

1. Si consideri un elettrodo di titanio ($W = 4.33$ eV). Qual è la massima lunghezza d'onda λ della luce in grado di indurre l'effetto fotoelettrico? Determinare la tensione V_{stop} quando l'elettrodo è irraggiato con luce a $\lambda = 222$ nm e $\lambda = 300$ nm. Per $\lambda = 222$ nm, applicando quella tensione, determinare in che posizione relativa tra i due elettrodi la velocità dei fotoelettroni si dimezza rispetto al valore iniziale.
2. Si consideri un elettrone con velocità lungo l'asse x pari a $v_x = 3 \cdot 10^7$ m/s. Sapendo che la velocità è nota con un'incertezza dell'1.5%, stimare la precisione con cui è possibile misurare la posizione dell'elettrone lungo l'asse x.
3. Si consideri la buca di potenziale a pareti infinite mostrata in **Fig. 1**. Sapendo che il rapporto tra il numero di elettroni che popolano il terzo livello e il numero di elettroni che popolano lo stato fondamentale a $T = 400$ K è pari a 10^{-5} , calcolare la larghezza della buca assumendo la statistica di Maxwell-Boltzmann come statistica di occupazione dei livelli energetici.
4. Un fascio di elettroni di lunghezza d'onda $\lambda_e = 0.8$ nm incide sulla barriera di potenziale triangolare di altezza $V = 4.5$ eV mostrata in **Fig. 2**. Sapendo che gli elettroni attraversano la barriera per tunneling con probabilità $P_{\text{tun}} = 10^{-7}$, determinare la larghezza b della barriera.
5. Si consideri la relazione di dispersione $E(k) = E_0 + E_1 \cos(2ka)$, con $E_0 = 2$ eV, $E_1 = 1.3$ eV e $a = 0.8$ nm. Si costruisca un pacchetto d'onda centrato in $k_0 = \frac{\pi}{2a}$ con peso $g(k)$ gaussiano avente $\sigma_k = 0.5 \cdot 10^8$ m $^{-1}$. Valutare la velocità di gruppo, la dispersione del pacchetto e la velocità di fase a $t = 0, 1$ ps, 100 ps.
6. Si consideri una barretta di Silicio intrinseco. Sapendo che l'applicazione di una tensione $V_A = 1$ V genera una corrente $I = 80$ μ A a $T = 300$ K, calcolare la corrente che si genera a $T = 450$ K. Tracciare infine il grafico Arrhenius della corrente I .
7. Si considerino due campioni metallici di cui il primo in Oro (funzione lavoro $W_1 = 5.1$ eV) e il secondo in un metallo ignoto di funzione lavoro W_2 . Sapendo che a temperatura $T_1 = 350$ K la densità di corrente termoionica del primo metallo eguaglia la densità di corrente termoionica del secondo campione misurata a temperatura $T_2 = 200$ K, calcolare la funzione lavoro W_2 facendo ragionevoli approssimazioni sull'espressione della corrente termoionica.
8. Si faccia riferimento alla barretta di silicio in **Fig. 3**. Applicando una tensione $V_L = 3$ V, si legge una tensione $V_H = 10$ mV ed una corrente di $I = 50$ μ A. Calcolare il drogaggio della barretta, specificandone il tipo e la mobilità. Si è in regime di velocità saturata?
9. Si consideri un semiconduttore in antimonio di indio (InSb) ($E_{\text{GAP}} = 0.17$ eV) drogato n con $N_D = 10^{17}$ cm $^{-3}$. Sapendo che $m_{n,\text{DOS}}^* = 0.014 \cdot m_0$, $m_{p,\text{hh}}^* = 0.39 \cdot m_0$ e $m_{p,\text{lh}}^* = 0.015 \cdot m_0$, stimare la minima temperatura per cui il semiconduttore diventa intrinseco.
10. Una barretta di silicio ($N_A = 10^{18}$ cm $^{-3}$) contiene un eccesso di portatori minoritari $n' = 10^{19}$ cm $^{-3}$. Sapendo che il tempo di ricombinazione dei minoritari è $\tau_n = 200$ ns, calcolare il tempo necessario affinché F_N diminuisca di 50 meV.

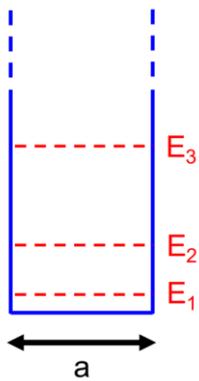


Fig. 1

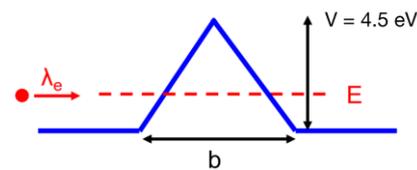


Fig. 2

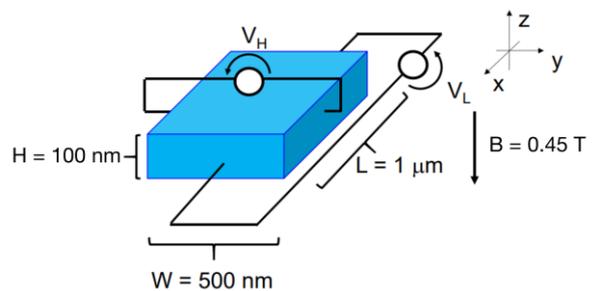


Fig. 3

1. Consider a Ti electrode ($W = 4.33$ eV). What is the maximum wavelength λ of the light which is capable of inducing the photoelectric emission? Calculate the stopping voltage V_{stop} when the electrode is irradiated with light at $\lambda = 222$ nm and $\lambda = 300$ nm. For $\lambda = 222$ nm, under that applied voltage, determine what is the relative position between the 2 electrodes at which the photoelectron velocity is half of the initial value.
2. Consider an electron of velocity along x-axis $v_x = 3 \cdot 10^7$ m/s. Knowing that v_x is known with an uncertainty of 1.5%, estimate the accuracy limit with which the electron position along x-axis can be measured.
3. Consider the infinite well shown in **Fig. 1**. Knowing that the ratio between the number of electrons in the third level and the number of electrons in the ground state at $T = 400$ K is equal to 10^{-5} , calculate the well width assuming the Maxwell-Boltzmann statistics.
4. An electron beam of wavelength $\lambda_e = 0.8$ nm impinges on the triangular barrier of height $V = 4.5$ eV shown in **Fig. 2**. Knowing that the electrons tunnel the barrier with probability $P_{\text{tun}} = 10^{-7}$, determine the barrier width b .
5. Consider the dispersion relationship $E(k) = E_0 + E_1 \cos(2ka)$, where $E_0 = 2$ eV, $E_1 = 1.3$ eV and $a = 0.8$ nm. Build the wavepacket centered in $k_0 = \frac{\pi}{2a}$ and gaussian weight $g(k)$ with $\sigma_k = 0.5 \cdot 10^8$ m $^{-1}$. Calculate the group velocity, the packet dispersion and the phase velocity at $t = 0$, 1 ps, and 100 ps.
6. Consider an intrinsic silicon sample. Knowing that the application of a voltage $V_A = 1$ V generates a current $I = 80$ μ A at $T = 300$ K, calculate the current that is generated, at $T = 450$ K. Finally, sketch the Arrhenius plot of the current I .
7. Consider a first metal sample in gold (work function $W_1 = 5.1$ eV) and a second unknown metal of work function W_2 . Knowing that at temperature $T_1 = 350$ K the thermoionic current density of first sample is equal to the thermoionic current density of second sample at $T_2 = 200$ K, calculate W_2 with reasonable approximations on thermoionic current expression.
8. Consider the silicon rod in **Fig. 3**. Applying a voltage $V_L = 3$ V, a voltage $V_H = 10$ mV is read and a current $I = 50$ μ A is measured. Calculate the rod doping, specifying the type and the mobility. Are the carriers at saturated velocity?
9. Consider a n-doped InSb semiconductor sample ($E_{\text{GAP}} = 0.17$ eV) where doping concentration is $N_D = 10^{17}$ cm $^{-3}$. Knowing that $m_{n,\text{DOS}}^* = 0.014 \cdot m_0$, $m_{p,\text{hh}}^* = 0.39 \cdot m_0$ and $m_{p,\text{lh}}^* = 0.015 \cdot m_0$, provide an estimate of the minimum temperature such that the semiconductor becomes intrinsic-type.
10. A silicon rod ($N_A = 10^{18}$ cm $^{-3}$) contains an excess of minority carriers $n' = 10^{19}$ cm $^{-3}$. Knowing that the recombination time of the minority carriers is $\tau_n = 200$ ns, calculate the time needed for F_N to reduce of 50 meV.

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}