

- Si consideri il sistema cristallino bidimensionale in **Fig. 1**. Determinare se è un reticolo di Bravais. Disegnare la cella di Wigner-Seitz. Noto $a = 2 \text{ nm}$, determinare la densità atomica.
- Si consideri un setup di esperimento fotoelettrico con catodo in platino ($W = 5.65 \text{ eV}$) e tensione di accelerazione $V_A = 1.7 \text{ V}$. Determinare la presenza o assenza di effetto fotoelettrico nel caso di (a) una sorgente luminosa infrarossa ($\lambda_1 = 1.5 \mu\text{m}$) e di (b) una sorgente ultravioletta ($\lambda_2 = 193 \text{ nm}$). In caso affermativo, determinare la velocità degli elettroni all'anodo.
- Si considerino le due buche di potenziale di profondità V_0 e larghezza a e b , mostrate in **Fig. 2**. Sapendo che il primo livello energetico della prima buca coincide con il terzo livello energetico della seconda buca ($E_{1,a} = E_{3,b} = 0.25 \text{ eV}$) determinare i valori di a e b in approssimazione di buca a pareti infinite. Rimuovendo l'approssimazione di pareti infinite e sapendo che la probabilità $P(x) = |\psi(x)|^2$ si riduce di un fattore 10 entro 1 nm al di fuori della buca, determinare V_0 .
- Si consideri una particella di energia $E_0 = 1.5 \cdot V_0$ che attraversa una barriera di potenziale rettangolare di altezza V_0 e larghezza a , come mostrato in **Fig. 3**. Sapendo che il coefficiente di trasmissione è $T = J_t/J_i = 1$, determinare la minima larghezza (indicata con a) della barriera.
- Un elettrone in un cristallo di passo $a = 0.675 \text{ nm}$ è descritto da un'autofunzione $\psi_k(x) = u_k(x) \cdot e^{ikx}$, dove u_k è reale e positivo. Sapendo che l'autofunzione è reale positiva in x_0 e diventa reale negativa per la prima volta dopo 2.5 passi reticolari da x_0 , determinare il valore del vettore d'onda cristallino k . Tracciare quindi l'andamento della parte reale dell'autofunzione $\psi_k(x)$ su 10 passi reticolari.
- Un semiconduttore ha una banda di valenza caratterizzata da tre massimi degeneri e isotropi con masse efficaci $m_{hh} = 0.6m_0$, $m_{mh} = 0.5m_0$ e $m_{lh} = 0.4m_0$ (**Fig. 4**). Si calcolino la massa DOS e la massa di conduzione per le lacune.
- In un semiconduttore, il libero cammino medio degli elettroni (massa di conduzione $m^* = 0.5m_0$) a $T = 1 \text{ K}$ è $\lambda = 10 \text{ nm}$. Si determini il tempo medio di rilassamento del momento alla temperatura indicata. Specificare se a temperatura ambiente il tempo medio di rilassamento del momento sarà maggiore o minore rispetto a quello calcolato ad 1 K, giustificando la risposta.
- Si consideri un campione di silicio di tipo p avente $N_A = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ed $E_A - E_V = 37 \text{ meV}$. Facendo ragionevoli approssimazioni determinare $E_A - E_F$ ($T = 0 \text{ K}$) e la concentrazione di droganti ionizzati a $T = 23 \text{ K}$.
- Un semiconduttore è caratterizzato da $m_{n,DOS} = 0.5m_0$ e $m_{p,DOS} = 0.506m_0$. Si calcoli di quanto cambia il livello intrinseco se viene fatta variare la temperatura da $T_1 = 200 \text{ K}$ a $T_2 = 230 \text{ K}$. Fornire il risultato in termini di $E_i(T_2) - E_i(T_1)$ assumendo il gap indipendente dalla temperatura nel range indicato.
- Un campione di silicio drogato p, caratterizzato da $N_A = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ e da un tempo di vita medio dei minoritari $\tau_n = 1 \mu\text{s}$, è sottoposto ad un irraggiamento uniforme che produce un tasso di fotogenerazione $G = 10^{22} \text{ cm}^{-3} \text{ s}^{-1}$. Determinare il tempo massimo di irraggiamento affinché il semiconduttore rimanga in regime di debole iniezione. Dopo un tempo di irraggiamento sufficiente a raggiungere il regime stazionario, la sorgente di fotogenerazione viene improvvisamente spenta. Determinare il tempo necessario affinché la concentrazione dei portatori minoritari si riduca ad 1/10 del valore di concentrazione misurato al regime stazionario.

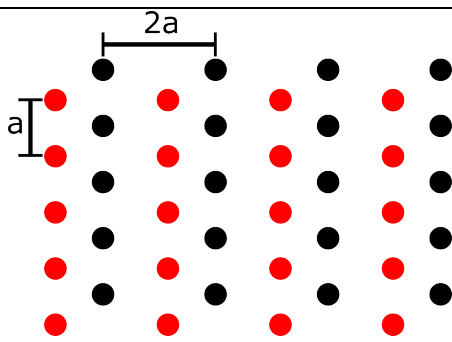


Fig. 1

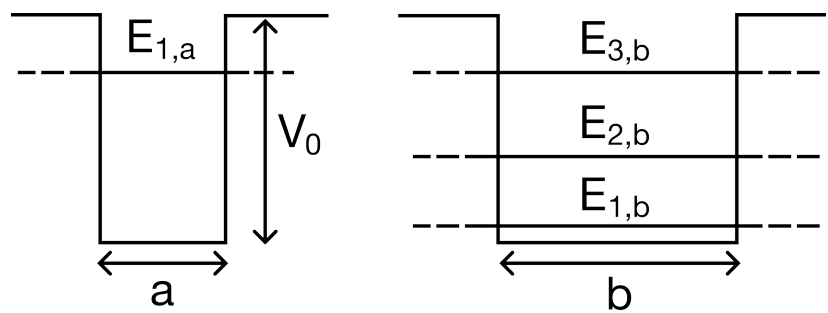


Fig. 2

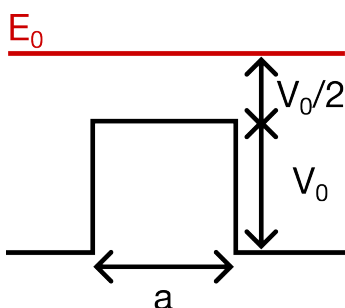


Fig. 3

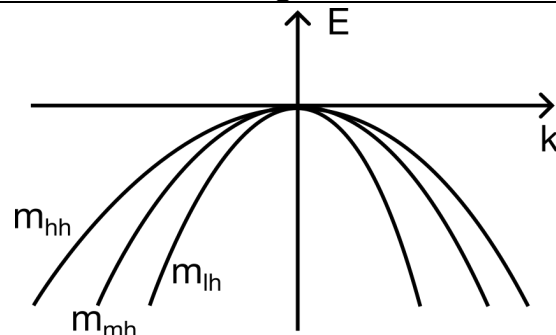


Fig. 4

1. Consider the bidimensional crystal shown in **Fig. 1**. Determine if it is a Bravais lattice. Draw the Wigner-Seitz cell. Given $a = 2 \text{ nm}$, determine the atomic density.
2. Consider an experimental setup for the photoelectric effect with a platinum cathode ($W = 5.65 \text{ eV}$) and an accelerating voltage $V_A = 1.7 \text{ V}$. Determine if the photoelectric effect is present in the case of (a) an infrared light source ($\lambda_1 = 1.5 \mu\text{m}$), and (b) an ultraviolet light source ($\lambda_2 = 193 \text{ nm}$). If so, determine the electron velocity at the anode.
3. Consider two potential wells of depth V_0 and width a and b , respectively, as shown in **Fig. 2**. Knowing that the first energy level of the first well coincides with the third energy level of the second well ($E_{1,a} = E_{3,b} = 0.25 \text{ eV}$) determine in the infinite square well approximation. Removing the infinite wall approximation and knowing that the probability $P(x) = |\psi(x)|^2$ decreases by a factor 10 within 1 nm outside the well, provide an estimate for V_0 .
4. Consider a particle of energy $E_0 = 1.5 \cdot V_0$ incident on a rectangular well as shown in **Fig. 3**. Knowing that the transmission coefficient is $T = J_t/J_i = 1$, determine the minimum width (denoted a) of the barrier.
5. An electron in a crystal with lattice constant $a = 0.675 \text{ nm}$ is described by an eigenfunction $\psi_k(x) = u_k(x) \cdot e^{ikx}$, where u_k is real and positive. Knowing that the eigenfunction is real positive in x_0 and becomes real negative for the first time after 2.5 reticular steps from x_0 , determine the value of the crystal wave vector k . Then plot the profile of the real part of the eigenfunction $\psi_k(x)$ over 10 lattice periods.
6. A semiconductor has a valence band characterized by three degenerate, isotropic maxima with effective masses $m_{hh} = 0.6m_0$, $m_{mh} = 0.5m_0$ e $m_{lh} = 0.4m_0$ (**Fig. 4**). Calculate the DOS mass and the conduction mass for the holes.
7. In a semiconductor, the electron mean free path (conduction mass $m^* = 0.5m_0$) at $T = 1 \text{ K}$ is $\lambda = 10 \text{ nm}$. Determine the momentum relaxation time at the specified temperature. Specify whether the mean momentum relaxation time at room temperature will be larger or smaller than the one calculated at 1K, justifying the answer.
8. Consider a p-type silicon sample with $N_A = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ and $E_A - E_V = 37 \text{ meV}$. Making reasonable approximations, determine $E_A - E_F(T = 0 \text{ K})$ and the concentration of ionized dopants at $T = 23 \text{ K}$.
9. A semiconductor under test is characterized by $m_{n,\text{DOS}} = 0.5m_0$ and $m_{p,\text{DOS}} = 0.506m_0$. Calculate by how the intrinsic level changes if the temperature is varied from $T_1 = 200 \text{ K}$ to $T_2 = 230 \text{ K}$. Provide the result in terms of $E_i(T_2) - E_i(T_1)$ assuming the bandgap is independent of temperature within the specified range.
10. A p-doped silicon sample, characterized by $N_A = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ and a minority carrier lifetime $\tau_n = 1 \mu\text{s}$, is subjected to uniform illumination that produces a photogeneration rate $G = 10^{22} \text{ cm}^{-3} \text{ s}^{-1}$. Determine the maximum illumination time such that the semiconductor remains in a low-injection regime. After an illumination time sufficient to reach the steady-state regime, the photogeneration source is suddenly turned off. Determine the time required for the minority carrier concentration to decrease to 1/10 of the concentration value measured at steady state.

Costanti fisiche:

massa dell'elettrone
 costante di Planck
 carica elettronica
 costante di Boltzmann
 velocità della luce
 costante dielettrica nel vuoto
 costante di Stefan-Boltzmann
 costante di Wien

$m_0 = 9.109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
 $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$
 $e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
 $k_B = 1.381 \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$
 $c = 2.998 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$
 $\epsilon_0 = 8.85419 \cdot 10^{-12} \text{ F m}^{-1}$
 $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$
 $c_W = 2.8 \cdot 10^{-3} \text{ K m}$

	Si	Ge	GaAs
costante dielettrica relativa ϵ_r	11.7	16	12.9
concentrazione intrinseca $n_i [\text{cm}^{-3}]$	1.45×10^{10}	2.4×10^{13}	2.73×10^6
gap di energia $E_G [\text{eV}]$	1.12	0.66	1.42
densità di stati effettiva in banda di conduzione $N_C [\text{cm}^{-3}]$	2.8×10^{19}	1.04×10^{19}	4.7×10^{17}
densità di stati effettiva in banda di valenza $N_V [\text{cm}^{-3}]$	1.04×10^{19}	0.6×10^{19}	7.0×10^{18}