

1. Si consideri il sistema cristallino in **Fig. 1**, dove  $a = 2$  nm. È un reticolo di Bravais? Nel caso in cui non fosse un reticolo di Bravais, proporre una combinazione base-reticolo. Determinare la densità atomica superficiale.
2. Un cristallo cubico semplice con passo  $a = 0.6$  nm è illuminato da un fascio di fotoni con energia  $E_{ph} = 2$  keV. Calcolare tutti i picchi di diffrazione osservabili.
3. Si consideri un esperimento di effetto fotoelettrico in cui il catodo è illuminato da un fascio di luce di lunghezza d'onda  $\lambda = 100$  nm. Sapendo che in assenza di tensione di accelerazione, la velocità dell'elettrone all'anodo è pari a  $v_e = 1.5 \cdot 10^6$  m/s, determinare la funzione lavoro  $W$  del metallo di cui è composto il catodo.
4. Si consideri la barriera trapezoidale in **Fig. 2**, con  $a = 2$  nm e  $V_0 = 5$  eV. Determinare la probabilità di trasmissione attraverso la barriera per un elettrone di energia  $E = 2$  eV.
5. Si consideri la buca larga  $a = 1$  nm e alta  $V_0 = 1$  eV in **Fig. 3**. Determinare l'energia dello stato fondamentale  $E_1$  usando l'approssimazione di buca a pareti infinite. Stimare quindi la lunghezza d'onda dello stato fondamentale, tenendo conto della penetrazione dell'elettrone nella regione di barriera.
6. Un pacchetto elettronico popola la banda di conduzione di un semiconduttore descritta dalla relazione di dispersione  $E(k) = \frac{E_0}{2} [1 - \cos(ka)]$ , con  $E_0 = 1$  eV e  $a = 0.9$  nm. In seguito all'applicazione di un campo elettrico  $F = 15$  kV/cm e all'effetto dello scattering fononico, il pacchetto in esame si colloca a regime in  $k_0 = 3.5 \cdot 10^8$  m<sup>-1</sup>. Calcolare il tempo di rilassamento del momento  $\tau_m$  e la mobilità  $\mu$  degli elettroni.
7. Si consideri il semiconduttore tridimensionale in **Fig. 4**, dove le valli giacciono alla stessa energia minima e le linee tratteggiate indicano i confini della prima zona di Brillouin (FBZ). Sapendo che per i minimi anisotropi  $m_i^* = 0.6m_e$ ,  $m_l^* = 0.2m_e$  e per il minimo isotropo  $m_i^* = 0.3m_e$ , determinare la massa DOS  $m_{DOS}^*$ .
8. Si considerino due campioni metallici di pari area di oro ( $W_{Au} = 5.1$  eV) e piombo ( $W_{Pb} = 4.25$  eV). Partendo dalla formula della corrente termoionica, stimare a che temperatura deve essere portato il piombo per garantire la stessa corrente termoionica dell'oro a temperatura ambiente (300 K), facendo ragionevoli approssimazioni.
9. Si consideri il setup di esperimento Hall in **Fig. 5**, dove una barretta di p-Si ( $N_A = 10^{18}$  cm<sup>-3</sup>) con fattore di forma  $W/L = 2$ , immersa in un campo magnetico  $B = 0.7$  T e soggetta ad una tensione longitudinale  $V_L = 1$  V, sviluppa una tensione di Hall di modulo  $|V_H| = 20$  mV. Dopo aver determinato la tipologia e la mobilità  $\mu$  dei portatori maggioritari, indicare il verso della tensione  $V_H$ .
10. Un semiconduttore di tipo p è irraggiato da una sorgente luminosa che induce una fotogenerazione uniforme nel volume del materiale. Sapendo che la concentrazione di elettroni aumenta di un fattore  $10^5$ , determinare di quanto si sposta a temperatura ambiente il livello di quasi Fermi degli elettroni  $F_n$  rispetto al livello di Fermi all'equilibrio  $E_F$ .

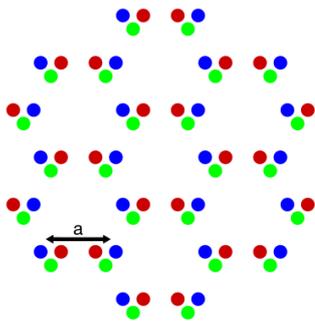


Fig. 1

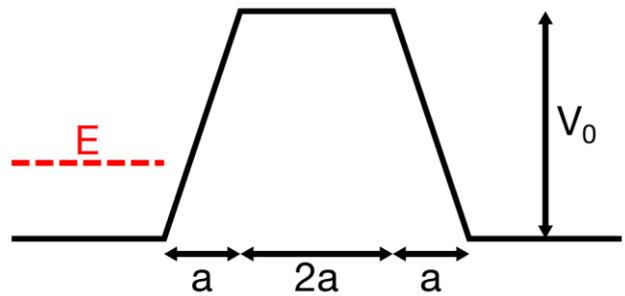


Fig. 2

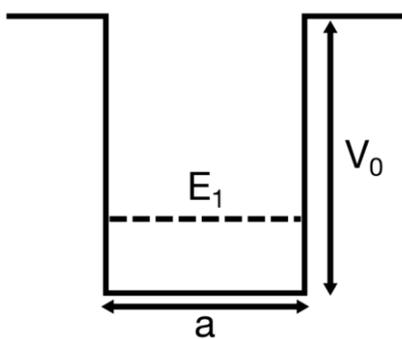


Fig. 3

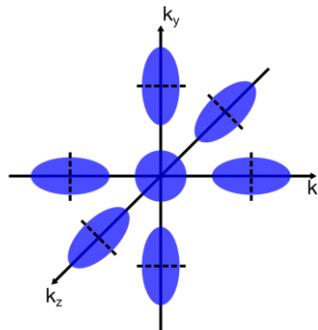


Fig. 4

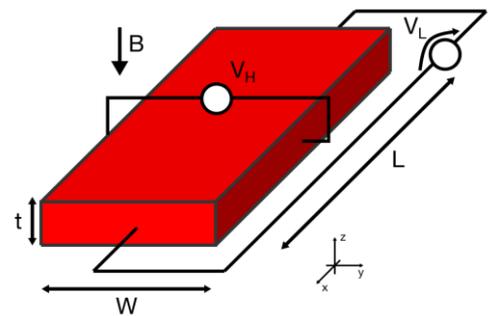


Fig. 5

1. Consider the crystalline system in **Fig. 1**, where  $a = 2$  nm. Is it a Bravais lattice? If not, propose a base-lattice combination. Calculate the surface atomic density.
2. A crystal with unitary cubic cell of side  $a = 0.6$  nm is illuminated with a photon beam with energy  $E_{ph} = 2$  keV. Determine all the observable diffraction peaks.
3. Consider a photoelectric experiment setup where the cathode is illuminated by a light beam with wavelength  $\lambda = 100$  nm. Knowing that when no acceleration voltage is applied, the electron velocity at the anode is  $v_e = 1.5 \cdot 10^6$  m/s, calculate the work-function  $W$  of the cathode metal.
4. Consider the trapezoidal barrier in **Fig. 2**, where  $a = 2$  nm and  $V_0 = 5$  eV. Calculate the transmission probability across the barrier for an electron of energy  $E = 2$  eV.
5. Consider the well in **Fig. 3** where  $a = 1$  nm and  $V_0 = 1$  eV. Determine the energy of the fundamental state  $E_1$  using the infinite-wall approximation. Estimate the wavelength of the fundamental state, considering the wavefunction penetration in the barrier region.
6. An electronic packet populates the conduction band of a semiconductor with dispersion relation  $E(k) = \frac{E_0}{2} [1 - \cos(ka)]$ , where  $E_0 = 1$  eV and  $a = 0.9$  nm. When a field  $F = 15$  kV/cm is applied, and due to phonon scattering, the packet moves to  $k_0 = 3.5 \cdot 10^8$  m<sup>-1</sup>. Compute the momentum relaxation time  $\tau_m$  and the mobility  $\mu$  for electrons.
7. Consider the 3D semiconductor in **Fig. 4**, where valleys lie at the same minimum energy and dashed lines mark the boundaries of the first Brillouin zone (FBZ). Knowing that for anisotropic minima  $m_l^* = 0.6m_e$ ,  $m_t^* = 0.2m_e$  and for the isotropic minimum  $m_i^* = 0.3m_e$ , compute the DOS mass  $m_{DOS}^*$ .
8. Consider two metallic samples with same area of gold ( $W_{Au} = 5.1$  eV) and lead ( $W_{Pb} = 4.25$  eV). Starting from the formula for thermionic emission current, estimate the temperature at which lead provides the same thermionic current of gold at room temperature (300 K), under reasonable approximations.
9. Consider the Hall experiment setup in **Fig. 5**, where a p-Si slab ( $N_A = 10^{18}$  cm<sup>-3</sup>) with form factor  $W/L = 2$ , under a magnetic field  $B = 0.7$  T and longitudinal voltage  $V_L = 1$  V, develops a Hall voltage of modulus  $|V_H| = 20$  mV. Determine the type and mobility  $\mu$  of majority carriers, and the direction of voltage  $V_H$ .
10. A p-type semiconductor is irradiated by a light source inducing uniform photogeneration inside the material volume. Knowing that the electron concentration increases by a factor  $10^5$ , determine the difference between the quasi-Fermi level for electrons  $F_n$  and the equilibrium Fermi level  $E_F$  at room temperature.

### Costanti fisiche:

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

	Si	Ge
costante dielettrica relativa $\epsilon_r$	11.7	16
concentrazione intrinseca $n_i$ [cm <sup>-3</sup> ]	$1.45 \times 10^{10}$	$2.4 \times 10^{13}$
gap di energia $E_G$ [eV]	1.12	0.66
densità di stati effettiva in banda di conduzione $N_C$ [cm <sup>-3</sup> ]	$2.8 \times 10^{19}$	$1.04 \times 10^{19}$
densità di stati effettiva in banda di valenza $N_V$ [cm <sup>-3</sup> ]	$1.04 \times 10^{19}$	$0.6 \times 10^{19}$