

1. Si studi la struttura 2D in Fig. 1, con $a = 6\text{ nm}$ e $b = 5\text{ nm}$, spiegando perché non è un reticolo di Bravais. Si indichi graficamente una base per cui la struttura cristallina possa essere ricondotta ad un reticolo 2D noto e si specifichi il tipo di reticolo ottenuto. Disegnare una cella unitaria primitiva e una relativa coppia di vettori primitivi. Quanti atomi per cella sono presenti nella cella così ottenuta? Si disegni inoltre qualitativamente la cella di Wigner-Seitz.
2. Un fascio laser con $\lambda = 195\text{ nm}$ genera fotoelettroni incidendo su un target di rame ($W = 4.7\text{ eV}$), Fig. 2. Sapendo che $R = 0\text{ Ohm}$ e $V = 10\text{ V}$, quanto vale la λ dei fotoelettroni all'anodo? Considerando $R > 0$, ed ipotizzando una caduta di potenziale $V_R = 1.5\text{ V}$, come cambia in percentuale la velocità degli elettroni che arrivano all'anodo?
3. Si consideri un elettrone con $m^* = 0.33 m_0$ ed energia pari a 1.7 eV incidente contro una barriera di potenziale rettangolare di altezza $W = 3.5\text{ eV}$ e larghezza $a = 5.1\text{ nm}$. Qual è la probabilità di tunneling p_t , considerando una tensione applicata ai capi della barriera di 0 V e 5 V , rispettivamente?
4. Si consideri la buca di potenziale triangolare in Fig. 3, con $\alpha = 4\text{ eV/nm}$ e $\beta = 1.3\text{ eV/nm}$. Mediante il principio di indeterminazione, stimare l'andamento degli autovalori della buca. Si stimi inoltre il secondo autovalore della buca.
5. Si consideri la relazione di dispersione $E(k) = E_0 + E_0 \cos(2ka)$, con $E_0 = 2\text{ eV}$ e $a = 0.5\text{ nm}$. Considerando la prima zona di Brillouin, calcolare per quali intervalli di k la massa efficace m^* è negativa e per quali valori di k la massa efficace è infinita.
6. Si consideri il profilo di potenziale barriera-buca-barriera mostrato in Fig. 4(I) ed un elettrone incidente da sinistra verso destra. Utilizzando l'approssimazione di buca a pareti infinite, si rappresenti qualitativamente il modulo quadro del coefficiente di trasmissione $|T_1|^2$ in funzione di E per $E < V$. Inoltre, estendendo il profilo di potenziale al reticolo mostrato in Fig. 4(II), si rappresenti in modo qualitativo $|T_2|^2$ in funzione di E per $E < V$. Nel caso si considerasse ogni buca a pareti finite, come cambierebbe qualitativamente il grafico ottenuto?
7. Si consideri un semiconduttore generico con 6 minimi ellissoidali in banda di conduzione (massa longitudinale $m_l^* = 0.7 m_0$ e massa trasversale $m_t^* = 0.34 m_0$) e 2 massimi sferici in $k = 0$ per la banda di valenza, con $m_1 = 0.5 m_0$, $m_2 = 0.9 m_0$. Calcolare la massa di conduzione per elettroni e lacune e le rispettive mobilità sapendo che $\tau_m = 10^{-13}\text{ s}$.
8. Si consideri un campione di Silicio in cui $E_F = E_i - 0.3\text{ eV}$. Quanto è la densità elettronica n a temperatura ambiente? La densità di lacune p ? A che temperatura la concentrazione intrinseca eguaglia il drogaggio?
9. Si consideri l'apparato sperimentale in Fig. 5, con $W = 4.1\text{ eV}$, $m = m_0$ ed $R_1 = R_2 = 0\text{ Ohm}$. Sapendo che la T del filamento passa da 3250 K a 3150 K , quanto cambia la corrente termoionica? Si studi qualitativamente come $R_1 > 0$ ed $R_2 > 0$ influiscono sulla corrente termoionica.
10. Si consideri un campione di silicio drogato $N_D = 3 \cdot 10^{18}\text{ cm}^{-3}$. Sapendo che la differenza energetica fra il livello dei donori e la banda di conduzione è pari a $E_C - E_D = 25\text{ meV}$, si calcoli la temperatura di passaggio dal regime di freeze-out al regime estrinseco.

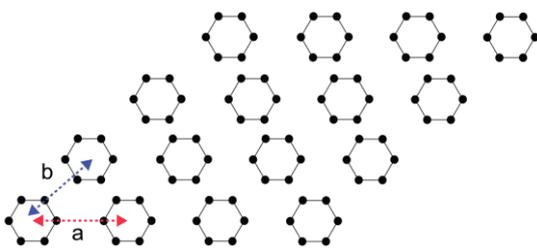


Fig. 1

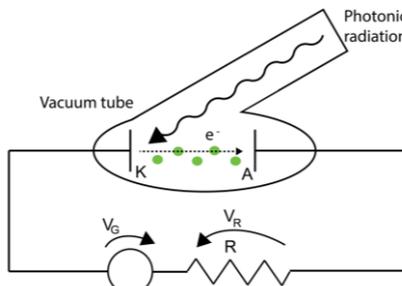


Fig. 2

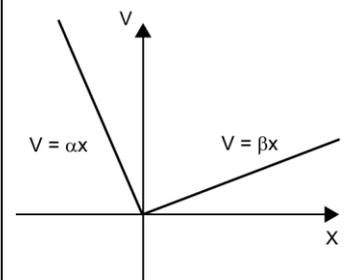


Fig. 3

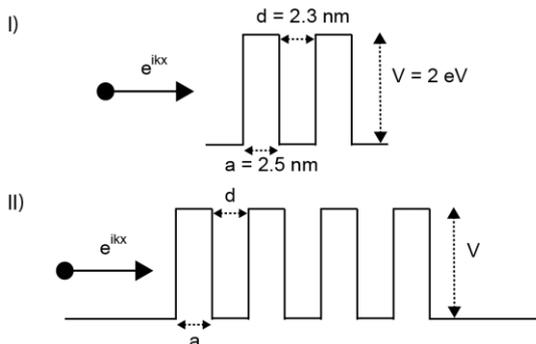


Fig. 4

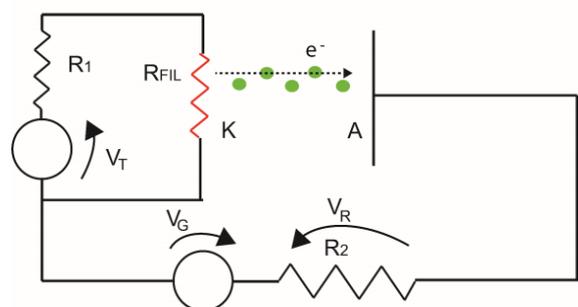


Fig. 5

1. Study the 2D structure of Fig. 1 with $a = 6\text{ nm}$ and $b = 5\text{ nm}$ explaining why it is not a Bravais lattice. Draw a basis for which the lattice can be referred to a fundamental 2D lattice structure showing the corresponding Bravais lattice. Draw a unit cell and the corresponding unit vectors. How many atoms are included in one cell? How many lattice nodes? Draw the corresponding Wigner-Seitz cell.
2. A laser beam with $\lambda = 195\text{ nm}$ generates photoelectrons when it impinges on a copper target ($W = 4.7\text{ eV}$), Fig.2. Knowing that $R = 0\text{ Ohm}$ and $V = 10\text{ V}$, what is the λ of the photoelectrons at the anode? Considering a voltage drop on R equal to $V_R = 1.5\text{ V}$, how much does the speed of the photoelectrons change?
3. Consider an electron with $E = 1.7\text{ eV}$ and $m^* = 0.33 m_0$ that impinges a potential barrier with height $W = 3.5\text{ eV}$ and width $a = 5.1\text{ nm}$. What is the tunneling probability p_t , considering a voltage applied to the barrier of 0 V and 5 V , respectively?
4. Consider the triangular well in Fig. 3, with $a = 4\text{ eV/nm}$ and $b = 1.3\text{ eV/nm}$. Using the uncertainty principle, estimate the tendency of the eigenvalues and the second eigenvalue of the well.
5. Consider the dispersion relationship $E(k) = E_0 + E_0 \cos(2ka)$, with $E_0 = 2\text{ eV}$ and $a = 0.5\text{ nm}$. Within the first Brillouin zone, calculate the intervals in the k space for which the effective mass m^* is negative and the values of k for which m^* is infinite.
6. Consider the potential profile barrier-well-barrier shown in Fig. 4(I) and an impinging electron from left to right. Using the infinite well approximation, sketch qualitatively the square modulus of transmission coefficient $|T_1|^2$ as a function of E for $E < V$. In addition, extending the potential profile barrier-well-barrier to the lattice shown in Fig. 4(II), sketch qualitatively $|T_2|^2$ as a function of E for $E < V$. Considering the finite well approximation, study qualitatively how the graph changes.
7. Consider a generic semiconductor that has 6 equal ellipsoidal minima in the conduction band (with the transversal mass $m_t^* = 0.7 m_0$ and the longitudinal mass $m_l^* = 0.34 m_0$) and 2 spherical maxima in the valence band with $m_1 = 0.5 m_0$ and $m_2 = 0.9 m_0$. Compute the conductive mass for electrons and holes and the corresponding mobilities given that $\tau_m = 10^{-13}\text{ s}$.
8. Consider a silicon system with $E_F = E_i - 0.3\text{ eV}$. Which is the electronic density n at room temperature? Which is the density h of the holes? At what temperature the intrinsic density equals the doping?
9. Consider the experimental apparatus in Fig. 5 with $W = 4.1\text{ eV}$, $m = m_0$ and $R_1 = R_2 = 0\text{ }\Omega$. Knowing that the temperature of the filament lowers from 3250 K to 3150 K , how does the thermionic current change? Moreover, study qualitatively how $R_1 > 0$ and $R_2 > 0$ modify the thermionic current.
10. Consider a silicon system with $N_D = 3 \cdot 10^{18}\text{ cm}^{-3}$. Knowing that energetic difference between the level of the donors and the conduction band is $E_C - E_D = 25\text{ meV}$, compute the temperature to pass from the freeze-out to the extrinsic regime.

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 [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}