

1. Si consideri la struttura in **Fig. 1**. Identificare una combinazione base-reticolo e disegnare la corrispondente cella di Wigner-Seitz. Noti $a = 1 \text{ nm}$, $b = 0.5 \text{ nm}$ e $\theta = 120^\circ$, determinare la densità atomica superficiale.
2. Si consideri un setup di esperimento fotoelettrico con catodo in oro ($W = 5.3 \text{ eV}$). Determinare la massima lunghezza d'onda λ_{max} di un fascio luminoso incidente sul catodo per osservare fotoemissione in assenza di polarizzazione ($V_A = 0 \text{ V}$). Si imponga quindi $\lambda = 0.2 \mu\text{m}$. Tracciare un grafico quotato della velocità degli elettroni fotoemessi lungo il dispositivo nel caso $V_A = -0.5 \text{ V}$.
3. Si consideri il profilo di potenziale in **Fig. 2**, dove un elettrone di energia cinetica $E_k = 1 \text{ eV}$ incide sulla discontinuità da sinistra verso destra. Sapendo che il flusso trasmesso è pari a 3 volte il flusso riflesso, determinare l'ampiezza V_0 della discontinuità e l'energia totale E dell'elettrone.
4. Si consideri il sistema buca-barriera in **Fig. 3**, dove $a = 1 \text{ nm}$, $b = 2 \text{ nm}$, $V_0 = 3 \text{ eV}$. Determinare il campo F da applicare alla barriera affinché il tempo medio di tunneling per un elettrone localizzato sul secondo stato confinato della buca sia pari a $t_{\text{TUN}} = 1 \text{ ps}$. (Considerare l'approssimazione di buca a pareti infinite ai soli fini del calcolo dell'autostato.)
5. Un cristallo monodimensionale è descritto dalla relazione di dispersione $E(k) = E_0 + E_1 \cos(2ka)$, dove $E_0 = 100 \text{ meV}$, $E_1 = 50 \text{ meV}$, $a = 1 \text{ nm}$. Tracciare un grafico quotato della relazione di dispersione $E(k)$ e della velocità di gruppo $v_g(k)$ nella prima zona di Brillouin (FBZ). Determinare quindi i valori di k nella FBZ per i quali la massa efficace è infinita.
6. Si consideri un semiconduttore a gap diretto ($m_{\text{BC}}^* = 0.1m_0$, $m_{\text{BV}}^* = 0.4m_0$, $E_g = 0.8 \text{ eV}$). Determinare il momento iniziale k_i e finale k_f di un elettrone che venga promosso dalla banda di valenza alla banda di conduzione in presenza di un fotone di energia $E_{\text{ph}} = 1 \text{ eV}$ e un fonone di momento $k_{\text{phn}} = +10^8 \text{ m}^{-1}$ ed energia $E_{\text{phn}} = 100 \text{ meV}$.
7. Si considerino due campioni di niobio ($W_{\text{Nb}} = 4.3 \text{ eV}$) e alluminio ($W_{\text{Al}} = 4.1 \text{ eV}$). Determinare a che temperatura deve essere portato l'alluminio per osservare la stessa densità di corrente termoionica del niobio a temperatura $T_{\text{Nb}} = 350 \text{ K}$, facendo ragionevoli approssimazioni.
8. Ad una barretta di fosforo di indio intrinseca ($N_c(300 \text{ K}) = 5.7 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, $N_v(300 \text{ K}) = 1.1 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, $E_g = 1.344 \text{ eV}$, $W = 500 \mu\text{m}$, $L = t = 100 \text{ nm}$, $\mu_n(300 \text{ K}) = 5400 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$, $\mu_p(300 \text{ K}) = 200 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$) è applicata una differenza di potenziale $V_A = 3.3 \text{ V}$. Determinare la corrente attraverso la barretta a $T = 400 \text{ K}$.
9. Si consideri il campione di silicio drogato n sottoposto ad esperimento di effetto Hall in **Fig. 4** ($N_D = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, $W = 10L$, $\mu_n = 100 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$, $B = 1 \text{ T}$). Determinare modulo e verso della tensione di Hall V_H in presenza di una tensione longitudinale $V_L = 1 \text{ V}$.
10. Si consideri un campione di silicio di lunghezza $L = 100 \text{ nm}$ a temperatura ambiente ($\mu_n(300 \text{ K}) = 200 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$), il cui profilo di drogaggio è descritto dalla relazione $N_D(x) = N_{D0}(1+5x/L)$ con $N_{D0} = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$. Calcolare la densità di corrente di diffusione e il campo elettrico agli estremi del dispositivo.

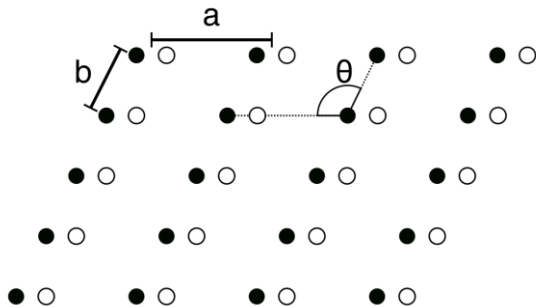


Fig. 1

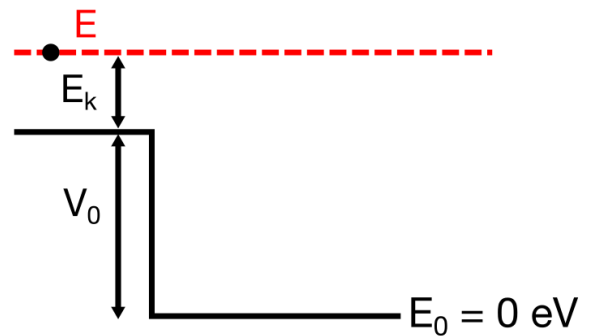


Fig. 2

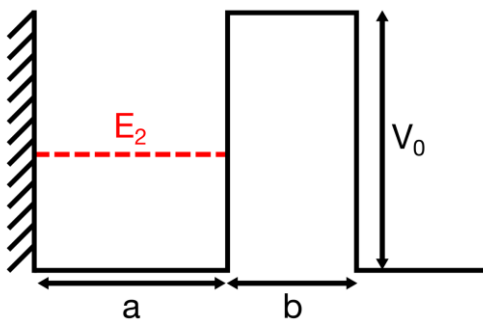


Fig. 3

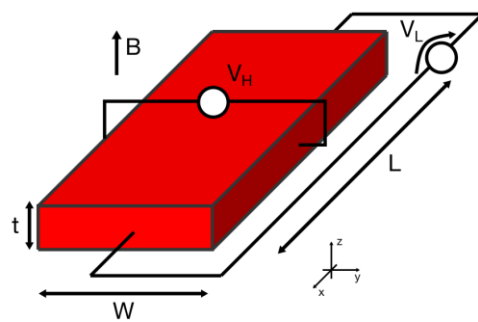


Fig. 4

1. Consider the structure in **Fig. 1**. Identify a suitable base-lattice combination and draw the corresponding Wigner-Seitz cell. Given $a = 1$ nm, $b = 0.5$ nm, and $\theta = 120^\circ$, calculate the surface atomic density.
2. Consider a photoelectric experiment setup with a gold cathode ($W = 5.3$ eV). Calculate the maximum wavelength λ_{\max} of a light beam impinging on the cathode to observe photoemission when no bias is applied ($V_A = 0$ V). Set now $\lambda = 0.2$ μm . Draw a quoted graph of the velocity of photoemitted electrons along the device when $V_A = -0.5$ V.
3. Consider the potential profile in **Fig. 2**, where an electron with kinetic energy $E_k = 1$ eV impinges on the discontinuity from left to right. Knowing that the transmitted flux is 3 times the reflected flux, estimate the amplitude V_0 of the discontinuity and the total energy E of the electron.
4. Consider the well-barrier system in **Fig. 3**, where $a = 1$ nm, $b = 2$ nm, $V_0 = 3$ eV. Calculate the electric field F that must be applied to the barrier in order for the mean tunneling time for an electron on the second well eigenstate to be $\tau_{\text{TUN}} = 1$ ps. (Consider the infinite-wall approximation for the potential well for eigenstate computation only.)
5. A monodimensional crystal is described by the dispersion relation $E(k) = E_0 + E_1 \cos(2ka)$, where $E_0 = 100$ meV, $E_1 = 50$ meV, $a = 1$ nm. Draw a quoted graph of the dispersion relation $E(k)$ and group velocity $v_g(k)$ in the first Brillouin zone (FBZ). Then, calculate the values k in the FBZ for which the effective mass is infinite.
6. Consider a direct-gap semiconductor ($m_{\text{BC}}^* = 0.1m_0$, $m_{\text{BV}}^* = 0.4m_0$, $E_g = 0.8$ eV). Calculate the initial k_i and final momentum k_f of an electron promoted from the valence band to the conduction band thanks to a photon with energy $E_{\text{ph}} = 1$ eV and a phonon with momentum $k_{\text{phn}} = +10^8$ m^{-1} and energy $E_{\text{phn}} = 100$ meV.
7. Consider two metallic samples of niobium ($W_{\text{Nb}} = 4.3$ eV) and aluminum ($W_{\text{Al}} = 4.1$ eV). Estimate the temperature at which the aluminum must be brought to observe the same thermionic current density of niobium at temperature $T_{\text{Nb}} = 350$ K, under reasonable approximations.
8. A potential difference $V_A = 3.3$ V is applied to a slab of indium phosphide ($N_{\text{C}}(300\text{ K}) = 5.7 \cdot 10^{17}$ cm^{-3} , $N_{\text{V}}(300\text{ K}) = 1.1 \cdot 10^{19}$ cm^{-3} , $E_g = 1.344$ eV, $W = 500$ μm , $L = t = 100$ nm, $\mu_n(300\text{ K}) = 5400$ $\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$, $\mu_p(300\text{ K}) = 200$ $\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$). Calculate the current through the slab at temperature $T = 400$ K.
9. Consider the n-doped silicon undergoing an Hall effect experiment in **Fig. 4** ($N_{\text{D}} = 10^{17}$ cm^{-3} , $W = 10L$, $\mu_n = 100$ $\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$, $B = 1$ T). Determine modulus and direction of the Hall voltage V_{H} when a longitudinal voltage $V_{\text{L}} = 1$ V is applied to the slab.
10. Consider a silicon sample of length $L = 100$ nm at room temperature ($\mu_n(300\text{ K}) = 200$ $\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$), whose doping profile is given by $N_{\text{D}}(x) = N_{\text{D0}}(1+5x/L)$ where $N_{\text{D0}} = 10^{16}$ cm^{-3} . Calculate the diffusion current density and the electric field at device extrema.

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	$k_{\text{B}} = 1.381 \cdot 10^{-23}$ 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	$c_{\text{W}} = 2.8 \cdot 10^{-3}$ 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}