

1. Si consideri il reticolo cristallino in **Fig. 1**. È un reticolo di Bravais? In caso negativo, identificare una combinazione base-reticolo. Nota la densità atomica superficiale $N_{at} = 6.5 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-2}$, determinare il passo reticolare a .
2. Si consideri un setup di esperimento fotoelettrico con catodo in platino ($W = 6.35 \text{ eV}$) e tensione di accelerazione $V_A = 1V$. Determinare la velocità degli elettroni all'anodo in presenza di (a) una sorgente luminosa infrarossa ($\lambda_1 = 1\mu m$) e (b) ultravioletta ($\lambda_2 = 168.5 \text{ nm}$).
3. Si consideri un corpo nero sferico di diametro $d = 1 \text{ cm}$ alla temperatura $T = 2500 \text{ }^\circ\text{C}$. Determinare la lunghezza d'onda λ_{max} per la quale è massima $u_\lambda(\lambda, T)$ (radianza spettrale per unità di lunghezza d'onda). Determinare poi il diametro di un secondo corpo nero sferico, alla temperatura $T = 5000 \text{ }^\circ\text{C}$, che irraggia la stessa potenza del primo corpo nero.
4. Si consideri la buca di potenziale in **Fig. 2**, con $\alpha = 1 \text{ eV/nm}$ e $\beta = 0.75 \text{ eV/nm}$. Stimare l'energia dei primi tre autostati e disegnare qualitativamente l'andamento della parte reale delle corrispondenti funzioni d'onda.
5. Si consideri la barriera di potenziale in **Fig. 3**, dove $V_1 = 2 \text{ eV}$, $V_2 = 1 \text{ eV}$ e $a = 1 \text{ nm}$. Determinare le probabilità di tunneling P_{T1} e P_{T2} per gli elettroni ad energia $E_1 = 0.75 \text{ eV}$ ed $E_2 = 1.5 \text{ eV}$.
6. Si consideri un semiconduttore a gap diretto con $m_{BC}^* = 0.1m_e$ e $m_{BV}^* = 0.5m_e$. Irradiando il semiconduttore con una sorgente luminosa $\lambda = 1 \mu m$, l'elettrone promosso dalla banda di valenza alla banda di conduzione termalizza sul fondo della banda di conduzione emettendo 15 fononi di energia media $E_{phn} = 15 \text{ meV}$. Determinare l'energia di gap E_g .
7. Si consideri una barretta di silicio drogato n a temperatura $T = 300 \text{ K}$. Applicando una differenza di potenziale $V = 1 \text{ V}$ ai suoi capi, si misura una corrente $I = 500 \mu A$. Determinare la corrente misurata a $T = 500 \text{ K}$, trascurando la dipendenza dalla temperatura della densità effettiva di stati in banda di conduzione.
8. Un campione di un metallo ignoto alla temperatura $T = 580 \text{ K}$ fornisce la stessa densità di corrente termoionica di un campione di pari area in oro ($W_{Au} = 5.1 \text{ eV}$) alla temperatura $T_{Au} = 1000 \text{ K}$. Determinare la funzione lavoro W del metallo ignoto, facendo ragionevoli approssimazioni.
9. Si consideri il campione di silicio drogato in **Fig. 5**, dove $W = 1\mu m$, $L = 2 \mu m$, $t = 100 \text{ nm}$. In presenza di una tensione longitudinale $V_L = 1 \text{ V}$ e campo magnetico $B = 0.5 \text{ T}$ orientati come in figura, si riscontrano una tensione $V_H = 10 \text{ mV}$ positiva nel verso indicato e una corrente $I = 100 \mu A$. Determinare tipologia, mobilità e concentrazione dei portatori maggioritari.
10. Una barretta di germanio ($N_A = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) a temperatura ambiente viene sottoposta ad irraggiamento locale sul piano ad $x = 0$, generando una concentrazione di minoritari $n' = 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ ad $x = x_0$. Nota la mobilità degli elettroni $\mu_n = 1250 \text{ cm}^2 V^{-1} s^{-1}$, e sapendo che in $x_1 = x_0 + 2 \mu m$ il quasi livello di Fermi ha energia $F_n(x_1) = E_C - 0.4 \text{ eV}$, stimare il tempo di ricombinazione dei minoritari.

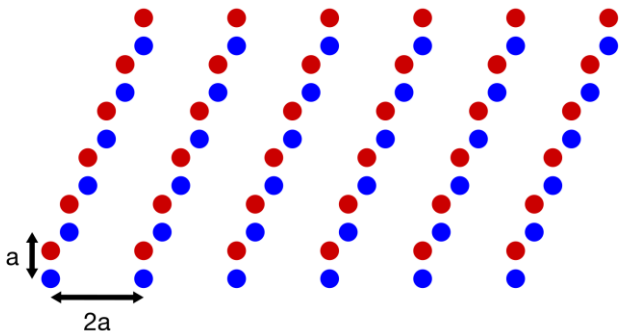


Fig. 1

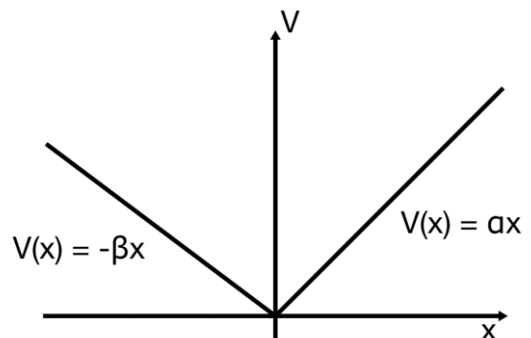


Fig. 2

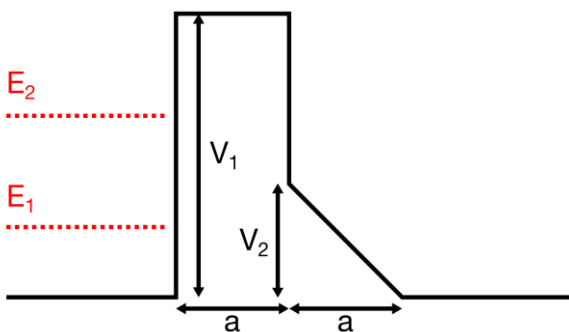


Fig. 4

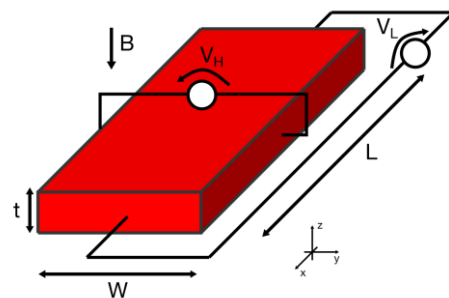


Fig. 5

1. Consider the crystalline lattice in **Fig. 1**. Is it a Bravais lattice? If not, identify a base-lattice combination. Given the atomic surface density $N_{\text{at}} = 6.5 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-2}$, calculate the lattice step a .
2. Consider a photoelectric experiment setup with a platinum cathode ($W = 6.35 \text{ eV}$) and acceleration voltage $V_A = 1 \text{ V}$. Calculate the electron velocity at the anode when the sample is illuminated with (a) an infrared source ($\lambda_1 = 1 \mu\text{m}$) and (b) an ultraviolet source ($\lambda_2 = 168.5 \text{ nm}$).
3. Consider a spherical black body with diameter $d = 1 \text{ cm}$ at temperature $T = 2500 \text{ }^\circ\text{C}$. Calculate the wavelength λ_{max} for which $u_\lambda(\lambda, T)$ (spectral energy density per unit wavelength) is maximized. Calculate the diameter of a second black body, at temperature $T = 5000^\circ\text{C}$, emitting the same power as the first black body.
4. Consider the potential well in **Fig. 2**, with $\alpha = 1 \text{ eV/nm}$ and $\beta = 0.75 \text{ eV/nm}$. Estimate the energy of the first three eigenstates and qualitatively draw the real part of the corresponding wavefunctions.
5. Consider the potential barrier in **Fig. 3**, where $V_1 = 2 \text{ eV}$, $V_2 = 1 \text{ eV}$ and $a = 1 \text{ nm}$. Calculate the tunneling probabilities P_{T1} and P_{T2} for electrons with energies $E_1 = 0.75 \text{ eV}$ and $E_2 = 1.5 \text{ eV}$.
6. Consider a direct gap semiconductor with $m_{\text{BC}}^* = 0.1 m_e$ and $m_{\text{BV}}^* = 0.5 m_e$. By illuminating the semiconductor with a light source $\lambda = 1 \mu\text{m}$, the electron promoted from the valence band to the conduction band thermalizes on the bottom of the conduction band releasing 15 phonons with average energy $E_{\text{phn}} = 15 \text{ meV}$. Calculate the gap energy E_g .
7. Consider a n-doped silicon slab at temperature $T = 300 \text{ K}$. Applying a voltage difference $V = 1 \text{ V}$ yields a current $I = 500 \mu\text{A}$. Estimate the current at $T = 500 \text{ K}$, neglecting the temperature dependence of the effective density of states in the conduction band.
8. A sample of an unknown metal at temperature $T = 580 \text{ K}$ provides the same thermionic current density of a gold ($W_{\text{Au}} = 5.1 \text{ eV}$) sample of same area at temperature $T_{\text{Au}} = 1000 \text{ K}$. Estimate the work function W of the unknown metal under reasonable approximations.
9. Consider the doped silicon slab in **Fig. 5**, where $W = 1 \mu\text{m}$, $L = 2 \mu\text{m}$, $t = 100 \text{ nm}$. When the longitudinal voltage $V_L = 1 \text{ V}$ and magnetic field $B = 0.5 \text{ T}$ are applied with the directions shown in figure, an Hall voltage $V_H = 10 \text{ mV}$ is measured in the depicted direction together with a current $I = 100 \mu\text{A}$. Determine type, mobility and concentration of majority carriers.
10. A germanium slab ($N_A = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) at room temperature undergoes local illumination on the plane at $x = 0$, generating an excess minority concentration $n' = 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ at $x = x_0$. Given the electron mobility $\mu_n = 1250 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$, and knowing that in $x_1 = x_0 + 2 \mu\text{m}$ the quasi-Fermi for electrons is $F_n(x_1) = E_c - 0.4 \text{ eV}$, estimate the recombination time for minority carriers.

Costanti fisiche:

massa dell'elettrone	$m_0 = 9.109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
costante di Planck	$h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$
carica elettronica	$e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
costante di Boltzmann	$k_B = 1.381 \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$
velocità della luce	$c = 2.998 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$
costante dielettrica nel vuoto	$\epsilon_0 = 8.85419 \cdot 10^{-12} \text{ F m}^{-1}$
costante di Stefan-Boltzmann	$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$
costante di Wien	$c_W = 2.8 \cdot 10^{-3} \text{ K m}$

	Si	Ge
costante dielettrica relativa ϵ_r	11.7	16
concentrazione intrinseca $n_i [\text{cm}^{-3}]$	1.45×10^{10}	2.4×10^{13}
gap di energia $E_G [\text{eV}]$	1.12	0.66
densità di stati effettiva in banda di conduzione $N_c [\text{cm}^{-3}]$	2.8×10^{19}	1.04×10^{19}
densità di stati effettiva in banda di valenza $N_v [\text{cm}^{-3}]$	1.04×10^{19}	0.6×10^{19}