

1. Si consideri il reticolo cristallino in **Fig. 1**. È un reticolo di Bravais? In caso negativo, proporre una possibile combinazione base-reticolo. Noti $a = 3 \text{ nm}$ e $b = 2 \text{ nm}$, calcolare la densità atomica superficiale.
2. Un fascio elettronico accelerato da una tensione $V_A = 2.3 \text{ V}$ viene fatto incidere su un cristallo cubico semplice di passo $a = 0.7 \text{ nm}$. Determinare gli angoli di diffrazione per i piani delle famiglie $\{100\}$, $\{110\}$, $\{111\}$.
3. Si consideri un oscillatore armonico, ed un elettrone in uno stato di sovrapposizione ottenuto combinando lo stato fondamentale ψ_0 ed il primo stato eccitato ψ_1 . Sapendo che tale stato di sovrapposizione oscilla con frequenza 1 THz , calcolare l'autovalore dello stato fondamentale.
4. Si consideri il sistema buca-barriera in **Fig. 2**, dove la regione I si compone di una buca semilineare di larghezza $a = 1 \text{ nm}$, $V(x) = \alpha x$, $\alpha = 1 \text{ eV/nm}$, e la regione II di una barriera di pari larghezza a . Calcolare la probabilità P_T di tunneling dalla regione I alla regione III per un elettrone sul primo autostato E_1 della buca. Applicando un campo F nella sola regione II, sarebbe possibile ottenere $P_T = 10^{-1}$? Si usi il principio di indeterminazione di Heisenberg ai soli fini del calcolo dell'autostato E_1 .
5. Una particella è caratterizzata da una relazione di dispersione $\omega(k) = \omega_0 \cos(ka)$. Costruendo un pacchetto d'onde con peso gaussiano centrato in $k_0 = 10^9 \text{ m}^{-1}$, si osservano una deviazione standard nello spazio $\sigma_x(t)$ costante e pari a $\sigma_x = 10 \text{ nm}$, e una velocità di gruppo del pacchetto $v_g = -2 \cdot 10^6 \text{ m/s}$. Sapendo che $a < 2 \text{ nm}$, calcolare il valore dei parametri (a , ω_0) della relazione di dispersione, e la deviazione standard σ_k della funzione peso gaussiana.
6. Si consideri il semiconduttore monodimensionale a gap indiretto in **Fig. 3** ($E_g = 1.3 \text{ eV}$, $m^*_c = 0.1m_0$, $m^*_v = 0.8m_0$). Sapendo che l'energia minima del fotone che possa essere assorbito con un processo a due particelle è $E_{ph} = 1.6 \text{ eV}$, determinare la posizione $k_{0,BC}$ del fondo della banda di conduzione (BC). Calcolare quindi il momento medio e il numero dei fononi di energia media $E_{phn} = 11 \text{ meV}$ necessari per termalizzare sul fondo della banda a seguito della promozione in BC.
7. Calcolare la resistività dell'antimoniuro di indio (InSb) intrinseco a $T_1 = 300 \text{ K}$ e $T_2 = 450 \text{ K}$, nota l'energia di gap $E_g = 0.17 \text{ eV}$, le densità di stati equivalenti $N_c(300 \text{ K}) = 4.16 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ e $N_v(300 \text{ K}) = 7.3 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, le masse efficaci di conduzione $m^*_n = 0.014m_0$, $m^*_p = 0.4m_0$, e la costante di rilassamento del momento $\tau_m = 600 \text{ fs}$.
8. Si consideri Silicio drogato con impurezze di tipo accettore $N_A = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$. Sapendo che il livello di Fermi E_F coincide con l'energia dello stato accettore E_A a $T_1 = 60 \text{ K}$, determinare l'energia di legame $E_A - E_v$ per gli accettori e la temperatura T_2 per cui si ha $n_i = N_A$, facendo ragionevoli approssimazioni.
9. Si consideri la barretta di silicio sottoposta ad esperimento di effetto Hall in **Fig. 4** ($t = 100 \text{ nm}$, $W = 400 \text{ nm}$, $L = 2 \mu\text{m}$, $B = 0.5 \text{ T}$). Applicando una tensione longitudinale $V_L = 1 \text{ V}$, si misurano una corrente $I = 10 \mu\text{A}$ e una tensione trasversale $V_H = 5 \text{ mV}$ positiva nel verso indicato. Determinare tipologia, concentrazione e mobilità dei droganti.
10. Si consideri una barretta di silicio (drogaggio n , $N_D = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, tempo di ricombinazione dei minoritari $\tau_p = 100 \text{ ns}$) dove un fascio laser impone una concentrazione in eccesso di portatori minoritari in superficie pari a $\delta p(0) = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$. Sapendo che la concentrazione in eccesso supera la concentrazione d'equilibrio solo entro i primi $300 \mu\text{m}$ dalla superficie irraggiata a temperatura ambiente, calcolare la mobilità delle lacune.

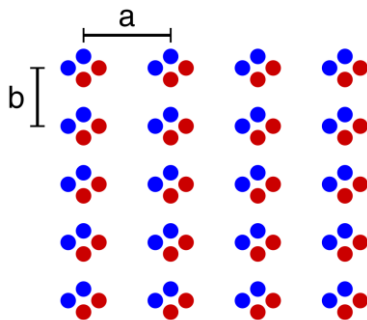


Fig. 1

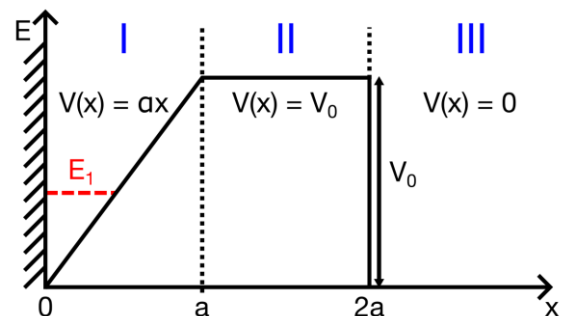


Fig. 2

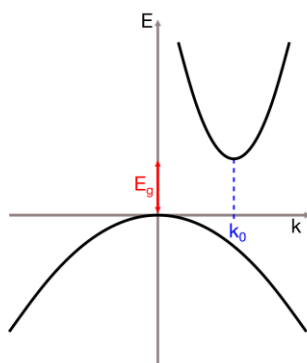


Fig. 3

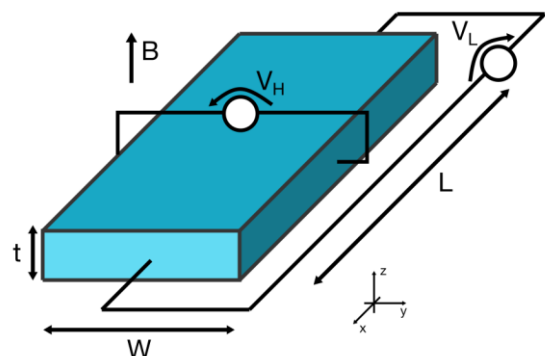


Fig. 4

1. Consider the crystalline lattice in **Fig. 1**. Is it a Bravais lattice? If not, propose a base-lattice combination. Given $a = 3 \text{ nm}$ and $b = 2 \text{ nm}$, calculate the surface atomic density.
2. An electron beam accelerated by a voltage $V_A = 2.3 \text{ V}$ impinges on a cubic simple crystal with lattice step $a = 0.7 \text{ nm}$. Estimate the diffraction angles for crystalline planes of families $\{100\}$, $\{110\}$, $\{111\}$.
3. Consider a harmonic oscillator and an electron in a superposition state, obtained by combining the fundamental state ψ_0 with the first excited state ψ_1 . Knowing that the superposition state oscillates with a frequency of 1 THz , calculate the eigenvalue of the fundamental state.
4. Consider the well-barrier system in **Fig. 2**, where region I is composed of a semilinear well of width $a = 1 \text{ nm}$, $V(x) = \alpha x$, $\alpha = 1 \text{ eV/nm}$, and regione II of a barrier of same width a . Calculate the tunneling probability P_T from region I to region III for an electron on the first eigenstate E_1 of the well. If a field F were applied to region II only, would it be possible to obtain a tunneling probability $P_T = 10^{-1}$? Use Heisenberg's uncertainty principle for the sole calculation of the E_1 eigenstate.
5. A particle is characterized by a dispersion relation $\omega(k) = \omega_0 \cos(ka)$. When building a wavepacket with gaussian weight centered in $k_0 = 10^9 \text{ m}^{-1}$, one observes a standard deviation in space $\sigma_x(t)$ constant and equal to $\sigma_x = 10 \text{ nm}$, and a packet group velocity $v_g = -2 \cdot 10^6 \text{ m/s}$. Knowing that $a < 2 \text{ nm}$, calculate the value of parameters (a , ω_0) of the dispersion relation, and the standard deviation σ_k of the gaussian weight function.
6. Consider the monodimensional indirect gap semiconductor in **Fig. 3** ($E_g = 1.3 \text{ eV}$, $m^*_c = 0.1m_0$, $m^*_v = 0.8m_0$). Knowing that the minimum photon energy for absorption in a two-particles process is $E_{ph} = 1.6 \text{ eV}$, calculate the position $k_{0,BC}$ of the conduction band (CB) minimum. Then, calculate the average momentum and number of phonons with average energy $E_{phn} = 11 \text{ meV}$ to allow thermalization on the band bottom subsequently to electron promotion in BC.
7. Calculate the resistivity of intrinsic indium antimonide (InSb) at $T_1 = 300 \text{ K}$ e $T_2 = 450 \text{ K}$, given the gap energy $E_g = 0.17 \text{ eV}$, the equivalent densities of states $N_c(300 \text{ K}) = 4.16 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ and $N_v(300 \text{ K}) = 7.3 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, the effective masses for conduction $m^*_n = 0.014m_0$, $m^*_p = 0.4m_0$, and the time constant for momentum relaxation $\tau_m = 600 \text{ fs}$.
8. Consider doped silicon with acceptor-type impurities $N_A = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$. Knowing that the Fermi level E_F coincides with the energy of the acceptor state E_A at $T_1 = 60 \text{ K}$, calculate the binding energy $E_A - E_v$ for acceptors and the temperature T_2 for which $n_i = N_A$, using reasonable approximations.
9. Consider the silicon slab undergoing a Hall effect experiment in **Fig. 4** ($t = 100 \text{ nm}$, $W = 400 \text{ nm}$, $L = 2 \text{ }\mu\text{m}$, $B = 0.5 \text{ T}$). When a longitudinal voltage $V_L = 1 \text{ V}$ is applied to the device, a current $I = 10 \mu\text{A}$ and transversal voltage $V_H = 5 \text{ mV}$, positive in the pictured orientation, are measured. Determine type, concentration and mobility of dopants.
10. Consider the silicon slab (n-doping, $N_D = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, minority carrier recombination time $\tau_p = 100 \text{ ns}$) where a laser beam imposes an excess concentration of minority carriers on the surface equal to $\delta p(0) = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$. Knowing that the excess concentration is larger than the equilibrium concentration within $300 \text{ }\mu\text{m}$ from the irradiated surface at room temperature, calculate the hole mobility.

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 $n_i [\text{cm}^{-3}]$
 gap di energia $E_G [\text{eV}]$
 densità di stati effettiva in banda di conduzione $N_c [\text{cm}^{-3}]$
 densità di stati effettiva in banda di valenza $N_v [\text{cm}^{-3}]$

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}