

1. Un elettrone in un cristallo di passo reticolare $a = 6.28 \text{ \AA}$ è descritto da un'autofunzione $\psi_k(x)$ con $k = 0.5 \cdot 10^9 \text{ m}^{-1}$. Determinare quanti passi reticolari sono necessari affinché l'autofunzione $\psi_k(x)$ ritorni in fase.
2. Si consideri un materiale a gap indiretto con $E_g = 0.3 \text{ eV}$ e apice della banda di valenza localizzato in $k = 0$. Sapendo che la massa efficace degli elettroni in BC è $m_{BC}^* = 0.1m_e$ e delle lacune in BV è $m_{BV}^* = 0.4m_e$, e che la minima energia di un fotone che possa essere assorbito con un processo a due particelle è pari a $E_{\min} = 1 \text{ eV}$, determinare la posizione del fondo della banda di conduzione sull'asse k .
3. Calcolare la massa di conduzione e la mobilità degli elettroni di un semiconduttore avente degenerazione $g = 6$, $m_i^* = 0.9m_e$, $m_t^* = 0.2m_e$, $T_m = 100 \text{ fs}$.
4. Si consideri un metallo tridimensionale a temperatura ambiente. Determinare la concentrazione di elettroni in banda di conduzione n sapendo che $E_F - E_C = 20 \text{ meV}$ e che ciascun atomo contribuisce con due elettroni di valenza ($m^* = m_e$), facendo ragionevoli approssimazioni.
5. Si consideri una barretta di silicio intrinseco a temperatura ambiente. Applicando una differenza di potenziale $V = 1 \text{ V}$ ai suoi capi, si misura una corrente $I = 100 \mu\text{A}$. Determinare la corrente misurata a 500 K. La risposta è ancora valida se si considera silicio compensato?
6. Si consideri un elettrone in un reticolo cristallino caratterizzato dalla relazione di dispersione $E(k) = E_0 - 2\gamma \cos(2ka)$, dove $\gamma = 20 \text{ meV}$, $a = 1 \text{ nm}$. 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.
7. Nel setup sperimentale in **Fig. 1**, un filamento di Palladio ($W_{Pd} = 5.6 \text{ eV}$, $A_{Pd} = 19.54 \text{ Acm}^{-2}\text{K}^{-2}$) 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.
8. 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?
9. Si consideri l'esperimento di effetto Hall riportato in **Fig. 2**, 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?
10. 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.

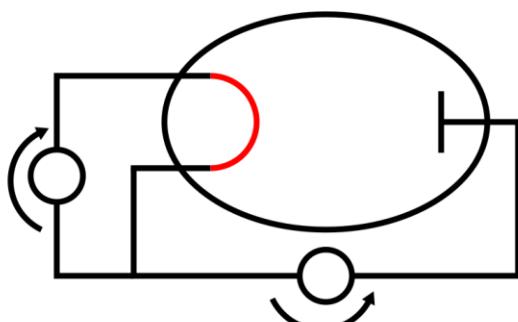


Fig. 1

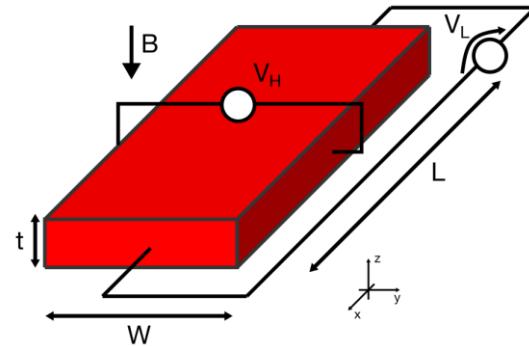


Fig. 2

1. An electron in a crystal lattice with step $a = 6.28 \text{ \AA}$ is described by an eigenfunction $\psi_k(x)$ with $k = 0.5 \cdot 10^9 \text{ m}^{-1}$. Determine how many lattice steps are needed in order for $\psi_k(x)$ to go back in-phase.
2. Consider an indirect gap material $E_g = 0.3 \text{ eV}$ where the peak of the valence band is localized at $k = 0$. Knowing that the effective mass for electrons in BC is $m_e^{BC} = 0.1m_e$ and for holes in BV is $m_h^{BV} = 0.4m_e$, and that the minimum energy for which a photon is absorbed in a two-particle process is $E_{min} = 1 \text{ eV}$, determine the position of the conduction band minimum on the k-axis.
3. Calculate the conduction mass and mobility for electrons in a semiconductor with degeneracy $g = 6$, $m_e^* = 0.9 m_e$, $m_h^* = 0.2 m_e$, $T_m = 100 \text{ fs}$.
4. Consider a 3D metal at room temperature. Estimate under reasonable approximations the concentration of electrons in the conduction band, given $E_F - E_c = 20 \text{ meV}$ and knowing that each atom contributes with 2 valence electrons ($m^* = m_e$).
5. Consider a slab of intrinsic silicon at room temperature. When a potential difference $V = 1 \text{ V}$ is applied to the slab, a current $I = 100 \mu\text{A}$ is measured. Predict the current measured at 500 K. Does the answer change if compensated silicon is considered?
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. 1**, a Palladium filament ($W_{Pd} = 5.6 \text{ eV}$, $A_{Pd} = 19.54 \text{ A cm}^{-2}\text{K}^{-2}$) 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 approximation.
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. 2**, 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 $V_L = 2 \text{ V}$, $B = 0.45 \text{ T}$, $L = 10 \mu\text{m}$, $W = 1 \mu\text{m}$, 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 $n_i [\text{cm}^{-3}]$	1.45×10^{10}	2.4×10^{13}
energy gap $E_G [\text{eV}]$	1.12	0.66
effective density of states in conduction band $N_c [\text{cm}^{-3}]$	2.8×10^{19}	1.04×10^{19}
effective density of states in valence band $N_v [\text{cm}^{-3}]$	1.04×10^{19}	0.6×10^{19}