1. Un fascio di neutroni termici (m_n =1839 m_0) viene impiegato in un esperimento di diffrazione attraverso un cristallo con struttura cubica semplice di passo a = 4.5 Å. Determinare l'angolo corrispondente al primo picco di diffrazione riferito ai piani (100) a T_1= 400 K. Si valuti inoltre la temperatura T_2 per cui il secondo picco riferito ai piani (110) coincide con il primo picco (100) valutato a 400 K.

2. Si consideri una buca di potenziale di altezza V = 1 eV avente 3 stati confinati. Sapendo che un fotone di lunghezza d'onda λ = 1650 nm eccita la transizione elettronica dal livello fondamentale al terzo livello confinato, stimare la larghezza della buca adottando l'approssimazione di buca a pareti infinite.

3. La larghezza della buca dell'esercizio precedente viene ridotta fino ad avere un solo autovalore e successivamente la buca in esame viene accoppiata ad un'altra buca identica. Disegnare le funzioni d'onda degli stati elettronici originati dall'accoppiamento e calcolare il relativo splitting energetico sapendo che la frequenza di oscillazione tra le due buche di un elettrone confinato ν = 1.2 THz.

4. Si consideri la barriera di potenziale di altezza V = 1 eV mostrata in **Fig. 1**. Aumentando l'energia del fascio di elettroni incidenti si ha che il primo picco di trasmissione attraverso la barriera corrisponde ad una lunghezza d'onda di De Broglie (riferita alla regione x<0) λ_e = 0.95 nm. Calcolare la larghezza a della barriera.

5. Si consideri un reticolo cristallino monodimensionale caratterizzato da N = 10^4 celle e passo reticolare a = 0.4 nm. Nota la massa efficace m* = 0.28·m_0 e la mobilità μ = 628 $cm^2V^{-1}s^{-1}$ dell'elettrone, determinare il momento stazionario k dell'elettrone e la tensione V applicata ai capi del reticolo affinchè la potenza dissipata per scattering P = 1 nW. Si adotti l'approssimazione parabolica nell'intorno del minimo della banda di conduzione.

6. Un semiconduttore è caratterizzato da una banda di valenza con 3 sottobande degeneri in Γ a cui sono associate rispettivamente le masse m^*_{h1} = 0.1·m_0, m^*_{h2} = 0.2·m_0 e m^*_{h3} = 0.4·m_0. Sapendo che la banda di conduzione ha un'unica valle in Γ e che N_C=N_V, calcolare la massa efficace dell'elettrone in banda di conduzione m^*_e. Di quanto si sposta il livello intrinseco E_i rispetto a E_G/2. Sapendo che E_i si trova a 0.5 eV sopra il massimo della banda di valenza, calcolare la concentrazione intrinseca a temperatura ambiente.

7. In un campione di silicio drogato p si ha un punto in cui il massimo della banda di valenza E_V varia di 1 meVnm^{-1} e la concentrazione di elettroni n varia di 10^6 cm^{-3}nm^{-1}. Calcolare la concentrazione di elettroni n e di lacune p in quel punto e la posizione del livello di Fermi a T=300 K.

8. Si consideri un campione di silicio drogato n in regime di freeze-out a temperatura T= 40 K. Sapendo che E_F(0 K)-E_F(T) = 5.7 meV e che la concentrazione di elettroni in banda di conduzione n = 10^{14} cm^{-3}, calcolare l'energia di legame E_C-E_D.

9. Si consideri un campione di germanio drogato p (N_A = 10^{15} cm^{-3}) in cui la mobilità μ_p = μ_n/3 = 250 $cm^2V^{-1}s^{-1}$. Calcolare la resistività del campione. Determinare di quanto varia la resistività irraggiando il campione con tasso G = 10^{20} cm^{-3}s^{-1} assumendo un tempo di ricombinazione τ = 1 μs.

10. Si consideri il semiconduttore drogato p di lunghezza infinita rappresentato in **Fig. 2**. Tale semiconduttore è sottoposto ad un irraggiamento che determina in superficie una concentrazione locale di portatori in eccesso n'(0). Sapendo che alla profondità x*=170 μm la concentrazione di portatori in eccesso si è ridotta di un fattore 100, si calcoli la temperatura T del campione. Si assuma una mobilità elettronica μ_n = 800 $cm^2V^{-1}s^{-1}$ e un tempo di ricombinazione τ = 0.5 μs.

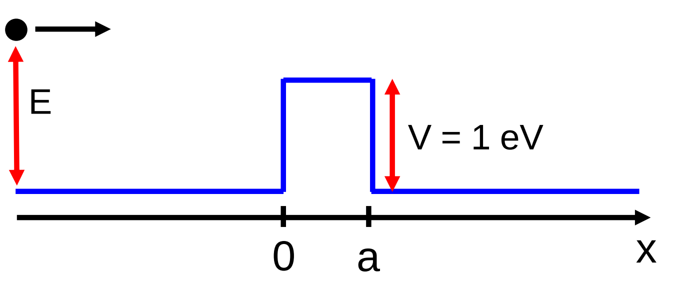

Fig. 1

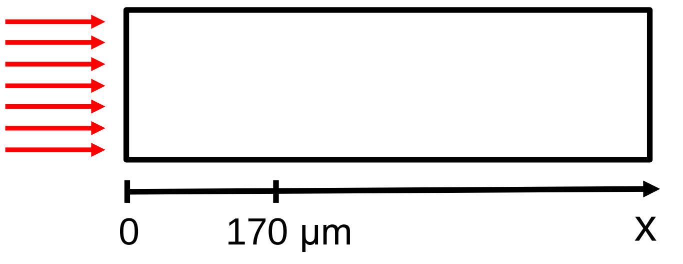

Fig. 2

Solid State Electronics 21.7.2017

1. In a diffraction experiment a beam of thermal neutrons (m_n =1839 m_0) impinges on a simple cubic crystal lattice with lattice constant a = 4.5 Å. Calculate the angle corresponding to the first diffraction peak related to (100) planes at T_1= 400 K. In addition, evaluate the temperature T_2 such that the second diffraction peak related to (110) planes coincides with the (100) first peak at 400 K.

2. Consider a potential well of height V = 1 eV with 3 confined eigenstates. Knowing that a photon of wavelength λ = 1650 nm induces an electronic transition from ground level to the third one, estimate the width of well using the infinite well approximation.

3. The width of potential well considered in the previous exercise is reduced up to have only one eigenvalue and then the well is coupled to another identical well. Draw the wavefunctions of electronic states due to well coupling and calculate the corresponding energy splitting knowing that an electron oscillates between the coupled wells at frequency ν=1.2 THz.

4. Consider the potential barrier of height V = 1 eV shown in **Fig. 1**. Increasing the energy E of incident electron beam a first transmission peak corresponding to a De Broglie wavelength (in x<0 range) λ_e = 0.95 nm is observed. Calculate the barrier width a.

5. Consider a 1D crystal lattice with N = 10^4 cells and lattice parameter a = 0.4 nm. Given the electron effective mass $m^* = 0.28 \cdot m_0$ and mobility μ = 628 $cm^2V^{-1}s^{-1}$, determine the stationary momentum k and the applied voltage V such that electrical power dissipated due to scattering P = 1 nW. Use the parabolic approximation in the minimum of conduction band.

6. A semiconductor has a valence band with 3 degenerate bands in Γ characterized by $m^*_{h1} = 0.1 \cdot m_0$, $m^*_{h2} = 0.2 \cdot m_0$ and $m^*_{h3} = 0.4 \cdot m_0$, respectively. Knowing that the conduction band has only one minimum in Γ and N_C=N_V, calculate the effective mass of the conduction band m^*_e. Which is the energy separation between the intrinsic level E_i and $E_G/2$. Knowing that E_i is above 0.5 eV from the maximum of valence band, calculate the intrinsic concentration at room temperature.

7. In a p-doped Si sample there is a point where the maximum of valence band E_V varies by 1 $meVnm^{-1}$ and the electron concentration n varies by 10^6 $cm^{-3}nm^{-1}$. Calculate the electron concentration n and hole concentration p in that point and the position of Fermi level at T=300 K.

8. Consider a n-doped Si sample operating in freeze-out zone at T= 40 K. Knowing that E_F(0 K)-E_F(T) = 5.7 meV and the electron concentration in conduction band n = 10^{14} cm^{-3}, determine the binding energy for an electron in the donor site E_C-E_D.

9. Consider a p-doped Ge sample (N_A = 10^{15} cm^{-3}) in which $\mu_p = \mu_n/3$ = 250 $cm^2V^{-1}s^{-1}$. Calculate the resistivity. Determine the resistivity variation because of the irradiation of the sample with generation rate G = 10^{20} $cm^{-3}s^{-1}$ given a minority carrier lifetime τ = 1 μs.

10. Consider a p-doped semiconductor of infinite length shown in **Fig. 2**. A light source irradiates the sample inducing an excess local carrier concentration at the surface n'(0). Knowing that at depth x*=170 μm the excess carrier concentration decreases by a factor 100, determine the temperature T of the sample. Assume an electron mobility μ_n = 800 $cm^2V^{-1}s^{-1}$ and a minority carrier lifetime τ = 0.5 μs.

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	$\varepsilon_0 = 8.85419 \cdot 10^{-12}$ 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 x 10^{10}	2.4 x 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 x 10^{19}	1.04 x 10^{19}
densità di stati effettiva in banda di valenza N_V [cm^{-3}]	1.04 x 10^{19}	0.6 x 10^{19}