

Fisica della Materia Condensata.
Prof. Paola Gallo.
Prova del I appello di esame - 25 Gennaio 2023

Istruzioni - Esame completo: svolgere tutti e quattro gli esercizi in quattro ore. Recupero del primo esonero: svolgere gli esercizi 1 e 2 in due ore. Secondo esonero: risolvere gli esercizi 3 e 4 in due ore.

1 Esercizio 1

Un cristallo AB_2 ha struttura *fcc* e viene studiato con il metodo delle polveri. I tre atomi che costituiscono la base sono individuati dai vettori $\vec{d}_A = \vec{0}$, $\vec{d}_{B_1} = \frac{a}{4}(1, 1, 1)$ e $\vec{d}_{B_2} = -\frac{a}{4}(1, 1, 1)$. Il fattore di forma dell'atomo A sia il doppio di quello dell'atomo B.

1. Studiare il fattore di struttura del cristallo e determinare quali riflessioni sono permesse. (5 punti)
2. Determinare il rapporto tra le intensità dei picchi associati alle famiglie di piani $\{1, 1, 1\}$ e $\{1, 1, 3\}$. (5 punti)
3. Il secondo picco si trova in corrispondenza dell'angolo $\theta^{(2)} = 40^\circ$. Determinare la lunghezza d'onda della radiazione incidente se il parametro reticolare del cristallo vale $a = 6.2 \text{ \AA}$. (5 punti)

2 Esercizio 2

Una catena lineare biatomica è disposta ed è libera di muoversi lungo l'asse \hat{x} . Siano $M_A = 15 \text{ u.m.a.}$ e $M_B = 28 \text{ u.m.a.}$ le masse degli atomi nella catena, $\rho = 13 \cdot 10^{10} \text{ u.m.a.} \cdot \text{m}^{-1}$ la densità lineare di massa e $C = 12 \cdot 10^2 \text{ dyne} \cdot \text{cm}^{-1}$ la costante di forza.

1. Ricavare la relazione di dispersione in approssimazione armonica e per interazione a primi vicini. Determinare i valori a bordo e a centro zona e disegnare le curve di dispersione fononica nella Prima Zona di Brillouin. (5 punti)
2. Determinare la temperature di Debye. (5 punti)

Supponendo ora di avere un solido con reticolo cubico con base biatomica, di densità $\rho = 3 \text{ g/cm}^3$ e avente il parametro reticolare e la temperatura di Debye calcolati ai punti precedenti:

3. Determinare la capacità termica per unità di massa a $T = 800 \text{ K}$. (5 punti)

3 Esercizio 3

Gli stati elettronici di valenza di una catena lineare monoatomica con $N = 10^{25}$ siti, di passo reticolare $a = 0.25 \text{ nm}$ e disposta lungo l'asse z , sono ben descritti da due diversi orbitali su ciascun sito della catena. La banda che chiameremo A si origina da sovrapposizione di orbitali di tipo s e la banda B da orbitali di tipo p_z . Gli atomi della catena sono bivalenti. Utilizzando il modello del legame forte limitando l'interazione a primi vicini, trascurando gli integrali di sovrapposizione α e considerando $\beta_A = -1 \text{ eV}$ e $\beta_B = 4 \text{ eV}$ $\gamma_A = 3 \text{ eV}$ e $\gamma_B = -1 \text{ eV}$:

1. Scrivere le espressioni delle due bande $E_A(k)$ e $E_B(k)$ e tracciarne un grafico approssimativo. (5 punti)
2. Si determini l'energia di Fermi E_F del sistema. (5 punti)
3. Indicare gli stati elettronici occupati su ciascuna banda e si stabilisca se il modello ha comportamento metallico o isolante. (5 punti)

4 Esercizio 4

Si consideri un semiconduttore drogato di tipo n con soli atomi donori. In tabella sono riportati i valori della concentrazione dei portatori maggioritari n del campione misurati a quattro diverse temperature e i dati della concentrazione di portatori intrinseci n_i misurati a tre temperature.

T [K]	100	200	400	500	1000
$n \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	$2 \cdot 10^9$	$2 \cdot 10^{10}$	-	$2 \cdot 10^{10}$	$2 \cdot 10^{12}$
$n_i \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	-	-	$2 \cdot 10^9$	$2 \cdot 10^{10}$	$2 \cdot 10^{12}$

1. Spiegare l'andamento di n in funzione della temperatura e calcolare l'energia della gap e il drogaggio del semiconduttore. (5 punti)
2. Calcolare la concentrazione di lacune p a $T = 400 \text{ K}$. (5 punti)
3. Calcolare la conducibilità totale del semiconduttore σ a $T = 400 \text{ K}$, sapendo che la massa efficace degli elettroni è $m_e^* = 7.72 \cdot 10^{-32} \text{ kg}$ e il loro tempo medio di scattering è $\tau = 0.1 \text{ ps}$. (5 punti)

1 u.m.a. = $1.67 \cdot 10^{-24} \text{ g}$, $K_B = 8.6167 \cdot 10^{-5} \text{ eV K}^{-1}$, $h = 4.136 \cdot 10^{-15} \text{ eV s}$.