

1. Un cristallo con cella cubica unitaria di lato $l = 4.2 \text{ \AA}$ è illuminato da raggi X di lunghezza d'onda $\lambda = 1.5 \text{ \AA}$. Determinare i picchi di diffrazione relativi al piano (1 1 1).
2. Si consideri il potenziale armonico $V(x) = \alpha x^2/2$. Sapendo che il rilassamento di un elettrone tra il quarto autostato ($n=3$) e il secondo autostato ($n=1$) causa l'emissione di un fotone di lunghezza d'onda $\lambda = 690 \text{ nm}$, calcolare la costante elastica α .
3. Un elettrone con velocità $v = 8.8 \cdot 10^5 \text{ ms}^{-1}$ incide su un gradino positivo di potenziale (**Fig. 1**). Calcolare l'altezza di barriera V sapendo che la probabilità di trovare l'elettrone in $x = 0$ è 10^4 volte maggiore rispetto alla probabilità di trovarlo in $x = d = 1 \text{ nm}$.
4. Si stimi la minima incertezza sull'energia cinetica di un elettrone confinato in una regione monodimensionale di lunghezza $l = 1 \text{ \AA}$ a partire dal principio di indeterminazione di Heisenberg.
5. Si consideri un semiconduttore monodimensionale la cui banda di conduzione nell'intervallo $0 < k < \pi/a$ è mostrata in **Fig. 2**. Disegnare con opportune giustificazioni l'andamento qualitativo della massa efficace m^* . Si specifichi inoltre se la mobilità elettronica valutata al centro della prima zona di Brillouin è maggiore o minore rispetto al valore assunto all'estremità.
6. Si consideri un filo di rame di sezione $S = 10^{-5} \text{ m}^2$ a temperatura ambiente percorso da una corrente $I = 1.5 \text{ A}$. Calcolare la velocità di deriva degli elettroni di conduzione sapendo che la densità del rame è $\rho = 8.92 \text{ g/cm}^3$, ogni atomo di rame contribuisce con 1 elettrone in banda di conduzione e la massa atomica è $A = 63.55 \text{ uma}$ ($1 \text{ uma} = 1.66 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}$). Si confronti il valore ottenuto con la velocità termica.
7. Si consideri un semiconduttore con $m_h^* = 2m_e^*$ e $\tau_{mh} = \tau_{me}$. Determinare il rapporto tra le concentrazioni dei portatori liberi per cui la conducibilità totale è minima.
8. Si considerino due campioni in silicio rispettivamente con drogaggio $N_{D1} = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ e $N_{D2} = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$. Sapendo che la resistività del secondo campione è più bassa di un fattore 30 rispetto al primo e che $\mu_{n,1} = 1000 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$, calcolare la mobilità del secondo campione. Spiegare brevemente qual è il fenomeno fisico all'origine della differenza di mobilità tra i due campioni.
9. Si consideri una barretta di arseniuro di gallio (GaAs) con drogaggio donore $N_D = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$. Sapendo che l'energia di legame donore è 25 meV , determinare una stima della temperatura d'ingresso in regime di freeze-out. Fare riferimento ai parametri dell'arseniuro di gallio riportati sul retro.
10. Si consideri un esperimento di effetto Hall a temperatura ambiente in cui è impiegata la barretta di silicio drogata p ($N_A = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, $\mu_p = 500 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$) mostrata in **Fig. 3**. Determinare modulo e verso della tensione di Hall indotta V_H . Di quanto varia la corrente che attraversa il semiconduttore se W ed L vengono dimezzati contemporaneamente? E se si raddoppia H ? E se raddoppia la temperatura di operazione? Giustificare le risposte.

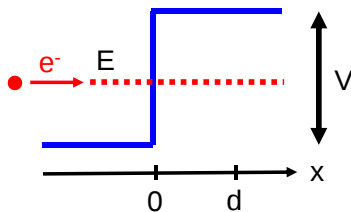


Fig. 1

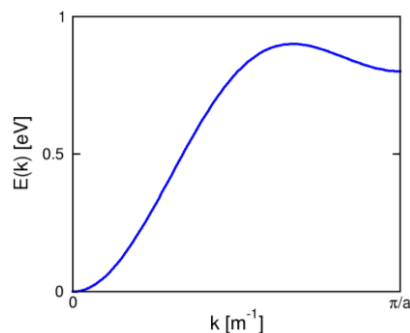


Fig. 2

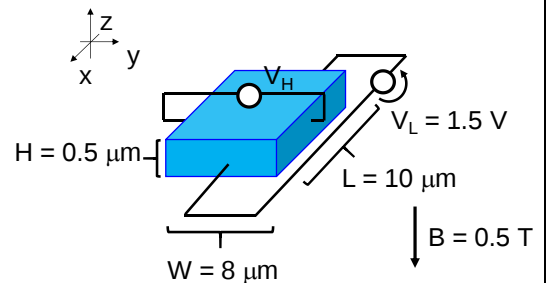


Fig. 3

1. A crystal with cubic unit cell of side $l = 4.2 \text{ \AA}$ is irradiated by X rays of wavelength $\lambda = 1.5 \text{ \AA}$. Determine the diffraction peaks corresponding to the plane (1 1 1).
2. Consider the harmonic potential $V(x) = \alpha x^2/2$. Knowing that the electron relaxation between the fourth eigenstate ($n=3$) and the second eigenstate ($n=1$) causes the emission of a photon with wavelength $\lambda = 690 \text{ nm}$, calculate the elastic constant α .
3. An electron of velocity $v = 8.8 \cdot 10^5 \text{ ms}^{-1}$ impinges on a positive potential step (**Fig. 1**). Calculate the barrier height V knowing that the probability to find the electron in $x = 0$ is higher than the probability to find it in $x = d = 1 \text{ nm}$ by a factor 10^4 .
4. Estimate the minimum uncertainty on kinetic energy for an electron confined in a 1D space of length $l = 1 \text{ \AA}$ by the Heisenberg uncertainty principle.
5. Consider the conduction band of 1D semiconductor in the range $0 < k < \pi/a$ shown in **Fig. 2**. Draw the qualitative behavior of effective mass m^* providing clear explanations. Then, evaluate if electron mobility calculated at the center of first Brillouin zone is higher or lower than the value at the edge.
6. Consider a copper straight wire of section $S = 10^{-5} \text{ m}^2$ at room temperature carrying a current $I = 1.5 \text{ A}$. Calculate the drift velocity of conduction electrons knowing that the copper density is $\rho = 8.92 \text{ g/cm}^3$, each Cu atom provides 1 electron in the conduction band and the atomic mass is $A = 63.55 \text{ uma}$ ($1 \text{ uma} = 1.66 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}$). Compare the result with the thermal velocity.
7. Consider a semiconductor with $m_h^* = 2m_e^*$ and $\tau_{mh} = \tau_{me}$. Determine the ratio between the free charge carrier concentrations so that the total electrical conductivity is minimum.
8. Consider two silicon samples with donor doping levels $N_{D1} = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ and $N_{D2} = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, respectively. Knowing that the resistivity of second sample is lower than the first one by a factor 30 and the electron mobility for the first sample is $\mu_{n,1} = 1000 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$, calculate the electron mobility $\mu_{n,2}$. Explain briefly the physical reason of the difference between the electron mobility values.
9. A n-doped GaAs rod has doping concentration $N_D = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$. Knowing that the donor binding energy is 25 meV, calculate an estimate of the temperature to enter freeze-out operation regime. Note the GaAs physical parameters listed below.
10. Consider a Hall experiment at room temperature where the p-doped ($N_A = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, $\mu_p = 500 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$) silicon rod shown in **Fig. 3** is used. Determine magnitude and direction of induced Hall voltage V_H . How does the current change for halved W and L at the same time? How does the current change for doubled H ? How does the current change for doubled temperature? Explain the answers.

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

$m_0 = 9.109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
 $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$
 $e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
 $k_B = 1.381 \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$
 $c = 2.998 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$
 $\epsilon_0 = 8.85419 \cdot 10^{-12} \text{ F m}^{-1}$
 $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$
 $c_W = 2.8 \cdot 10^{-3} \text{ K m}$

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	GaAs
11.7	16	13.1
1.45×10^{10}	2.4×10^{13}	2.1×10^6
1.12	0.66	1.424
2.8×10^{19}	1.04×10^{19}	4.7×10^{17}
1.04×10^{19}	0.6×10^{19}	9×10^{18}