

1. Si consideri un reticolo cristallino caratterizzato dalla relazione di dispersione $E(k) = E_0(1 - \cos(ka))$, dove $E_0 = 100$ meV, $a = 1$ nm e $\tau_m = 100$ fs, soggetto a un campo elettrico $F = 20$ kV/cm. Calcolare la variazione di momento Δk e la mobilità μ per un elettrone localizzato inizialmente in $k = 0$.
2. Si consideri il semiconduttore monodimensionale a gap indiretto in **Fig. 1** ($E_g = 1.3$ 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 $E_{ph} = 1.6$ 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 $E_{phn} = 11$ meV necessari per termalizzare sul fondo della banda a seguito della promozione in BC.
3. Si calcolino le masse DOS e di conduzione per elettroni e lacune nel β -carburo di silicio (β -SiC) note le masse efficaci $m_l = 0.68m_0$, $m_t = 0.25m_0$, $m_{hh} = 0.5m_0$, $m_{lh} = 0.23m_0$, e la degenerazione in banda di conduzione $g_c = 6$.
4. Si consideri un metallo bidimensionale ($m^* = m_0$) alla temperatura $T = 0$ K. Nota la concentrazione elettronica in banda di conduzione $n = 5 \cdot 10^{14}$ cm⁻², si calcoli la posizione del livello di Fermi E_F . Se si portasse il materiale alla temperatura $T = 300$ K, come varierebbe la posizione del livello di Fermi, assumendo pari concentrazione elettronica?
5. Si considerino due campioni metallici di litio ($W_1 = 3$ eV) e di un secondo metallo ignoto. Sapendo che a $T = 300$ K si osserva nel secondo campione una densità di corrente per effetto termoionico J_2 pari a 10 volte quella del campione di litio, determinare la funzione lavoro W_2 del secondo metallo facendo ragionevoli approssimazioni.
6. Calcolare la resistività dell'antimoniuro di indio (InSb) intrinseco a $T_1 = 300$ K e $T_2 = 450$ K, nota l'energia di gap $E_g = 0.17$ eV, le densità di stati equivalenti $N_c(300$ K) = $4.16 \cdot 10^{16}$ cm⁻³ e $N_v(300$ K) = $7.3 \cdot 10^{18}$ cm⁻³, le masse efficaci di conduzione $m^*_n = 0.014m_0$, $m^*_p = 0.4m_0$, e la costante di rilassamento del momento $\tau_m = 600$ fs.
7. Si consideri Silicio drogato con impurezze di tipo accettore $N_A = 10^{17}$ cm⁻³. Sapendo che il livello di Fermi E_F coincide con l'energia dello stato accettore E_A a $T_1 = 60$ 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.
8. Si consideri la barretta di silicio sottoposta ad esperimento di effetto Hall in **Fig. 2** ($t = 100$ nm, $W = 400$ nm, $L = 2$ μ m, $B = 0.5$ T). Applicando una tensione longitudinale $V_L = 1$ V, si misurano una corrente $I = 10$ μ A e una tensione trasversale $V_H = 5$ mV positiva nel verso indicato. Determinare tipologia e concentrazione dei droganti e mobilità dei portatori maggioritari.
9. Si consideri un resistore realizzato in p-silicio con $N_A = 10^{17}$ cm⁻³ ai cui capi è applicata una tensione $V_A = 1$ V. Nota l'energia del fonone ottico $E_{phn} = 63$ meV, la massa efficace di conduzione $m^*_p = 0.38m_0$ e la costante di rilassamento del momento $\tau_m = 100$ fs, determinare la lunghezza critica L_{crit} al di sotto della quale il dispositivo opera in regime di velocità saturata.
10. Si consideri una barretta di silicio (drogaggio n, $N_D = 10^{17}$ cm⁻³, tempo di ricombinazione dei minoritari $\tau_p = 100$ ns) dove un fascio laser impone una concentrazione in eccesso di portatori minoritari in superficie pari a $\delta p(0) = 10^{15}$ cm⁻³. Sapendo che la concentrazione in eccesso supera la concentrazione d'equilibrio solo entro i primi 300 μ m dalla superficie irraggiata a temperatura ambiente, calcolare la mobilità delle lacune.

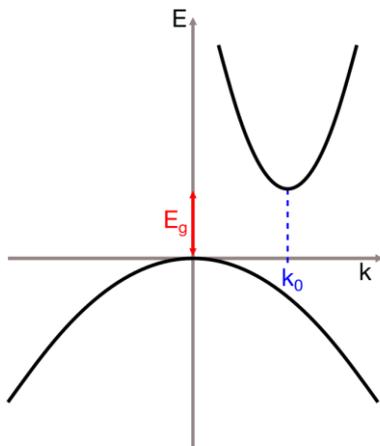


Fig. 1

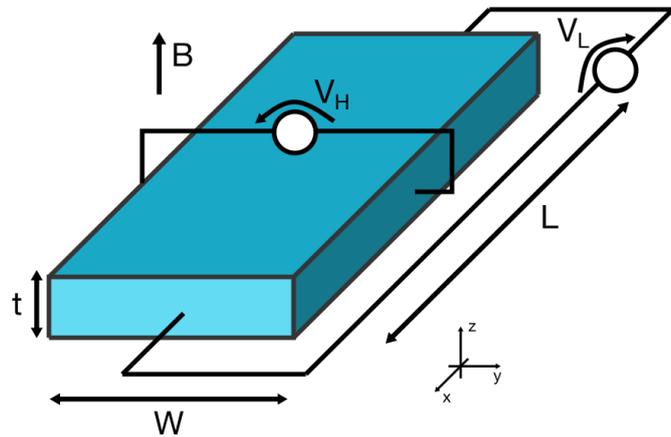


Fig. 2

1. Consider a crystalline lattice characterized by the dispersion relation $E(k) = E_0(1 - \cos(ka))$, where $E_0 = 100$ meV, $a = 1$ nm and $\tau_m = 100$ fs, subject to an electric field $F = 20$ kV/cm. Calculate the momentum variation Δk and the mobility μ for an electron initially localized in $k = 0$.
2. Consider the monodimensional indirect gap semiconductor in **Fig. 1** ($E_g = 1.3$ 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 $E_{ph} = 1.6$ 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 $E_{phn} = 11$ meV to allow thermalization on the band bottom subsequently to electron promotion in BC.
3. Calculate the DOS and conduction masses for electrons and holes in β -silicon carbide (β -SiC), given the effective masses $m_l = 0.68m_0$, $m_t = 0.25m_0$, $m_{hh} = 0.5m_0$, $m_{lh} = 0.23m_0$, and conduction band degeneracy $g_c = 6$.
4. Consider a bidimensional metal ($m^* = m_0$) at temperature $T = 0$ K. Given the electron concentration in the conduction band $n = 5 \cdot 10^{14}$ cm $^{-2}$, calculate the position of the Fermi level E_F . If the material were brought to a temperature $T = 300$ K, how would the Fermi level position change, assuming equal electron concentration?
5. Consider two metallic samples of lithium ($W_1 = 3$ eV) and a second unknown metal. Knowing that at $T = 300$ K the thermionic emission current density for the second sample J_2 is 10 times that of the lithium sample, estimate the work function W_2 of the second metal, using reasonable approximations.
6. Calculate the resistivity of intrinsic indium antimonide (InSb) at $T_1 = 300$ K e $T_2 = 450$ K, given the gap energy $E_g = 0.17$ eV, the equivalent densities of states $N_c(300$ K) = $4.16 \cdot 10^{16}$ cm $^{-3}$ and $N_v(300$ K) = $7.3 \cdot 10^{18}$ cm $^{-3}$, the effective masses for conduction $m^*_n = 0.014m_0$, $m^*_p = 0.4m_0$, and the time constant for momentum relaxation $\tau_m = 600$ fs.
7. Consider doped silicon with acceptor-type impurities $N_A = 10^{17}$ cm $^{-3}$. Knowing that the Fermi level E_F coincides with the energy of the acceptor state E_A at $T_1 = 60$ 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.
8. Consider the silicon slab undergoing a Hall effect experiment in **Fig. 2** ($t = 100$ nm, $W = 400$ nm, $L = 2$ μ m, $B = 0.5$ T). When a longitudinal voltage $V_L = 1$ V is applied to the device, a current $I = 10$ μ A and transversal voltage $V_H = 5$ mV, positive in the pictured orientation, are measured. Determine type and concentration of dopants and mobility of majority carriers.
9. Consider a p-silicon resistor with $N_A = 10^{17}$ cm $^{-3}$ subject to an applied voltage $V_A = 1$ V. Given the energy of the optical phonon $E_{phn} = 63$ meV, the effective mass for conduction $m^*_p = 0.38m_0$ and the time constant for momentum relaxation $\tau_m = 100$ fs, calculate the critical length L_{crit} below which the device operates in velocity saturation regime.
10. Consider the silicon slab (n-doping, $N_D = 10^{17}$ cm $^{-3}$, minority carrier recombination time $\tau_p = 100$ ns) where a laser beam imposes an excess concentration of minority carriers on the surface equal to $\delta p(0) = 10^{15}$ cm $^{-3}$. Knowing that the excess concentration is larger than the equilibrium concentration within 300 μ m from the irradiated surface at room temperature, calculate the hole mobility.

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}