

1. Si consideri un cristallo cubico semplice con passo $a = 1 \text{ nm}$ sottoposto ad esperimento di diffrazione di Bragg. Dopo aver determinato la massima lunghezza d'onda affinché si possano osservare dei picchi di diffrazione, si calcolino tutti gli angoli di diffrazione per i piani $\{111\}$ quando il cristallo è illuminato con $\lambda = 0.5 \text{ nm}$.
2. Si considerino un corpo nero BB_1 ($P = 1 \text{ W}$, $T = 800 \text{ K}$) e tre corpi C_2 , C_3 , C_4 di area pari a BB_1 ($P_2 = 1.6 \text{ W}$, $P_3 = 1.26 \text{ W}$, $P_4 = 2 \text{ W}$, $T_2 = T_3 = 900 \text{ K}$, $\lambda_{peak,4} = 2.943 \mu\text{m}$). Determinare quali tra C_2 , C_3 , C_4 sono dei corpi neri, motivando opportunamente la risposta.
3. Si consideri il profilo di potenziale riportato in **Fig. 1** ($V_0 = 2 \text{ eV}$), dove un fascio elettronico incide sulla discontinuità di potenziale da sinistra verso destra. Sapendo che il flusso riflesso è pari al flusso trasmesso, determinare l'energia E del fascio.
4. Si consideri la buca di potenziale di larghezza $a = 1 \text{ nm}$ in **Fig. 2**, dove il riferimento energetico $E = 0$ è posto sull'apice della buca di profondità $V_0 = 4 \text{ eV}$. Determinare numero e posizione degli autostati confinati all'interno della buca in approssimazione di buca a pareti infinite. Successivamente, stimare la lunghezza di penetrazione del primo autostato all'interno della regione di barriera.
5. Due pacchetti d'onda gaussiani centrati in $k_0 = 10^9 \text{ m}^{-1}$ con $\sigma_{k,1} = 10^8 \text{ m}^{-1}$ e $\sigma_{k,2} = 5 \cdot 10^8 \text{ m}^{-1}$ vengono lanciati nello stesso istante in un mezzo caratterizzato da una relazione di dispersione $E(k) = E_0(1 + \cos(4ka))$ con $a = 1 \text{ nm}$, $E_0 = 1 \text{ eV}$. Determinare il tempo t affinché i due pacchetti abbiano la medesima dispersione spaziale σ_x .
6. Un cristallo caratterizzato da una relazione di dispersione $E(k) = E_0(1 - \cos(ka))$ con $E_0 = 0.5 \text{ eV}$, $a = 2 \text{ nm}$ è sottoposto ad un campo elettrico $F = 10 \text{ kV/cm}$. Considerando lo stato di fondo banda, determinare la posizione spaziale del pacchetto dopo un tempo $t = 100 \text{ ps}$ in assenza di fenomeni di scattering.
7. Si considerino due campioni metallici ($W_1 = 5 \text{ eV}$). Sapendo che il secondo campione a temperatura $T_2 = 500 \text{ K}$ è caratterizzato dalla stessa densità di corrente termoionica del primo campione a temperatura $T_1 = 400 \text{ K}$, determinare la funzione lavoro W_2 del secondo campione.
8. Una barretta di silicio intrinseco a temperatura $T_1 = 300 \text{ K}$ sottoposta ad una tensione $V_1 = 1 \text{ V}$ porta una corrente $I_1 = 100 \mu\text{A}$. Determinare la temperatura T_2 affinché la barretta porti la medesima corrente quando è sottoposta ad una tensione $V_2 = 0.5 \text{ V}$, supponendo di rimanere in entrambi i casi in regime di velocità lineare.
9. Si consideri il setup sperimentale di effetto Hall in **Fig. 3** ($W = 1 \mu\text{m}$, $t = 1 \mu\text{m}$, $L = 2 \mu\text{m}$, $B = 0.5 \text{ T}$, $V_L = 1 \text{ V}$). Sapendo che la tensione $V_H = 10 \text{ mV}$ è positiva nel verso indicato e che la corrente è pari a $I = 1 \mu\text{A}$, determinare tipologia, concentrazione e mobilità dei droganti.
10. Una barretta di silicio drogata p ($N_A = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, $\tau_n = 1 \text{ ps}$, $\mu_n = 400 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$) è sottoposta ad illuminazione in corrispondenza del piano $x = 0$, generando una concentrazione di minoritari in eccesso $\delta n(0) = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ che viene mantenuta in ogni istante successivo. Riportare in un grafico quotato l'andamento dei quasi livelli di Fermi per elettroni e lacune e la concentrazione dei minoritari lungo la barretta.

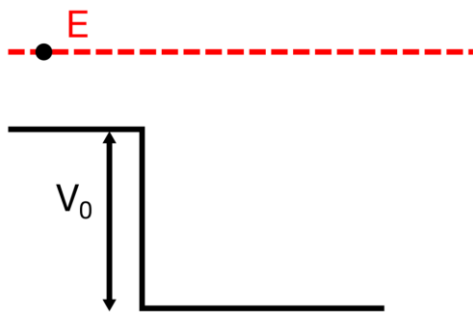


Fig. 1

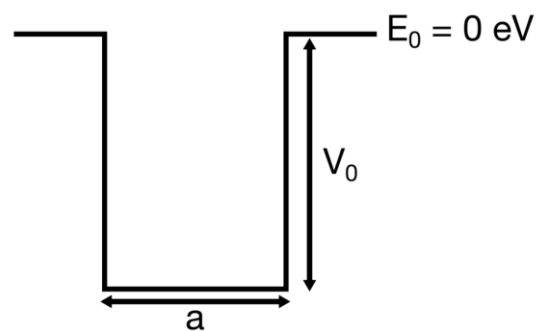


Fig. 2

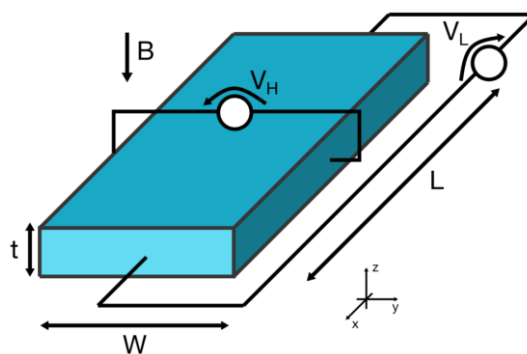


Fig. 3

1. Consider a simple cubic crystal with lattice step $a = 1$ nm undergoing a Bragg diffraction experiment. Determine the maximum wavelength to observe diffraction peaks on a screen located behind the crystal. Considering then $\lambda = 0.5$ nm, calculate all diffraction angles for {111} planes.
2. Consider a black body BB_1 ($P = 1$ W, $T = 800$ K) and three bodies C_2, C_3, C_4 with same area as BB_1 ($P_2 = 1.6$ W, $P_3 = 1.26$ W, $P_4 = 2$ W, $T_2 = T_3 = 900$ K, $\lambda_{peak,4} = 2.943$ μm). Determine which of C_2, C_3, C_4 are black bodies with reasonable supporting arguments.
3. Consider the potential profile in **Fig. 1** ($V_0 = 2$ eV), where an electron beam incides on the potential discontinuity from left to right. Knowing that the reflected and transmitted flux have the same magnitude, determine the energy E of the beam.
4. Consider the potential well of width $a = 1$ nm in **Fig. 2**, where the energy reference $E = 0$ is located on the apex of the well of depth $V_0 = 4$ eV. Determine number and energy of the eigenstates confined in the well, using the infinite wall approximation. Then, estimate the penetration length of the first eigenstate in the barrier region.
5. Two gaussian wavepackets centered in $k_0 = 10^9$ m^{-1} with $\sigma_{k,1} = 10^8$ m^{-1} and $\sigma_{k,2} = 5 \cdot 10^8$ m^{-1} are simultaneously imitted in a medium characterized by a dispersion relation $E(k) = E_0(1 + \cos(4ka))$ with $a = 1$ nm, $E_0 = 1$ eV. Estimate the time t for the two wavepackets to have the same spatial dispersion σ_x .
6. A field $F = 10$ kV/cm is applied to a crystal characterized by a dispersion relation $E(k) = E_0(1 - \cos(ka))$ with $E_0 = 0.5$ eV, $a = 2$ nm. Determine the spatial position of the state at the bottom of the conduction band after a time $t = 100$ ps when no scattering phenomena are present.
7. Consider two metallic samples. Knowing that the second sample at temperature $T_2 = 500$ K is characterized by the same thermionic emission current density of the first sample ($W_1 = 5$ eV) at temperature $T_1 = 400$ K, estimate the work-function W_2 of the second sample.
8. A slab of intrinsic silicon at temperature $T_1 = 300$ K sustains a current $I_1 = 100$ μA under a voltage difference $V_1 = 1$ V. Determine the temperature T_2 such that the slab sustains the same current under a voltage difference $V_2 = 0.5$ V, assuming for both cases to operate in the linear velocity regime.
9. Consider the Hall experiment setup in **Fig. 3** ($W = 1$ μm , $t = 1$ μm , $L = 2$ μm , $B = 0.5$ T, $V_L = 1$ V). Knowing that the voltage $V_H = 10$ mV is positive in the depicted direction and that the current along the slab is $I = 1$ μA , determine type, concentration and mobility of majority carriers.
10. A p-doped silicon slab ($N_A = 10^{18}$ cm^{-3} , $\tau_n = 1$ ps, $\mu_n = 400$ $\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$) undergoes illumination on the $x = 0$ plane, resulting in an excess minority carrier concentration $\delta n(0) = 10^{10}$ cm^{-3} which is maintained throughout the experiment. Plot the quasi-Fermi levels for electrons and holes and the minority carriers concentration along the slab, opportunely calculating values for points of interest.

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

$m_0 = 9.109 \cdot 10^{-31}$ kg
 $h = 6.626 \cdot 10^{-34}$ J s
 $e = 1.602 \cdot 10^{-19}$ C
 $k_B = 1.381 \cdot 10^{-23}$ J K $^{-1}$
 $c = 2.998 \cdot 10^8$ m s $^{-1}$
 $\epsilon_0 = 8.85419 \cdot 10^{-12}$ F m $^{-1}$
 $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8}$ W m $^{-2}$ K $^{-4}$
 $c_W = 2.8 \cdot 10^{-3}$ 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}]	3.2×10^{19}	1.04×10^{19}
densità di stati effettiva in banda di valenza N_V [cm^{-3}]	1.8×10^{19}	0.6×10^{19}