

- Si consideri il reticolo cristallino bidimensionale in **Fig. 1**. Stabilire se il cristallo è un reticolo di Bravais, motivando la risposta. Nel caso in cui non fosse un reticolo di Bravais, proporre una possibile combinazione reticolo/base. Nota $a = 1 \text{ nm}$, calcolare la densità atomica superficiale.
- Un cristallo con cella cubica unitaria di lato $l = 2 \text{ \AA}$ è illuminato da raggi X di lunghezza d'onda $\lambda = 0.75 \text{ \AA}$. Determinare gli angoli per cui si osservano i picchi di diffrazione relativi al piano (1 2 1).
- Si consideri la barriera di potenziale in **Fig. 2**, dove $a = 2 \text{ nm}$ e $(V_0 - E) = 1 \text{ eV}$. Determinare il campo elettrico F da applicare ai capi della barriera affinché la probabilità di tunneling per l'elettrone di energia E aumenti di un fattore 10^7 .
- Si consideri un box di potenziale bidimensionale di lati $a = 1 \text{ nm}$ (asse x) e $b = 2 \text{ nm}$ (asse y) a pareti infinite. Determinare l'energia dei primi 6 autostati, indicando esplicitamente gli autostati degeneri.
- Si considerino le buche di potenziale accoppiate in **Fig. 3**, dove $a = 2 \text{ nm}$. Determinare l'ampiezza u_0 della barriera affinché lo stato non stazionario associato al primo doppietto oscilli con pulsazione $\omega_{\text{osc}} = 10 \text{ Trad/s}$.
- Si consideri un elettrone in un reticolo cristallino caratterizzato dalla relazione di dispersione $E(k) = E_0 - 2y\cos(2ka)$, dove $y = 20 \text{ meV}$, $a = 1 \text{ nm}$. Sapendo che quando si applica un campo $F = 20 \text{ kV/cm}$, il materiale è ancora in regime lineare e che i portatori a fondo banda vengono accelerati ad una velocità media $v_e = 50 \cdot 10^5 \text{ cm/s}$, si stimi il tempo medio fra i fenomeni di scattering.
- Nel setup sperimentale in **Fig. 4**, un filamento di Palladio ($W_{\text{Pd}} = 5.6 \text{ eV}$, $A_{\text{Pd}} = 19.54 \text{ Acm}^{-2}\text{K}^{-2}$) viene portato a una temperatura di 1500 K . Determinare la densità di corrente emessa per effetto termoionico. Sapendo che tale corrente è pari a quella di un secondo campione di un metallo ignoto, di pari area, misurata a 1150 K , determinare la funzione lavoro del secondo metallo facendo ragionevoli approssimazioni.
- Si consideri Silicio drogato con $N_D = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$. Stimare la temperatura d'ingresso nel regime intrinseco, trascurando la dipendenza dalla temperatura della densità di stati equivalenti in banda di conduzione N_c e in banda di valenza N_v . Se si considerassero anche le dipendenze di N_c ed N_v , si otterebbe una temperatura maggiore o inferiore?
- Si consideri l'esperimento di effetto Hall riportato in **Fig. 5**, dove è impiegata una barretta di silicio drogata p ($N_A = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, $\mu_p = 400 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$) a temperatura ambiente. Sapendo che $V_L = 2 \text{ V}$, $B = 0.45 \text{ T}$, $L = 10 \mu\text{m}$, $W = 1 \mu\text{m}$, determinare modulo e verso della tensione di Hall V_H . Se si raddoppia la temperatura di operazione, quali parametri determinano primariamente la variazione di corrente nella barretta?
- Si consideri una barretta di Silicio drogata n a temperatura ambiente. La barretta viene irraggiata creando un eccesso di portatori minoritari in $x = 0$ pari a circa 10 volte la concentrazione di minoritari all'equilibrio. Sapendo che il tempo di ricombinazione e la mobilità dei minoritari sono rispettivamente $\tau_p = 50 \text{ ns}$ e $\mu_p = 600 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$, determinare a quale distanza L la concentrazione di minoritari in eccesso diventa paragonabile a quella all'equilibrio.

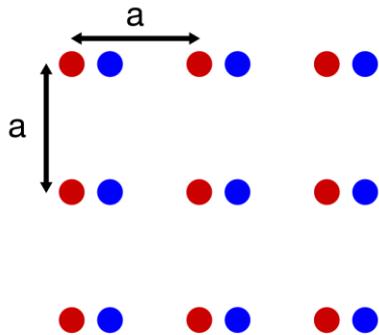


Fig. 1

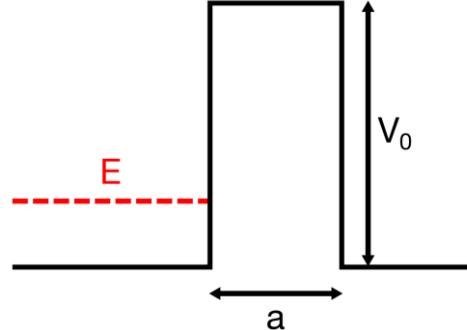


Fig. 2

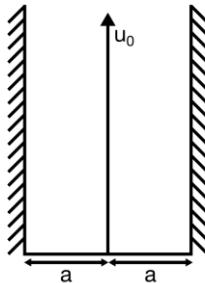


Fig. 3

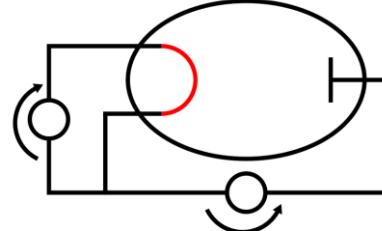


Fig. 4

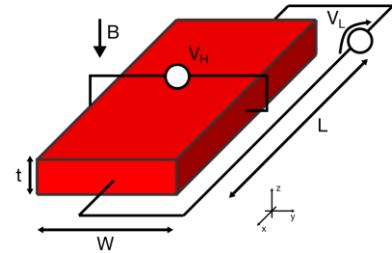


Fig. 5

1. Consider the crystalline lattice in **Fig. 1**. Is it a Bravais lattice? Support the answer with suitable arguments. If it is not, identify a lattice/basis pair. Given $a = 1\text{ nm}$, calculate the surface atomic density.
2. A crystal with unitary cubic cell of side $l = 2\text{ \AA}$ is illuminated with X-rays at $\lambda = 0.75\text{ \AA}$. Determine the angles for which the diffraction peaks relative to plane $(1\ 2\ 1)$ are observed.
3. Consider the potential barrier in **Fig. 2**, where $a = 2\text{ nm}$ and $(V_0 - E) = 1\text{ eV}$. Determine the electric field F that must be applied across the barrier to increase the tunneling probability for the electron at energy E by a factor 10^7 .
4. Consider a 2D potential box of sides $a = 1\text{ nm}$ (x-axis) and $b = 2\text{ nm}$ (y-axis) with infinite walls. Determine the energy of the first 6 eigenstates, pointing out the degenerate eigenstates.
5. Consider the coupled potential wells in **Fig. 3**, where $a = 2\text{ nm}$. Determine the barrier amplitude u_0 such that the non-stationary state associated with the first doublet oscillates at $\omega_{\text{osc}} = 10\text{ Trad/s}$.
6. Consider an electron in a crystalline lattice characterized by the dispersion relation $E(k) = E_0 - 2\gamma \cos(2ka)$, where $\gamma = 20\text{ meV}$, $a = 1\text{ nm}$. Knowing that when a field $F = 20\text{ kV/cm}$ is applied, the material is still in the linear regime and carriers at the bottom of the band are accelerated at a mean velocity $v_e = 50 \cdot 10^5\text{ cm/s}$, estimate the mean time between scattering phenomena.
7. In the experimental setup of **Fig. 4**, a Palladium filament ($W_{\text{Pd}} = 5.6\text{ eV}$, $A_{\text{Pd}} = 19.54\text{ Acm}^{-2}\text{K}^{-2}$) is heated to 1500 K . Calculate the thermionic emission current density. Knowing that a second sample, with same area, experiences the same current when heated at 1150 K , determine the work function of the second metal under reasonable approximations.
8. Consider doped silicon with $N_d = 10^{17}\text{ cm}^{-3}$. Estimate the transition temperature between the extrinsic and intrinsic regime, neglecting the temperature dependence of the equivalent density of states in the conduction band N_c and valence band N_v . If the temperature dependences of N_c and N_v were considered, would the estimated temperature be larger or smaller?
9. Consider the Hall experiment setup in **Fig. 5**, where a p-doped silicon slab at room temperature ($N_A = 10^{18}\text{ cm}^{-3}$, $\mu_p = 400\text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$) was used. Given $V_L = 2\text{ V}$, $B = 0.45\text{ T}$, $L = 10\text{ }\mu\text{m}$, $W = 1\text{ }\mu\text{m}$, determine modulus and direction of the Hall voltage V_H . If the operation temperature is doubled, which parameters primarily control the current variation in the slab?
10. Consider an n-doped silicon slab at room temperature. The slab is illuminated creating an excess of minority carriers in $x = 0$ equal to 10 times the concentration of minority carriers at equilibrium. Given the minority recombination time and mobility $T_p = 50\text{ ns}$, $\mu_p = 600\text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$, determine the distance L at which the excess minority concentration becomes comparable with the equilibrium concentration.

Physical constants:

electron mass	$m_0 = 9.109 \cdot 10^{-31}\text{ kg}$
Planck constant	$h = 6.626 \cdot 10^{-34}\text{ J s}$
electric charge	$e = 1.602 \cdot 10^{-19}\text{ C}$
Boltzmann constant	$k_B = 1.381 \cdot 10^{-23}\text{ J K}^{-1}$
light velocity	$c = 2.998 \cdot 10^8\text{ m s}^{-1}$
dielectric constant in vacuum	$\epsilon_0 = 8.85419 \cdot 10^{-12}\text{ F m}^{-1}$
Stefan-Boltzmann constant	$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8}\text{ W m}^{-2}\text{ K}^{-4}$
Wien constant	$C_W = 2.8 \cdot 10^{-3}\text{ K m}$

	Si	Ge
relative dielectric constant ϵ_r	11.7	16
intrinsic concentration n_i [cm^{-3}]	1.45×10^{10}	2.4×10^{13}
energy gap E_G [eV]	1.12	0.66
effective density of states in conduction band N_c [cm^{-3}]	2.8×10^{19}	1.04×10^{19}
effective density of states in valence band N_v [cm^{-3}]	1.04×10^{19}	0.6×10^{19}