

1. Si consideri il reticolo cubico a facce centrate in **Fig. 1**. Sapendo che la distanza fra i primi vicini è pari a $d_{NN} = 1.41$ nm, determinare la densità atomica e il packing factor.
2. Si consideri un solido cristallino illuminato da una sorgente a raggi X di energia $E = 10$ keV. Sapendo che il primo picco di diffrazione associato ai piani $\{111\}$ è ottenuto per $\theta = 35^\circ$, calcolare gli angoli di diffrazione per i piani $\{100\}$. Determinare quindi la famiglia di piani avente la minima distanza interplanare che dia origine a diffrazione.
3. Si consideri un setup di esperimento fotoelettrico in cui un catodo in oro ($W = 5.3$ eV) è illuminato da una sorgente contenente due componenti cromatiche ($\lambda_1 = 150$ nm, $\lambda_2 = 200$ nm). Determinare la minima e massima tensione V_A da applicare al setup affinché solo la componente λ_1 dia origine a una fotocorrente all'anodo. È possibile avere fotocorrente solo dalla componente λ_2 ?
4. Si consideri il sistema buca-barriera in **Fig. 2**, dove $a = 1$ nm, $b = 2$ nm. Sapendo che il tempo medio di tunneling per un elettrone sul secondo autostato della buca di potenziale è pari a $t_{TUN} = 1$ ms, calcolare l'altezza V_0 della barriera di potenziale. Si consideri l'approssimazione di buca a pareti infinite per il solo calcolo dell'autostato.
5. Si consideri il profilo di potenziale definito a tratti in **Fig. 3**, dove $V(x) = 0$ eV per $|x| < 1$ nm e $V(x) = \alpha x^2 - \gamma$ per $|x| > 1$ nm, con $\alpha = 50$ meV/(nm)². Determinare il valore del parametro γ e stimare la lunghezza d'onda del fotone emesso da un elettrone che rilassi dal secondo al primo autostato.
6. Si consideri il diagramma a bande in **Fig. 4** ($m_c^* = 0.1m_0$, $m_v^* = 0.6m_0$), dove un elettrone localizzato all'apice della banda di valenza interagisce con un fotone di energia $E = 1$ eV e un fonone primario di momento $k_{phn,1} = 10^9$ m⁻¹ ed energia trascurabile. Dopo aver determinato l'energia del gap E_g , si calcoli il numero di fononi secondari emessi dall'elettrone nel termalizzare sul fondo della banda di conduzione, sapendo che l'energia del singolo fonone secondario è $E_{phn,2} = 25$ meV.
7. Si considerino due campioni metallici, uno in oro ($W_{Au} = 5.3$ eV) e l'altro di metallo ignoto. Sapendo che alla temperatura $T = 500$ K si osserva una densità di corrente termoionica per il metallo ignoto pari a 1/100 di quella osservata nel campione in oro, determinare la funzione lavoro del secondo campione.
8. Si consideri silicio drogato con impurezze di tipo accettore $N_A = 10^{17}$ cm⁻³. Nota l'energia di legame $E_A - E_V = 40$ meV e trascurando la dipendenza dalla temperatura delle densità di stati equivalenti in banda di conduzione e valenza N_C , N_V , determinare la temperatura T_{1-2} per la quale il livello di Fermi E_F coincide con l'energia dello stato accettore E_A , e la temperatura T_{2-3} per cui si ha $n_i = N_A$.
9. Si consideri la barretta di silicio drogato n sottoposta ad esperimento di effetto Hall in **Fig. 5** ($W = 500$ nm, $L = 200$ nm, $t = 100$ nm, $V_L = 1$ V, $V_H = 50$ mV, $B = 1$ T, $T = 300$ K, $N_d = 10^{17}$ cm⁻³). Determinare il verso della tensione di Hall e la mobilità dei portatori maggioritari. Nota la corrente attraverso la barretta $I = 25$ μ A, calcolare quindi la velocità dei portatori.
10. Si consideri una barretta di Silicio drogata n a temperatura ambiente. La barretta viene irraggiata creando un eccesso di portatori minoritari in $x = 0$ pari a circa 2000 volte la concentrazione di minoritari all'equilibrio. Sapendo che il tempo di ricombinazione e la mobilità dei minoritari sono rispettivamente $\tau_p = 10$ ns e $\mu_p = 100$ cm²V⁻¹s⁻¹, determinare a quale distanza L la concentrazione di minoritari in eccesso diventa pari a quella all'equilibrio.

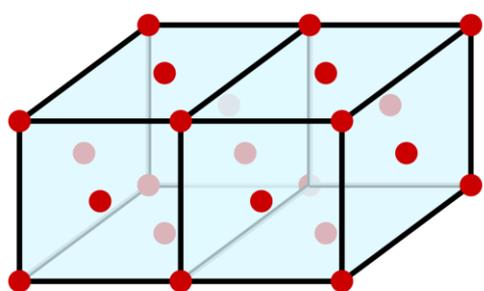


Fig. 1

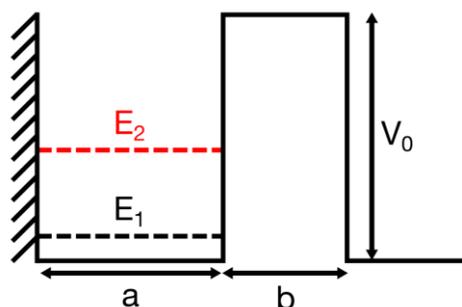


Fig. 2

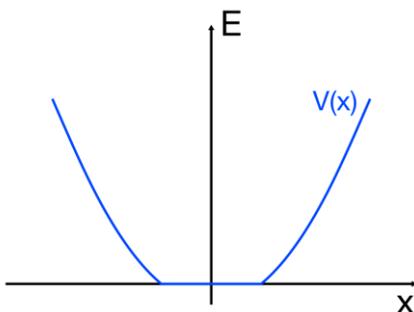


Fig. 3

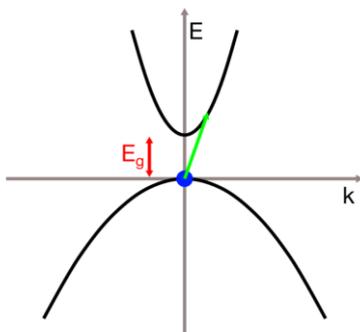


Fig. 4

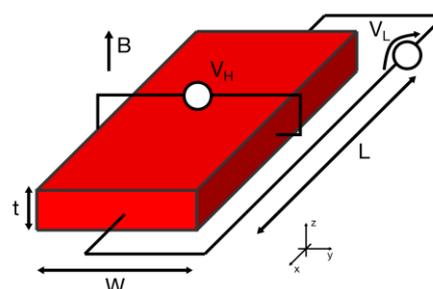


Fig. 5

1. Consider the cubic lattice in **Fig. 1**. Knowing that the distance between nearest neighbours is $d_{NN} = 1.41$ nm, calculate the atomic density and packing factor.
2. Consider a crystalline solid illuminated by an X-ray source with energy $E = 10$ keV. Knowing that the first diffraction peak associated with planes $\{111\}$ is obtained for $\theta = 35^\circ$, calculate the diffraction angles for planes $\{100\}$. Then, determine the family of planes having the minimal interplanar distance resulting in Bragg diffraction.
3. Consider a photoelectric experiment setup in which a gold cathode ($W = 5.3$ eV) is illuminated by a light source containing two chromatic components ($\lambda_1 = 150$ nm, $\lambda_2 = 200$ nm). Calculate the minimum and maximum voltage V_A that can be applied to the setup in order for λ_1 only to provide a photocurrent at the anode. Is it possible to have photocurrent from λ_2 only?
4. Consider the well-barrier system in **Fig. 2**, where $a = 1$ nm, $b = 2$ nm. Knowing that the mean tunneling time for an electron on the second eigenstate of the potential well is equal to $\tau_{TUN} = 1$ ms, calculate the height V_0 of the potential barrier. Consider the infinite-wall approximation for the eigenvalue calculation only.
5. Consider the piecewise potential profile **Fig. 3**, where $V(x) = 0$ eV for $|x| < 1$ nm and $V(x) = \alpha x^2 - \gamma$ for $|x| > 1$ nm, with $\alpha = 50$ meV/(nm)². Calculate the parameter γ and estimate the wavelength of the photon emitted by an electron relaxing from the second to the first eigenstate.
6. Consider the band diagram in **Fig. 4** ($m_c^* = 0.1m_0$, $m_v^* = 0.6m_0$), where an electron localized at the apex of the valence band interacts with a photon of energy $E = 1$ eV and a primary phonon with momentum $k_{phn,1} = 10^9$ m⁻¹ and negligible energy. After determining the gap energy E_g , calculate the number of secondary phonons emitted by the electron while thermalizing to the bottom of the conduction band, knowing that the energy of one secondary phonon is $E_{phn,2} = 25$ meV.
7. Consider two metallic samples, one made of gold ($W_{Au} = 5.3$ eV) and the other of an unknown metal. Knowing that at a temperature $T = 500$ K the unknown metal emits a thermionic current density equal to 1/100 of the current density observed in the gold sample, calculate the work function of the second sample.
8. Consider p-doped silicon with $N_A = 10^{17}$ cm⁻³. Given the binding energy $E_A - E_V = 40$ meV and neglecting the dependence on temperature of the equivalent density of states in the conduction and valence bands N_c , N_v , estimate the temperature T_{1-2} for which the Fermi level E_F coincides with the energy of the acceptor state E_A , and the temperature T_{2-3} for which $n_i = N_A$.
9. Consider the n-doped silicon slab undergoing a Hall effect experiment in **Fig. 5** ($W = 500$ nm, $L = 200$ nm, $t = 100$ nm, $V_L = 1$ V, $V_H = 50$ mV, $B = 1$ T, $T = 300$ K, $N_d = 10^{17}$ cm⁻³). Determine the sign of the Hall voltage and the mobility of majority carriers. Knowing that the current flowing through the slab is $I = 25$ μ A, calculate the carrier velocity.
10. Consider an n-doped silicon slab at room temperature. The slab is illuminated creating an excess of minority carriers in $x = 0$ equal to 2000 times the minority carrier concentration at equilibrium. Knowing that the recombination time and mobility for minority carriers are $\tau_p = 10$ ns and $\mu_p = 100$ cm²V⁻¹s⁻¹, respectively, determine the distance L at which the excess minority concentration becomes equal to the minority concentration at equilibrium.

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 ⁻¹
velocità della luce	$c = 2.998 \cdot 10^8$ m s ⁻¹
costante dielettrica nel vuoto	$\epsilon_0 = 8.85419 \cdot 10^{-12}$ F m ⁻¹
costante di Stefan-Boltzmann	$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8}$ W m ⁻² K ⁻⁴
costante di Wien	$c_W = 2.8 \cdot 10^{-3}$ K m

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