

1. Si consideri un esperimento di effetto fotoelettrico in cui il catodo ($W = 5 \text{ eV}$) è illuminato da un fascio di luce di lunghezza d'onda $\lambda = 180 \text{ nm}$. Determinare la tensione di accelerazione V_A da applicare affinché la velocità dell'elettrone all'anodo sia $v_e = 10^6 \text{ m/s}$ e la corrispondente lunghezza d'onda di de Broglie dell'elettrone all'anodo.
2. Si consideri il sistema buca-barriera ($a = 1 \text{ nm}$, $V_0 = 3 \text{ eV}$) in **Fig. 1**. Determinare la larghezza minima b della barriera affinché il tempo medio di tunneling per un elettrone sul livello E_2 sia $t_{\text{TUN}} = 1 \text{ ps}$, usando l'approssimazione di buca a pareti infinite ai soli fini del calcolo degli autostati. Se si rimuove tale approssimazione, la larghezza necessaria sarà maggiore o minore?
3. Si consideri una buca di potenziale del tipo $V(x) = \alpha x^\beta$. Usando il principio di indeterminazione di Heisenberg, determinare il parametro β affinché la spaziatura dei livelli energetici sia proporzionale a n^{-1} . Rappresentare graficamente la buca ottenuta.
4. Determinare l'energia E dell'elettrone incidente sulla barriera in **Fig. 2** ($a = 5 \text{ nm}$, $V_0 = 1 \text{ eV}$) affinché la probabilità di riflessione sia 10^3 volte quella di trasmissione.
5. Si consideri la relazione di dispersione $E(k) = \gamma(1 - \cos(2ka))$, con $\gamma = 0.7 \text{ eV}$ e $a = 0.25 \text{ nm}$. Dopo aver tracciato la relazione di dispersione, determinare la massa efficace nei punti di minima energia.
6. Si consideri il semiconduttore a gap indiretto in **Fig. 3** ($m_{\text{BV}}^* = 0.7m_e$, $m_{\text{BC}}^* = 0.3m_e$, $k_{0,\text{BV}} = 0$, $k_{0,\text{BC}} = 2 \cdot 10^9 \text{ m}^{-1}$, $E_g = 1 \text{ eV}$). Determinare la lunghezza d'onda λ del fotone necessario per promuovere dalla banda di valenza alla banda di conduzione un elettrone localizzato in $k_i = 1.405 \cdot 10^9 \text{ m}^{-1}$. Determinare quindi il numero e il momento cristallino medio k_{phn} dei fononi di energia $E_{\text{phn}} = 15 \text{ meV}$ necessari per il processo di termalizzazione a fondo banda.
7. Stimare l'energy gap di un semiconduttore sapendo che a $T = 300 \text{ K}$ la concentrazione intrinseca è pari a $n_i = 2 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ e le densità di stati equivalenti in banda di conduzione e valenza sono rispettivamente $N_C = 5 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, $N_V = 3.6 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$.
8. Si consideri un esperimento di effetto Hall realizzato mediante la barretta di silicio drogata p ($N_A = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, $\mu_p = 100 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, $L = W = 10t = 1 \mu\text{m}$) in **Fig. 4**. Sapendo che a una tensione longitudinale $V_L = 3 \text{ V}$ corrisponde una tensione di Hall $V_H = 40 \text{ mV}$, determinare modulo, direzione e verso del campo magnetico B e della corrente I .
9. Si consideri un campione in silicio drogato n ($N_D = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, $E_C - E_D = 20 \text{ meV}$) operante in regime di freeze-out. Sapendo che quando il 50% dei droganti è ionizzato la concentrazione di portatori in banda di conduzione è $n = 10^{13} \text{ cm}^{-3}$, determinare la temperatura di operazione T , trascurando la dipendenza dalla temperatura della densità di stati equivalente in banda di conduzione N_C .
10. Una barretta di silicio ($N_A = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) a temperatura ambiente contiene un eccesso di portatori minoritari $n' = 10^{19} \text{ cm}^{-3}$. Sapendo che il tempo di ricombinazione dei minoritari è $\tau_n = 40 \text{ ns}$, calcolare l'energia del quasi-livello di Fermi F_N ai tempi $t = 0 \text{ s}$, 40 ns e $1.68 \mu\text{s}$.

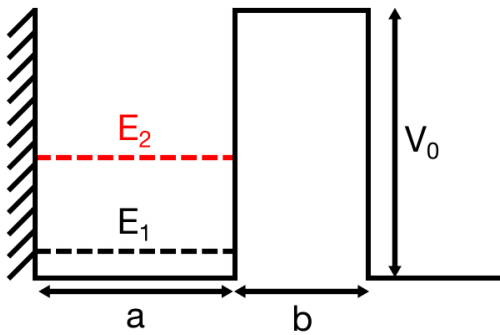


Fig. 1

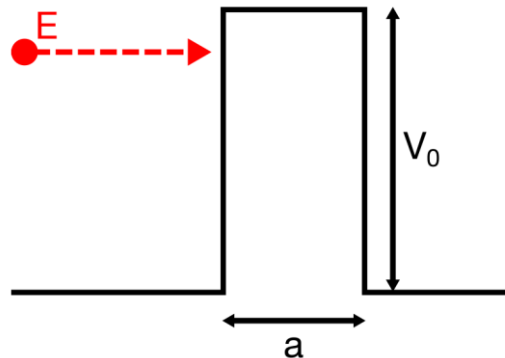


Fig. 2

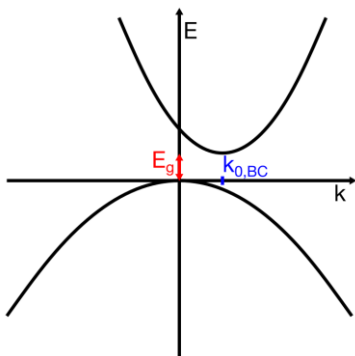


Fig. 3

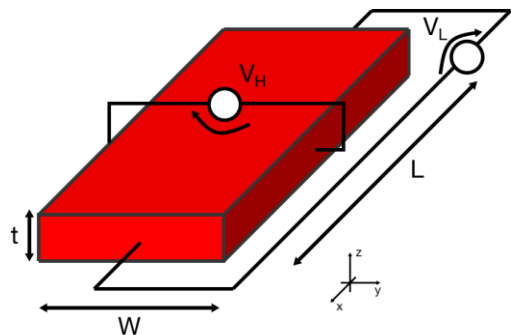


Fig. 4

1. Consider a photoelectric effect experiment in which the cathode ($W = 5 \text{ eV}$) is illuminated by a light beam with wavelength $\lambda = 180 \text{ nm}$. Calculate the acceleration voltage V_A in order for the electron velocity at the anode to $v_e = 10^6 \text{ m/s}$, and the corresponding de Broglie wavelength at the anode.
2. Consider the well-barrier system ($a = 1 \text{ nm}$, $V_0 = 3 \text{ eV}$) in **Fig. 1**. Determine the minimum barrier width b in order for the mean tunneling time for an electron on the E_2 level to be $t_{\text{TUN}} = 1 \text{ ps}$, using the infinite-wall approximation for the well for computing eigenstates only. If the latter approximation were removed, would the minimum length needed be larger or smaller?
3. Consider a potential well of the type $V(x) = \alpha x^\beta$. Using Heisenberg's uncertainty principle, determine the parameter β in order for the spacing of eigenstates to be proportional to n^{-1} . Sketch the resulting well.
4. Calculate the energy E of the electron impinging on the barrier in **Fig. 2** ($a = 5 \text{ nm}$, $V_0 = 1 \text{ eV}$) such that the reflection probability is 10^3 times the transmission probability.
5. Consider the dispersion relation $E(k) = \gamma(1 - \cos(2ka))$, where $\gamma = 0.7 \text{ eV}$ and $a = 0.25 \text{ nm}$. Plot the dispersion relation in a quoted graph and calculate the effective mass in the energy minima.
6. Consider the indirect-gap semiconductor in **Fig. 3** ($m_{\text{BV}}^* = 0.7m_e$, $m_{\text{BC}}^* = 0.3m_e$, $k_{0,\text{BV}} = 0$, $k_{0,\text{BC}} = 2 \cdot 10^9 \text{ m}^{-1}$, $E_g = 1 \text{ eV}$). Calculate the wavelength λ of the photon needed to promote from the valence band to the conduction band an electron localized at $k_t = 1.405 \cdot 10^9 \text{ m}^{-1}$. Estimate the number and mean crystalline moment k_{phn} of the phonons with energy $E_{\text{phn}} = 15 \text{ meV}$ that are needed to realize thermalization to the band minimum.
7. Estimate the energy gap of a semiconductor knowing that at $T = 300 \text{ K}$ the intrinsic concentration is $n_i = 2 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ and the equivalent densities of states in the conduction and valence band are respectively $N_c = 5 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, $N_v = 3.6 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$.
8. Consider the Hall experiment effect using the p-doped silicon slab ($N_A = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, $\mu_p = 100 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, $L = W = 10t = 1 \mu\text{m}$) in **Fig. 4**. Knowing that when a longitudinal voltage $V_L = 3 \text{ V}$ is applied, a Hall voltage $V_H = 40 \text{ mV}$ is read, determine modulus and direction of the magnetic field B and current I .
9. Consider an n-doped silicon sample ($N_D = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, $E_C - E_D = 20 \text{ meV}$) operating in freeze-out regime. Knowing that when 50% of dopants are ionized, the carrier concentration in the conduction band $n = 10^{13} \text{ cm}^{-3}$, estimate the operation temperature T , neglecting the temperature dependence of the equivalent density of states in the conduction band N_c .
10. A silicon slab ($N_A = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) at room temperature contains a minority carrier excess concentration $n' = 10^{19} \text{ cm}^{-3}$. Knowing that the minority recombination time is $\tau_n = 40 \text{ ns}$, calculate the Fermi quasi-level energy for electrons F_N at $t = 0 \text{ s}$, 40 ns and $1.68 \mu\text{s}$.

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}