

1. Si consideri la struttura cristallina del grafene in **Fig. 1**. Determinare base, reticolo e vettori primitivi. Noto $a = 0.14$ nm, calcolare la densità atomica e la densità elettronica, sapendo che ogni atomo contribuisce con 4 elettroni di valenza.
2. Si consideri un setup di esperimento fotoelettrico in cui un campione in oro ($W = 5.1$ eV) è illuminato da un fascio bicromatico composto da una prima componente a $\lambda_1 = 100$ nm e una seconda componente a $\lambda_2 = 150$ nm. Determinare l'intervallo di tensioni V_A affinché si osservi effetto fotoelettrico dalla sola componente λ_1 . Data $V_A = 5$ V, calcolare le lunghezze d'onda di de Broglie all'anodo.
3. Un corpo nero sferico BB_1 emette il 70% della potenza di un secondo corpo nero BB_2 di pari raggio. Nota la lunghezza d'onda di emissione di picco $\lambda_1 = 1$ μ m del corpo nero BB_1 , calcolare la temperatura del corpo nero BB_2 .
4. Si considerino le due barriere di potenziale in **Fig. 2**, corrispondenti a due strati di ossido in SiO_2 (**Fig. 2a**, $V_1 = 3.1$ eV) e HfO_2 (**Fig. 2b**, $V_2 = 2.2$ eV). Sapendo che lo strato di SiO_2 è spesso $a_1 = 1$ nm, determinare lo spessore a_2 dell' HfO_2 per garantire la medesima corrente di leakage in assenza di campo applicato, per elettroni ad energia $E = 1$ eV.
5. Si considerino le buche accoppiate in **Fig. 3**, dove $a = 1$ nm. Determinare il modulo u_0 della barriera affinché lo stato non stazionario ottenuto dalla sovrapposizione dei primi due autostati oscilli a una frequenza $f_{1-2} = 10$ THz.
6. Un elettrone in un cristallo di passo $a = 2$ nm è descritto da un'autofunzione $\psi_k(x) = u_k(x)e^{ikx}$. Sapendo che l'autofunzione torna in fase dopo 4 passi reticolari, determinare il valore del vettore d'onda cristallino k . Tracciare quindi il profilo della parte reale dell'autofunzione $\psi_k(x)$ su 6 passi reticolari, sapendo che la funzione di Bloch è di tipo pari con un solo massimo in corrispondenza dell'atomo.
7. Si consideri la struttura a bande del semiconduttore 3D mostrata in **Fig. 4**, dove si evidenziano due valli isoenergetiche in banda di conduzione, una in corrispondenza del punto L e una a metà dell'asse Γ -X. Sapendo che in entrambe le valli $m^*_l = 0.2m_0$, $m^*_t = 0.5m_0$, determinare la massa DOS per gli elettroni in banda di conduzione.
8. Un campione in cesio ($W_1 = 2.14$ eV) di area A_1 e temperatura $T_1 = 600$ K emette la stessa corrente termoionica $I_1 = I_2$ di un campione in oro ($W_2 = 5.1$ eV) di area $A_2 = 100A_1$ e temperatura T_2 . Calcolare la funzione lavoro W_3 di un terzo metallo avente temperatura $T_3 = 2T_2$ e densità di corrente termoionica J_3 pari a quella del cesio ($J_3 = J_1$), facendo ragionevoli approssimazioni.
9. Una barretta di silicio di lunghezza $L = 500$ nm ($\mu_n(300$ K) = 770 cm^2/Vs) è inizialmente drogata con atomi donori, ottenendo una concentrazione uniforme di drogante $N_{D0} = 10^{16}$ cm^{-3} . La barretta subisce un ulteriore drogaggio, al termine del quale la concentrazione di drogante assume un profilo parabolico $N_D(x) = N_{D0}(1 + 9x^2/L^2)$, riportato in **Fig. 5**. Tracciare un grafico quotato della densità di corrente di diffusione $J_{diff}(x)$ e del campo elettrico $F(x)$ nello spazio, riportando in particolare i valori $J_{diff}(0)$, $J_{diff}(L)$, $F(0)$, $F(L)$, e il minimo valore di campo F_{min} lungo il dispositivo.
10. Si consideri una barretta di silicio ($L = 600$ μ m, $\tau_p = 100$ ns, $\mu_p = 400$ cm^2/Vs) drogata n, con $N_D = 10^{18}$ cm^{-3} . La barretta viene irraggiata creando un eccesso di portatori minoritari in $x = 0$ pari a $\delta p(0) = 10^{15}$ cm^{-3} che viene mantenuto per ogni istante di tempo successivo. Determinare gli andamenti dei quasi livelli di Fermi F_N e F_P e riportarli in un grafico quotato.

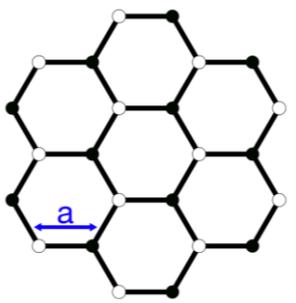


Fig. 1

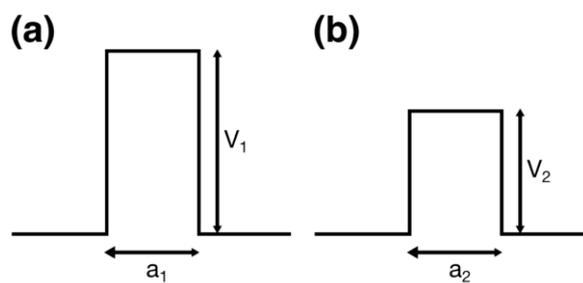


Fig. 2

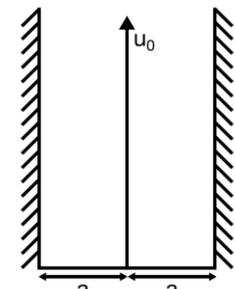


Fig. 3

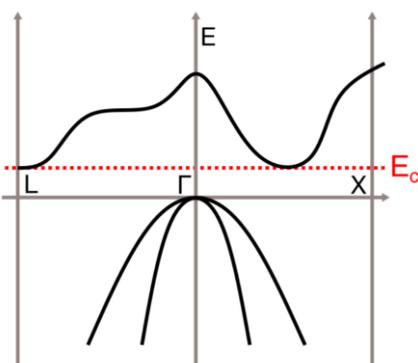


Fig. 4

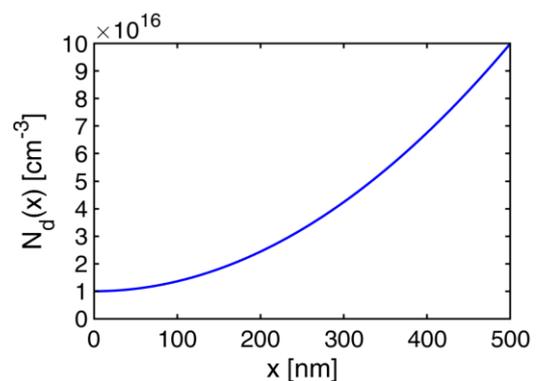


Fig. 5

1. Consider the crystal structure of graphene in **Fig. 1**. Determine the basis, lattice, and primitive vectors. Given $a = 0.14$ nm, calculate the atomic surface density and the electron surface density, assuming each atom contributes 4 valence electrons.
2. Consider a photoelectric experiment setup in which a gold sample (work function $W = 5.1$ eV) is illuminated by a bichromatic light beam composed of a first component with $\lambda_1 = 100$ nm and a second component with $\lambda_2 = 150$ nm. Determine the range of applied voltages V_A such that photoemission occurs only due to the λ_1 component. Given $V_A = 5$ V, calculate the de Broglie wavelengths at the anode.
3. A spherical black body BB_1 emits 70% of the power of a second spherical black body BB_2 with the same radius. Given the peak emission wavelength of BB_1 is $\lambda_1 = 1$ μm , calculate the temperature of BB_2 .
4. Consider the potential barriers in **Fig. 2**, corresponding to oxide layers in SiO_2 (**Fig. 2a**, $V_1 = 3.1$ eV) and HfO_2 (**Fig. 2b**, $V_2 = 2.2$ eV). Knowing that the SiO_2 layer has a thickness of $a_1 = 1$ nm, calculate the thickness of the HfO_2 layer to guarantee the same leakage current in absence of applied field, for electrons with energy $E = 1$ eV.
5. Consider the coupled quantum wells in **Fig. 3**, with $a = 1$ nm. Determine the barrier height u_0 such that the non-stationary state formed by the superposition of the first two eigenstates oscillates with a frequency $f_{1-2} = 10$ THz.
6. An electron in a crystal with lattice constant $a = 2$ nm is described by a wavefunction $\psi_k(x) = u_k(x)e^{ikx}$. Given that the wavefunction returns in phase after 4 lattice constants, determine the value of the crystal wave vector k . Then, sketch the profile of the real part of $\psi_k(x)$ over 6 lattice constants, assuming the Bloch function $u_k(x)$ is even and has a single maximum at the atomic site.
7. Consider the band structure of the 3D semiconductor shown in **Fig. 4**, where two isoenergetic valleys in the conduction band are visible: one at the L point and one halfway along the Γ -X axis. Given that in both valleys the longitudinal effective mass is $m_l^* = 0.2m_0$ and the transverse mass is $m_t^* = 0.5m_0$, determine the density-of-states (DOS) effective mass for electrons in the conduction band.
8. A cesium sample (work function $W_1 = 2.14$ eV) with area A_1 and temperature $T_1 = 600$ K emits the same thermionic current $I_1 = I_2$ as a gold sample (work function $W_2 = 5.1$ eV) with area $A_2 = 100A_1$ and temperature T_2 . Calculate the work function W_3 of a third metal at temperature $T_3 = 2T_2$, such that its thermionic current density J_3 equals that of the cesium sample (i.e., $J_3 = J_1$), using reasonable approximations.
9. A silicon bar of length $L = 500$ nm ($\mu_n(300\text{ K}) = 770$ cm^2/Vs) is initially doped with donor atoms to obtain a uniform doping concentration $N_{D0} = 10^{16}$ cm^{-3} . The bar then undergoes additional doping, resulting in a parabolic doping profile $N_D(x) = N_{D0}(1+9x^2/L^2)$, shown in **Fig. 5**. Draw a labeled plot of the diffusion current density $J_{\text{diff}}(x)$ and the electric field $F(x)$ in space, indicating the values $J_{\text{diff}}(0)$, $J_{\text{diff}}(L)$, $F(0)$, $F(L)$, and the minimum field F_{min} along the device.
10. A silicon bar ($L = 600$ μm , $T_p = 100$ ns, $\mu_p = 400$ cm^2/Vs) is n-doped with $N_D = 10^{18}$ cm^{-3} . The bar is illuminated, generating an excess minority carrier concentration at $x = 0$ of $\delta p(0) = 10^{15}$ cm^{-3} , which is maintained constant over time. Determine the spatial profiles of the quasi-Fermi levels F_N and F_P and plot them on a labeled graph.

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}