

1. Si definisca il fattore di impaccamento atomico (atomic packing factor) di un cristallo calcolandolo nel caso di un reticolo cristallino cubico a corpo centrato.
2. Si consideri un esperimento di effetto fotoelettrico in cui il catodo ($W = 4.2 \text{ eV}$) è illuminato da un fascio di luce di lunghezza d'onda $\lambda = 180 \text{ nm}$. Assumendo di applicare una tensione di accelerazione $V_A = 0.2 \text{ V}$ tra i due elettrodi, calcolare la tensione di stopping V_0 e la lunghezza d'onda di DeBroglie dell'elettrone all'anodo.
3. Si consideri una buca rettangolare di potenziale a pareti infinite. Determinare la larghezza della buca tale per cui un fotone di lunghezza d'onda $\lambda = 1.32 \mu\text{m}$ consenta la transizione di un elettrone tra lo stato fondamentale e il quinto autostato confinato.
4. Si considerino le buche di potenziale accoppiate mostrate in **Fig. 1**. Disegnare le autofunzioni associate ai livelli energetici E_3 ed E_4 fornendo opportune giustificazioni per i due andamenti. Si spieghi inoltre come varia lo splitting ΔE_{3-4} all'aumentare dell'altezza di barriera V .
5. Si consideri la barriera di potenziale triangolare di altezza $V = 5 \text{ eV}$ e larghezza $b = 4 \text{ nm}$ mostrata in **Fig. 2**. Determinare di quanto varierebbe la probabilità di tunneling P_t se l'energia dell'elettrone aumentasse da $E_1 = 1.5 \text{ eV}$ a $E_2 = 2.3 \text{ eV}$.
6. Si consideri un metallo 1D dove $m^*_e = m_0$ e $E_F = 1.5 \text{ eV}$. Calcolare la densità di elettroni in banda conduzione a $T = 0 \text{ K}$.
7. Si consideri la struttura a bande del fosforo di indio (InP) mostrata in **Fig. 3**. Sapendo che il massimo della banda di valenza è posizionato in $E_V = 0 \text{ eV}$, specificare se il semiconduttore ha band-gap diretto o indiretto. Sapendo inoltre che la concentrazione intrinseca a temperatura ambiente $n_i = 1.3 \times 10^7 \text{ cm}^{-3}$, si calcoli l'energy gap E_G specificando se il materiale è trasparente o meno ad una radiazione di lunghezza d'onda $\lambda = 800 \text{ nm}$. Proprietà fisiche InP: $m^*_{hh} = 0.6m_0$, $m^*_{lh} = 0.089m_0$, $m^*_e = 0.073m_0$.
8. Si consideri un semiconduttore drogato n ($N_D = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) di lunghezza $L = 5 \mu\text{m}$ a temperatura ambiente. Assumendo un tempo di rilassamento del momento cristallino $\tau_m = 400 \text{ fs}$, determinare la tensione V da applicare al semiconduttore affinché la densità di corrente di elettroni ($m^*_c = m_0$) sia $J_n = 2.7 \times 10^{-4} \text{ A}/\mu\text{m}^2$. Si consideri il semiconduttore in regione lineare.
9. Si consideri un semiconduttore in silicio di lunghezza $L = 1 \mu\text{m}$ ai cui capi è applicata una differenza di potenziale $\Delta V = 1 \text{ V}$. Sapendo che la mobilità degli elettroni a $T_1 = 300 \text{ K}$ è $\mu_n = 1500 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ e che l'energia del fonone ottico $\hbar\omega_{LO} = 63 \text{ meV}$, calcolare il tempo di transito dell'elettrone ($m^* = m_0$) lungo il campione. Si ripeta il calcolo del tempo di transito a $T_2 = 600 \text{ K}$ giustificando il risultato ottenuto.
10. Si consideri un campione in germanio a temperatura ambiente con drogaggio donore $N_D = 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ e drogaggio accettore $N_A = 10^{13} \text{ cm}^{-3}$. Calcolare la concentrazione di elettroni e lacune.

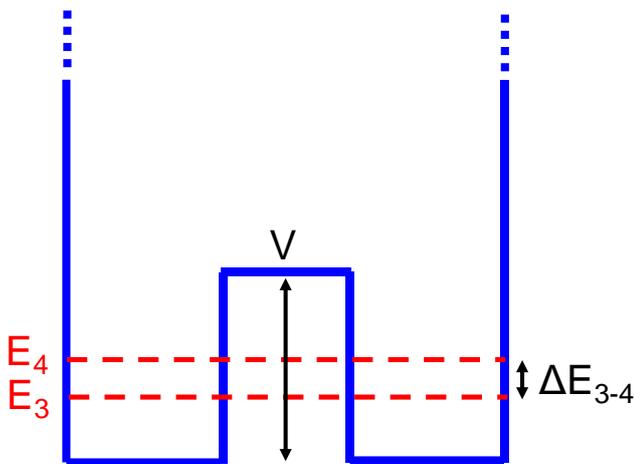


Fig. 1

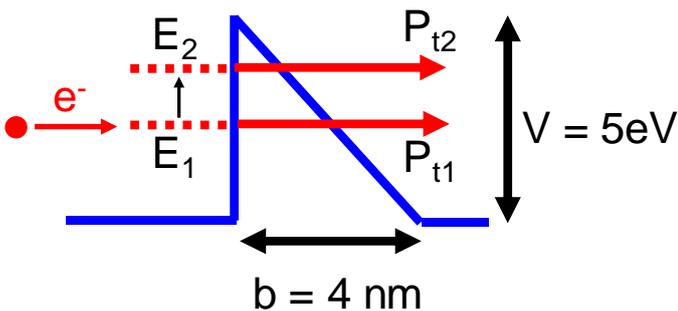


Fig. 2

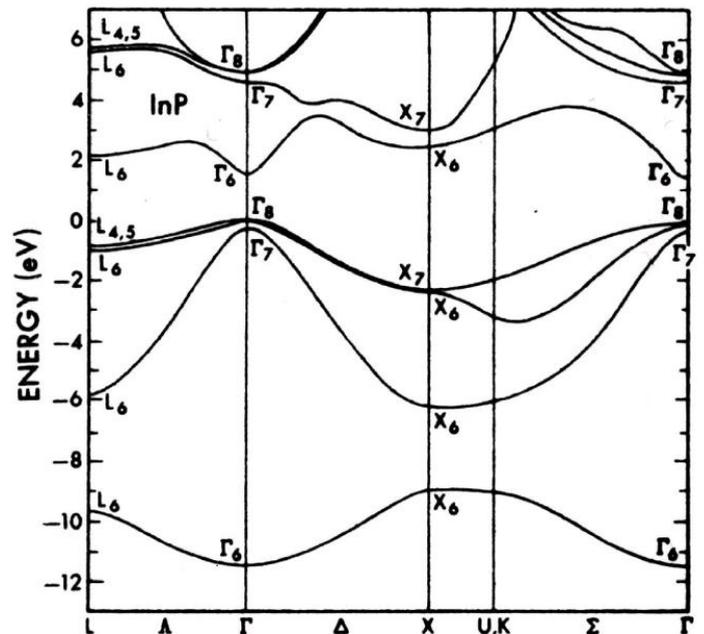


Fig. 3

1. Define the atomic packing factor for a crystal and calculate it in the case of a body-centered cubic (BCC) lattice.
2. Consider a photoelectric effect experiment where the cathode ($W = 4.2$ eV) is irradiated by a light beam of wavelength $\lambda = 180$ nm. Assuming to apply an accelerating voltage $V_A = 0.2$ V between two metal electrodes, calculate the stopping voltage V_0 and the electron wavelength at anode.
3. Consider an infinite potential well. Determine the width of well such that a photon of wavelength $\lambda = 1.32$ μm allows for the electron transition between the fundamental state and the fifth eigenstate.
4. Consider the coupled potential wells shown in **Fig. 1**. Draw the eigenfunctions associated to two eigenstates E_3 and E_4 motivating their behavior. In addition, indicate how the energy splitting between two eigenstates ΔE_{3-4} changes if the barrier height V increases.
5. Consider the triangular barrier of height $W = 5$ eV and width $b = 4$ nm shown in **Fig. 2**. How much would the tunneling probability P_t change if electron energy increases from $E_1 = 1.5$ eV to $E_2 = 2.3$ eV.
6. Consider a one-dimensional metal where $m^*_e = m_0$ and $E_F = 1.5$ eV. Calculate the electron density in the conduction band at $T = 0$ K.
7. Consider the band structure of indium phosphide (InP) shown in **Fig. 3**. Knowing that $E_V = 0$ eV is the maximum of valence band, specify if the semiconductor has direct or indirect bandgap. In addition, knowing that intrinsic carrier concentration at room temperature $n_i = 1.3 \times 10^7$ cm^{-3} , calculate the energy gap E_G by specifying if it is transparent to a radiation of wavelength $\lambda = 800$ nm. InP physical properties: $m^*_{hh} = 0.6m_0$, $m^*_{lh} = 0.089m_0$, $m^*_e = 0.073m_0$.
8. Consider a n-doped semiconductor ($N_D = 10^{17}$ cm^{-3}) of length $L = 5$ μm at room temperature. Assuming that a relaxation time of crystal momentum $\tau_m = 400$ fs, determine the voltage V to be applied across semiconductor such that electron current density ($m^*_c = m_0$) is $J_n = 2.7 \times 10^{-4}$ A/ μm^2 .
9. Consider a silicon semiconductor of length $L = 1$ μm with a voltage drop $\Delta V = 1$ V across it. Knowing that the electron mobility at $T_1 = 300$ K is $\mu_n = 1500$ $\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ and the longitudinal optical phonon energy is $\hbar\omega_{LO} = 63$ meV, calculate the electron travel time along the sample. Calculate the electron travel time again at $T_2 = 600$ K providing the explanation of result.
10. Consider a Ge sample at room temperature with donor doping concentration $N_D = 10^{14}$ cm^{-3} and acceptor doping concentration $N_A = 10^{13}$ cm^{-3} . Calculate the electron and hole carrier concentrations.

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

costante dielettrica relativa ϵ_r
 concentrazione intrinseca n_i [cm^{-3}]
 gap di energia E_G [eV]
 densità di stati effettiva in banda di conduzione N_C [cm^{-3}]
 densità di stati effettiva in banda di valenza N_V [cm^{-3}]

Si	Ge
11.7	16
1.45×10^{10}	2.4×10^{13}
1.12	0.66
2.8×10^{19}	1.04×10^{19}
1.04×10^{19}	0.6×10^{19}