1{,}65 \cdot 10^{14}\, e^{(-t'/5 \cdot 10^{-6})}$$

Τελικά, η συνολική συγκέντρωση είναι:

$$\Delta n(t) = \begin{cases} 5 \cdot 10^{14}\, e^{(-t/5 \cdot 10^{-6})} & , \text{αν } t \in [0, 2 \cdot 10^{-6}] \text{ sec} \\ 5 \cdot 10^{14} - 1{,}65 \cdot 10^{14}\, e^{(-t - 2 \cdot 10^{-6}/5 \cdot 10^{-6})} & , \text{αν } t \geq 2 \cdot 10^{-6} \text{ sec} \end{cases}$$

β) Αντικαθιστώντας απλά στην συνάρτηση που βρήκαμε στο ερώτημα (Α) και εκτελώντας πράξεις έχουμε:

$\Delta n(0) = 5 \cdot 10^{14}\ cm^{-3}$

$\Delta n(2 \cdot 10^{-6}) = 3{,}35 \cdot 10^{14}$

$\lim_{t \to +\infty} \Delta n(t) = 5 \cdot 10^{14}\ cm^{-3}$

γ) Η γραφική παράσταση της $\Delta n(t)$ είναι: (ποιοτικά):