

ΘΕΜΑ 1 (2M)

Η γωνία Bragg για κάποια ανάκλαση ακτίνων X από δείγμα σκόνης χαλκού είναι 47.75° σε θερμοκρασία 20°C και 46.60° σε θερμοκρασία 1000°C . Υπολογίστε το συντελεστή γραμμικής διαστολής του χαλκού. Υπενθυμίζεται ότι ο συντελεστής γραμμικής διαστολής ορίζεται ως η ποσοστιαία (%) μεταβολή του μήκους για μια θερμοκρασιακή μεταβολή ΔT , διαιρεμένη με τη μεταβολή ΔT .

ΘΕΜΑ 2 (3.5M)

Θεωρείστε το πρότυπο των ισχυρά δέσμιων ηλεκτρονίων σε ένα στερεό δομής bcc. Θεωρείστε ότι η ηλεκτρονική δομή του στερεού προκύπτει από την αλληλεπίδραση ατομικών τροχιακών s , ϕ_s , με ενέργεια E_0 , εντοπισμένων σε κάθε άτομο του κρυστάλλου.

(α) Δείξτε ότι η σχέση διασποράς της ενέργειας, $E = E(\mathbf{k})$, [\mathbf{k} : κυματόνισμα Bloch, $\mathbf{k} = (k_x, k_y, k_z)$] δίνεται

$$E(\mathbf{k}) = E_0 - A - 8B \cos\left(\frac{k_x a}{2}\right) \cos\left(\frac{k_y a}{2}\right) \cos\left(\frac{k_z a}{2}\right)$$

όπου a η πλεγματική σταθερά του κρυστάλλου, και A, B τα ολοκληρώματα επικάλυψης:

$$A = -\int \phi_s(\mathbf{r} - \mathbf{R}_n) V(\mathbf{r} - \mathbf{R}_n) \phi_s^*(\mathbf{r} - \mathbf{R}_n) d^3r,$$

$$B = -\int \phi_s(\mathbf{r} - \mathbf{R}_n) V(\mathbf{r} - \mathbf{R}_m) \phi_s^*(\mathbf{r} - \mathbf{R}_m) d^3r$$

όπου $\mathbf{R}_n, \mathbf{R}_m$ είναι διανύσματα Bravais του bcc, τα οποία αντιστοιχούν σε ατομικές θέσεις πλησιέστερων γειτόνων.

(β) Υπολογίστε το εύρος της παραπάνω ενεργειακής ζώνης.

(γ) Δείξτε ότι για μικρές τιμές του, δηλαδή για $k = |\mathbf{k}| \ll 1$, η ενέργεια $E(\mathbf{k})$ είναι ανάλογη του k^2 . Δίνεται:

$$\cos(t) = 1 - \frac{t^2}{2!} + \frac{t^4}{4!} - \dots$$

ΘΕΜΑ 3 (1.5M)

Υπολογίστε την φωνονική πυκνότητα καταστάσεων για ένα 1Δ στερεό το οποίο περιγράφεται από το πρότυπο Debye. Θεωρήστε δεδομένη την ταχύτητα διάδοσης του ήχου c . Αν υποθέσουμε ότι το 1Δ στερεό περιέχει N άτομα, υπολογίστε την αντίστοιχη συχνότητα Debye ω_D .

ΘΕΜΑ 4 (3M)

Ημιαγωγός, σε θερμοκρασία δωματίου ($kT \approx 25 \text{ meV}$), έχει ενεργές πυκνότητες καταστάσεων $N_C = 8 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, $N_V = 2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ και ενδογενή συγκέντρωση φορέων, στην ίδια θερμοκρασία, ίση με $n_i = 8 \times 10^9 \text{ cm}^{-3}$.

(α) Να υπολογιστεί η τιμή του ενεργειακού χάσματος του υλικού, σε θερμοκρασία δωματίου, και η απόσταση της στάθμης Fermi από τη ζώνη σθένους σε θερμοκρασία δωματίου.

(β) Αν το ενεργειακό χάσμα μεταβάλλεται γραμμικά με τη θερμοκρασία, με ρυθμό -0.5 meV/K , να υπολογίσετε την ενδογενή συγκέντρωση φορέων σε θερμοκρασία 200°C .

(γ) Στην μπροστινή επιφάνεια του ημιαγωγού εμφυτεύουμε προσμίξεις τύπου Δότες, με συγκέντρωση $N_D = 10^{12} \text{ cm}^{-3}$, μέχρι βάθος μερικά μικρόμετρα. Να υπολογιστεί, στην περιοχή εμφύτευσης, η απόσταση της στάθμης Fermi από τη ζώνη σθένους σε θερμοκρασία δωματίου, θεωρώντας ότι υπάρχει ολικός ιονισμός των προσμίξεων.

(δ) Να υπολογισθεί η τάση επαφής, ανάμεσα στην ενδογενή (καθαρή) περιοχή και στην περιοχή με τις προσμίξεις, και να σχεδιασθεί ένα σκαρίφημα των ενεργειακών ζωνών κατά μήκος των δύο περιοχών.