

ΣΧΟΛΗ ΕΜΦΕ – ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ

ΕΞΕΤΑΣΗ 21.09.2009, 12:00

Ημιαγωγοί και Ημιαγώγιμες Δομές (7^ο Εξάμηνο Σπουδών)

Θέμα 1. Ημιαγωγός τύπου IV έχει, σε $T=300K$, ενεργειακό χάσμα $E_g=1.1\text{ eV}$, και ενεργές πυκνότητες καταστάσεων: $N_V=1.04\times10^{19}\text{ cm}^{-3}$, $N_C=2.8\times10^{19}\text{ cm}^{-3}$. (α) Υπολογίστε την ενδογενή πυκνότητα φορέων του ημιαγωγού, σε θερμοκρασία $T=300K$. (β) Αποδείξτε την σχέση που συνδέει την ενδογενή στάθμη Fermi του ημιαγωγού, με τα μεγέθη E_C , E_V , N_C , N_V , T , και υπολογίστε την τιμή του, σε θερμοκρασία $T=300K$. (γ) Ο ημιαγωγός νοθεύεται με δότες, συγκέντρωσης 10^{15} cm^{-3} . Η ενεργειακή στάθμη δοτών, στον ημιαγωγό αυτόν, βρίσκεται 0.025 eV κάτω από το ελάχιστο της ζώνης αγωγιμότητας. (γ₁) Εξηγείστε, με ποιοτικά επιχειρήματα, γιατί τα παραπάνω δεδομένα επιτρέπουν την παραδοχή του ολικού ιονισμού των προσμείξεων. (γ₂) Αποδείξτε, στην προσέγγιση του ολικού ιονισμού, την σχέση που συνδέει την στάθμη Fermi του νοθευμένου ημιαγωγού με την συγκέντρωση προσμείξεων, N_D , και τα E_C , N_C , T , και υπολογίστε την τιμή της, σε θερμοκρασία $T=300K$. (γ₃) Με βάση το αποτέλεσμα της ερώτησης (γ₂), υπολογίστε το ποσοστό ιονισμού των δοτών και ελέγχτε την ορθότητα της παραδοχής του ολικού ιονισμού.

Θέμα 2. Επαφή $p-n$ αποτελείται από ημιαγωγό ενεργειακού χάσματος $E_g = 1.2\text{ eV}$, σχετικής διηλεκτρικής σταθεράς $\epsilon_r = 12$, και ενεργές πυκνότητες καταστάσεων: $N_V = 8\times10^{18}\text{ cm}^{-3}$, $N_C = 4\times10^{17}\text{ cm}^{-3}$. Οι δύο πλευρές της επαφής έχουν δημιουργηθεί με προσμείξεις των οποίων οι συγκεντρώσεις είναι $N_A = 5\times10^{14}\text{ cm}^{-3}$ και $N_D = 1\times10^{15}\text{ cm}^{-3}$, αντίστοιχα. (α) Να υπολογιστεί η απόσταση του επιπέδου Fermi από το μέγιστο της ζώνης σθένους, σε κάθε μία από τις δύο περιοχές p και n , υποθέτοντας ότι και οι δύο περιοχές έχουν χαρακτηριστικά εξωγενούς ημιαγωγού, και ότι έχουμε ολικό ιονισμό των προσμείξεων. (β) Να υπολογιστεί η συγκέντρωση φορέων μειοψηφίας σε κάθε περιοχή. (γ) Να υπολογιστεί το δυναμικό επαφής. (δ) Να υπολογιστεί το πλάτος της περιοχής απογύμνωσης. (ε) Να υπολογιστεί το επιμέρους πλάτος της περιοχής απογύμνωσης, σε κάθε πλευρά της εκαρής. (στ) Σχεδιάστε, υπό κλίμακα, ενεργειακό διάγραμμα της επαφής για την έκταση των $\pm 2\mu\text{m}$ περί το επίπεδο της μεταλλουργικής επαφής
Θεωρήστε ότι το σύστημα βρίσκεται σε κατάσταση θερμοδυναμικής ισορροπίας σε $T=300K$.

Δίνονται:

Φορτίο ηλεκτρονίου: $e=1.610^{-19}\text{ C}$, Ταχύτητα φωτός στο κενό: $c=3\times10^8\text{ m/s}$

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

Σταθερά του Plank: $h=4.14\times10^{-15}\text{ eV}\cdot\text{s}=6.63\times10^{-34}\text{ J}\cdot\text{s}$, $m_e=0.911\times10^{-30}\text{ kg}$

$kT(300K)\approx25\text{ meV}$, $1\text{ eV}=1.602\times10^{-19}\text{ J}$

Θέμα 3.

α) Να περιγράψετε (με τη βοήθεια σχήματος) τη μεταβολή των ενεργειών των ηλεκτρονίων ενός (μεμονωμένου) κβαντικού πηγαδιού με την προοδευτική μείωση του εύρους του πηγαδιού (π.χ. από 100 σε 10 Å).

β) Να υπολογίσετε τη μεταβολή στα ενεργειακά χάσματα ημιαγώγιμης μικροδομής $\text{GaAs}/\text{Ga}_{0.7}\text{Al}_{0.3}\text{As}$ ως συνάρτηση του πάχους d της στρώσης του GaAs για $d= 10, 100, 1000, 10000$ Å. Τι παρατηρείτε ως προς τις ενεργειακές μεταβάσεις στο GaAs και στο GaAlAs;

Δίνονται: $E_g(\text{GaAs})=1.424 \text{ eV}$, $\Delta E_g = \hbar^2 k^2 / 2\mu^*$
 $m_e^* = 0.067 m_e$, $m_{hh}^* = 0.51 m_e$, $m_{lh}^* = 0.082 m_e$, $m_c = 0.911 \times 10^{-30} \text{ kg}$
 $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}$, $1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$
 $E_g(\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}) = (1.42 + 1.26x) \text{ eV}$, $x < 0.45$

γ) Να περιγράψετε (με τη βοήθεια σχήματος) τη μεταβολή των ενεργειών των ηλεκτρονίων μη αλληλεπιδρώντων κβαντικών πηγαδιών με την προοδευτική μείωση του εύρους του φράγματος (π.χ. από 100 σε 10 Å) και τη μετάβαση σε υπερδομή.

Θέμα 4.

- Πώς επιδρά ο κβαντικός περιορισμός στα φαινόμενα μεταφοράς;
- Με χρήση σχημάτων/εξισώσεων/διαγραμμάτων να περιγράψετε:
 - το (κλασσικό) φαινόμενο Hall
 - το κβαντικό φαινόμενο Hall