

1. Si consideri la relazione di dispersione $E(k) = E_0 \cos(2ka)$ con $E_0 = 1$ eV e $a = 1$ nm. Considerando la prima zona di Brillouin, calcolare per quali intervalli di k la massa efficace m^* è positiva e per quali valori di k la massa efficace è infinita.
2. Si consideri un sistema di elettroni all'equilibrio termodinamico. Determinare la temperatura del sistema per cui si ha una probabilità pari a 10^{-4} che lo stato ad energia $E = E_F - 0.5$ eV sia non popolato.
3. Si consideri il semiconduttore monodimensionale a gap indiretto in **Fig. 1** ($E_g = 1.3$ eV, $k_{BC} = 1.3 \cdot 10^9$ m $^{-1}$, $m^*_C = 0.1m_0$, $m^*_V = 0.8m_0$). Un elettrone viene promosso dall'apice della banda di valenza in banda di conduzione grazie ad un fotone di energia $E_{ph} = 1.5$ eV e ad un fonone di energia trascurabile. Successivamente, l'elettrone termalizza sul fondo della banda di conduzione emettendo 20 fononi. Determinare il momento del fonone coinvolto nella prima transizione e l'energia media dei fononi emessi nel processo di termalizzazione.
4. Si calcolino la massa DOS e la massa di conduzione per il germanio ($m_l = 1.59m_0$, $m_t = 0.0815m_0$, $m_{hh} = 0.33m_0$, $m_{lh} = 0.043m_0$, $g_c = 4$).
5. Si considerino due campioni metallici ($W_1 = 3$ eV, $W_2 = 4.5$ eV). Determinare a che temperatura T_2 deve essere portato il secondo campione per garantire la stessa densità di corrente termoionica del primo campione a temperatura $T_1 = 350$ K, facendo ragionevoli approssimazioni.
6. Sapendo che in un metallo bidimensionale ($m^* = m_0$) a $T = 0$ K il livello di Fermi è localizzato ad $E_F = E_C + 2$ eV, determinare la concentrazione elettronica in banda di conduzione ricordando che $g(E)_{2D} = (m^*/\pi\hbar^2)$. Se si portasse il materiale alla temperatura $T = 300$ K, come varierebbero la concentrazione elettronica e la posizione del livello di Fermi?
7. Determinare concentrazione intrinseca e la mobilità elettronica del 3C-carburo di silicio ($N_C(300$ K) = $1.56 \cdot 10^{19}$ cm $^{-3}$, $N_V(300$ K) = $1.16 \cdot 10^{19}$ cm $^{-3}$, $m^*_{c,DOS} = 0.72m_0$, $m^*_{c,cond} = 0.57m_0$, $m^*_v = 0.6m_0$, $E_g = 2.36$ eV, $\tau_m(300$ K) = 292 fs) a $T = 600$ K, trascurando la dipendenza del gap dalla temperatura.
8. Si consideri Silicio drogato con impurezze di tipo donore $N_D = 10^{18}$ cm $^{-3}$. Sapendo che il livello di Fermi E_F coincide con l'energia dello stato donore E_D a $T_1 = 75$ K, determinare l'energia di legame $E_C - E_D$ per i donori e la temperatura T_2 per cui si ha $n_i = N_D$.
9. Si consideri la barretta di silicio drogata n sottoposta ad esperimento di effetto Hall in **Fig. 2** ($t = 100$ nm, $W = 400$ nm, $L = 2$ μ m, $\mu_n = 400$ cm 2 /Vs, $N_D = 10^{16}$ cm $^{-3}$, $B = 0.5$ T, $V_L = 1$ V). Determinare modulo e verso della tensione trasversale V_H e della corrente I attraverso la barretta.
10. Si consideri una barretta di silicio drogata $N_D = 10^{18}$ cm $^{-3}$ a temperatura ambiente illuminata in modo uniforme ($G_p = 10^{20}$ cm $^{-3}$ /s, $\tau_p = 10$ ns). Determinare la concentrazione di portatori minoritari a stato stazionario: il materiale è in regime di forte o debole iniezione?

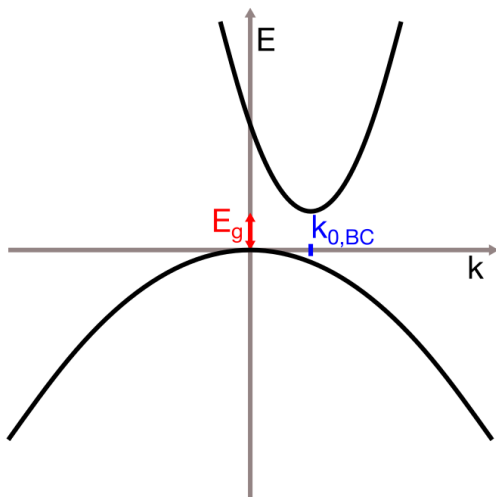


Fig. 1

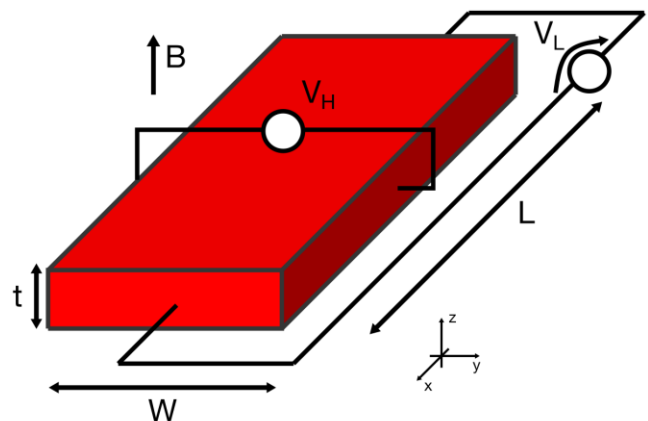


Fig. 2

1. Consider the dispersion relation $E(k) = E_0 \cos(2ka)$ with $E_0 = 1$ eV and $a = 1$ nm. Calculate the k intervals in the first Brillouin zone (FBZ) where the effective mass m^* is positive, and the values of k for which the effective mass is infinite.
2. Consider a system of electrons at thermodynamic equilibrium. Determine the system temperature for which the state at energy $E = E_F - 0.5$ eV has a 10^{-4} probability of being non-populated.
3. Consider the indirect band-gap 1D semiconductor in **Fig. 1** ($E_g = 1.3$ eV, $k_{BC} = 1.3 \cdot 10^9$ m $^{-1}$, $m^*_C = 0.1m_0$, $m^*_V = 0.8m_0$). An electron is promoted from the apex of the valence band to the conduction band thanks to a photon of energy $E_{ph} = 1.5$ eV and a phonon of negligible energy. In a second transition, the electron thermalizes on the bottom of the conduction band by emitting 20 phonons. Determine the momentum of the phonon involved in the first transition and the mean energy of the phonons emitted in the thermalization process.
4. Calculate the DOS mass and the effective mass for conduction in germanium ($m_l = 1.59m_0$, $m_t = 0.0815m_0$, $m_{hh} = 0.33m_0$, $m_{lh} = 0.043m_0$, $g_C = 4$).
5. Consider two metallic samples ($W_1 = 3$ eV, $W_2 = 4.5$ eV). Calculate the temperature T_2 at which the second sample must be heated to guarantee the same thermionic current density of the first sample at temperature $T_1 = 350$ K, under reasonable approximations.
6. Knowing that in a 2D metal ($m^* = m_0$) at $T = 0$ K the Fermi level is located at $E_F = E_C + 2$ eV, determine the electron concentration in the conduction band recalling that $g(E)_{2D} = (m^*/\pi\hbar^2)$. If the material were brought at a temperature $T = 300$ K, how would the electron concentration and Fermi level position change?
7. Determine the intrinsic concentration and electron mobility of 3C-silicon carbide ($N_C(300$ K) = $1.56 \cdot 10^{19}$ cm $^{-3}$, $N_V(300$ K) = $1.16 \cdot 10^{19}$ cm $^{-3}$, $m^*_{c,DOS} = 0.72m_0$, $m^*_{c,cond} = 0.57m_0$, $m^*_v = 0.6m_0$, $E_g = 2.36$ eV, $\tau_m(300$ K) = 292 fs) at $T = 600$ K, neglecting the dependence of the energy gap on temperature.
8. Consider n-doped silicon with $N_D = 10^{18}$ cm $^{-3}$. Knowing that at temperature $T_1 = 75$ K the Fermi level E_F coincides with the donor level energy E_D , determine the binding energy $E_C - E_D$ for donors and the temperature T_2 such that $n_i = N_D$.
9. Consider the n-doped silicon slab undergoing a Hall effect experiment shown in **Fig. 2** ($t = 100$ nm, $W = 400$ nm, $L = 2$ μ m, $\mu_n = 400$ cm 2 /Vs, $N_D = 10^{16}$ cm $^{-3}$, $B = 0.5$ T, $V_L = 1$ V). Calculate magnitude and direction of the transversal voltage V_H and current I flowing in the slab.
10. Consider an n-doped silicon slab with $N_D = 10^{18}$ cm $^{-3}$ at $T = 300$ K undergoing uniform illumination ($G_p = 10^{20}$ cm $^{-3}$ /s, $\tau_p = 10$ ns). Determine the steady-state concentration of minority carriers. Is the material in weak or strong injection regime?

Costanti fisiche:

| | |
|--------------------------------|---|
| massa dell'elettrone | $m_0 = 9.109 \cdot 10^{-31}$ kg |
| costante di Planck | $h = 6.626 \cdot 10^{-34}$ J s |
| carica elettronica | $e = 1.602 \cdot 10^{-19}$ C |
| costante di Boltzmann | $k_B = 1.381 \cdot 10^{-23}$ J K $^{-1}$ |
| velocità della luce | $c = 2.998 \cdot 10^8$ m s $^{-1}$ |
| costante dielettrica nel vuoto | $\epsilon_0 = 8.85419 \cdot 10^{-12}$ F m $^{-1}$ |
| costante di Stefan-Boltzmann | $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8}$ W m $^{-2}$ K $^{-4}$ |
| costante di Wien | $c_W = 2.8 \cdot 10^{-3}$ K m |

| | Si | Ge |
|---|-----------------------|-----------------------|
| costante dielettrica relativa ϵ_r | 11.7 | 16 |
| concentrazione intrinseca n_i [cm $^{-3}$] | 1.45×10^{10} | 2.4×10^{13} |
| gap di energia E_G [eV] | 1.12 | 0.66 |
| densità di stati effettiva in banda di conduzione N_C [cm $^{-3}$] | 2.8×10^{19} | 1.04×10^{19} |
| densità di stati effettiva in banda di valenza N_V [cm $^{-3}$] | 1.04×10^{19} | 0.6×10^{19} |