

ΣΧΟΛΗ ΕΜΦΕ – ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ
ΚΑΝΟΝΙΚΕΣ ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ ΧΕΙΜΕΡΙΝΟΥ ΕΞΑΜΗΝΟΥ 2006-07
Ημιαγωγοί και Ημιαγώγιμες Δομές (7^ο Εξάμηνο Σπουδών)

Δ. Παπαδημητρίου, Ι. Σ. Ράπτης

Συνολική Διάρκεια εξέτασης 2½ ώρες

- 1) Όλα τα θέματα είναι ισοδύναμα
 2) Κατά τη διάρκεια της εξέτασης επιτρέπεται μόνο η χρήση του φυλλαδίου με τις βασικές σχέσεις που αφορούν το πρώτο μέρος του μαθήματος, και το οποίο διανέμεται μαζί με τα θέματα

Θέμα 1.

Ημιαγωγός άμεσου ενεργειακού χάσματος έχει, σε θερμοκρασία $T=300K$, $E_g=1.42\text{ eV}$, και ενεργές πυκνότητες καταστάσεων, για μεν τη στάθμη σθένους: $N_V=7\times10^{18}\text{ cm}^{-3}$, για δε τη στάθμη αγωγμότητας: $N_C=4.7\times10^{17}\text{ cm}^{-3}$. Το ενεργειακό χάσμα του ημιαγωγού μεταβάλλεται, για την περιοχή θερμοκρασιών από 50K μέχρι 750K, με σταθερό ρυθμό $(dE_g/dT)\approx -0.40\text{ meV/K}$.

- α) Υπολογίστε την ενδογενή πυκνότητα φορέων του ημιαγωγού, σε θερμοκρασίες $T_1=300K$ και $T_2=600K$.
 β) Αν η ενέργειας μάζα ηλεκτρονίων του ημιαγωγού είναι $m_e^*=0.8m_0$, και η σχετική διηλεκτρική σταθερά του ημιαγωγού είναι $\epsilon_r=16$, να υπολογίσετε την απόσταση, από τη ζώνη αγωγμότητας, της στάθμης δοτών (E_D), της στάθμης αποδεκτών (E_A), και της στάθμης εξιτονίου (E_X), και να σχεδιάσετε ποιοτικά την εξάρτηση του συντελεστή απορρόφησης από την ενέργεια $\alpha=\alpha(E)$, στην περιοχή του ενεργειακού χάσματος. Οι υπολογισμοί και η σχεδίαση να γίνουν για $T=80K$. Στο ίδιο σχεδιάγραμμα, σχεδιάστε ποιοτικά την εξάρτηση $\alpha=\alpha(T)$ για $T=800K$.
 γ) Υποθέτουμε ότι ο ημιαγωγός έχει νοθευτεί με προσμείξεις τύπου «Δότες», σε συγκέντρωση N_D , που έχουν υποστεί ολικό ιονισμό. Να γράψετε τις βασικές σχέσεις, που ισχύουν σε θερμοδυναμική ισορροπία και, με βάση αυτές, να υπολογίσετε τις συγκέντρωσεις φορέων n και p , συναρτήσει των N_D και n_i . Εφαρμογή: $N_D = \frac{n_i}{\sqrt{2}}$
 δ) Οταν το επίπεδο προσμείξεων ενός ημιαγωγού είναι τέτοιο ώστε $n \geq N_C$, εξακολουθούν να ισχύουν οι σχέσεις $n = N_C e^{\frac{E_F-E_F}{kT}}$ και $np = n_i^2$, ή όχι, και γιατί;

Θέμα 2.

- α) Ημιαγώγιμο υλικό της οικογένειας IV, που σε θερμοκρασία 300K έχει ενεργειακό χάσμα $E_g=1.12\text{ eV}$, σχετική διηλεκτρική σταθερά $\epsilon_r=12$, ενδογενή συγκέντρωση φορέων $n_i=4\times10^{10}\text{ cm}^{-3}$, και ενεργές μάζες πυκνότητας καταστάσεων, $m_n^*=m_0$ και $m_p^*=0.4m_0$, φέρει ομοιόμορφη συγκέντρωση πρόσμειξης Αλουμινίου (στήλη III του Περιοδικού Πίνακα) ίση προς 5×10^{16} (άτομα Al)/cm³, σε όλο του τον όγκο.

Στην μία επιφάνεια του ανωτέρω υλικού εμφυτεύονται, επιπλέον, Αντιμόνιο (στήλη V του Περιοδικού Πίνακα), με ομοιόμορφη συγκέντρωση ίση προς 7×10^{16} (άτομα Sb)/cm³, σε μία περιοχή μέχρι βάθος 2μμ. Να εξηγήσετε ότι το τελικό αποτέλεσμα είναι μία επαφή p-n, και να σχεδιάσετε ένα σκαρίφημα κατά βάθος (για τα 4 πρώτα μμ), σημειώνοντας τις συγκεντρώσεις φορέων σε κάθε υποπεριοχή p και n.

β) Να υπολογίσετε το εσωτερικό δυναμικό της επαφής.

γ) Να δείξετε ότι, για την περιοχή θερμοκρασών όπου ισχύει η παραδοχή του ολικού ιονισμού των προσμείξεων, το εσωτερικό δυναμικό (ή δυναμικό διάχυσης, ή δυναμικό επαφής), V_0 , της επαφής p-n, ικανοποιεί μία σχέση της μορφής $eV_0 = E_g + AT - BT \ln T$, και να προσδιορισθούν οι συντελεστές A και B.

δ) ~~Να υπολογίσετε το συνολικό πλάτος της περιοχής απογύμνωσης, και να σχεδιάσετε ένα ενεργειακό διάγραμμα της επαφής, σημειώνοντας τις διαστάσεις και ενεργειακά μεγέθη των ερωτημάτων (β) και (δ).~~

Θέμα 3.

Πώς κατανέμονται οι ενέργειες στους α) δισδιάστατους, β) μονοδιάστατους, και γ) μηδενικών διαστάσεων ημιαγωγούς;

Πώς κατανέμονται στις ημιαγώγιμες υπερδομές;

Θέμα 4.

α) Ποιές ενέργειες θα απορροφηθούν σε ηλιακή κυψέλη νανοκρυσταλλικού πυριτίου σε θερμοκρασίες +50 και -50 °C, όταν το ενεργειακό χάσμα του συμπαγούς είναι $E_g(300K)=1.12\text{ eV}$, ο ρυθμός μεταβολής του χάσματος με τη θερμοκρασία είναι $1.7\times10^{-4}\text{ eV/K}$, και οι νανοκρυσταλλίτες είναι κύβοι ακμής 5.5 \AA ;

β) Ποιά είναι τα πλεονεκτήματα μίας οπτοηλεκτρονικής διάταξης νανοκρυσταλλικού πυριτίου έναντι ανάλογης διάταξης κρυσταλλικού πυριτίου;

Si(electrons): $m_l^*=0.916m_e$, $m_i^*=0.19m_e$

Si(holes): $m_{lh}^*=0.153m_e$, $m_{hi}^*=0.537m_e$

$kT(300K)\approx25\text{ meV}$

Φορτίο ηλεκτρονίου: $e=1.610^{-19}\text{ C}$,

Ταχύτητα φωτός στο κενό: $c=3\times10^8\text{ m/s}$

Μάζα ελεύθερου ηλεκτρονίου: $m_0=9.11\times10^{-31}\text{ kg}$,

Σταθερά του Plank: $h=4.14\times10^{-15}\text{ eV}\cdot\text{s}=6.63\times10^{-34}\text{ J}\cdot\text{s}$

Διηλεκτρική σταθερά του κενού: $\epsilon_0=8.85\times10^{-12}\text{ (C}^2\text{N}^{-1}\text{m}^{-2})=8.85\times10^{-12}\text{ (F/m)}$