Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Elettronica
Prova Scritta di: ***Fisica dello Stato Solido*** *(Prof.Messina)*

Data_____ Cognome_____ Nome _____ n. matricola_____

Problema 1
Si consideri a *T=300K* un diodo Schottky realizzato con oro (*Au*) su arseniuro di gallio (*GaAs*) di tipo-*n* drogato con $N_d = 5 \cdot 10^{16} cm^{-3}$. L'altezza di barriera è $q\varphi_{B0}$=0.87eV. Determinare in assenza di polarizzazione *(a)* l'energia potenziale di built-in qV_{bi}; *(b)* la larghezza x_d della zona di svuotamento; *(c)* il campo elettrico E_{max} alla giunzione metallo-semiconduttore. (d) Determinare il voltaggio inverso V_R a cui l'abbassamento $q\Delta\varphi$ della barriera Schottky è pari al *7%* di $q\varphi_{B0}$.
($N_C = 4.7\ 10^{17}\ cm^{-3}$; $\epsilon_{rel,GaAs} = 13.1$; $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-14}\ F/cm$; $k = 1.38\ 10^{-23}\ J/K$)

Quesito 1
Si consideri una quantum well in *GaAs*. La massa efficace degli elettroni nel *GaAs* è $m^*_e = 0.07\ m_0$, la massa efficace delle lacune è $m^*_h = 0.5\ m_0$ (dove $m_0 = 9.11\ 10^{-31}\ kg$ è la massa dell'elettrone libero), $E_{gap} = 1.42\ eV$. Lo spessore della quantum well è $d = 10\ nm$.
(a) Calcolare il valore E_1 del primo livello di energia di un elettrone rispetto al bordo E_C della banda di conduzione.
(b) Calcolare il valore E'_1 del primo livello di energia di una lacuna rispetto al bordo E_V della banda di valenza.
(c) Calcolare la distanza in energia fra il primo livello di energia dell'elettrone e il primo livello di energia di una lacuna nella quantum well.
(d) Calcolare la lunghezza d'onda del fotone emesso per ricombinazione *e-h* nella quantum well e confrontarla con quella del *GaAs "bulk"*. Calcolare la variazione di lunghezza d'onda $\Delta\lambda$.

Quesito 2
Si consideri un campione di *GaAs* di tipo-*n* irradiato con fotoni di energia $hv = 1.9\ eV$. La concentrazione di portatori minoritari in eccesso è $\delta p = 10^{15} cm^{-3}$ sulla superficie del campione. Sapendo che il coefficiente di assorbimento del *GaAs* a *1.9 eV* è $\alpha = 1.3 \cdot 10^4\ cm^{-1}$ e che il tempo di vita τ dei portatori in eccesso è $\tau = 10^{-7}\ s$, calcolare:
(a) l'intensità I_0 del fascio incidente sulla superficie del campione;
(b) a quale distanza x dalla superficie del campione il rate di generazione $g'(x)$ diventa il *20%* di quello alla superficie ($g'(0)$).

Quesito 3
Un fascio di luce incide su un lastra di *GaAs* di spessore $d = 1\mu m$. Se il *60%* dell'intensità incidente è assorbita dal semiconduttore, determinare il coefficiente di assorbimento α.

Quesito 4
Partendo dalla relazione

$$n_0 = N_c \exp\left[\frac{-(E_c - E_F)}{kT}\right]$$

che esprime la concentrazione n_0 di elettroni in banda di conduzione all'equilibrio termico in funzione di N_C e di E_C-E_F, ricavare n_0 in funzione di n_i e di E_F-E_{Fi} :

$$n_0 = n_i \exp\left[\frac{E_F - E_{Fi}}{kT}\right]$$

Quesito 5
Un campione di *GaAs* a *T=300K* contiene impurità accettatrici con concentrazione $N_a = 10^{15} cm^{-3}$.
(a) Calcolare la distanza fra il livello di Fermi intrinseco E_{Fi} e il livello di Fermi E'_F.
*(b)*Si vuole che il livello di Fermi E_F si trovi *0.45eV* sotto il livello di Fermi intrinseco. Determinare la concentrazione e il tipo di impurità (donori oppure accettori) che devono essere aggiunte.

Table B.4 | Silicon, gallium arsenide, and germanium properties ($T = 300$ K)

Property	Si	GaAs	Ge
Atoms (cm^{-3})	5.0×10^{22}	4.42×10^{22}	4.42×10^{22}
Atomic weight	28.09	144.63	72.60
Crystal structure	Diamond	Zincblende	Diamond
Density (g/cm^{-3})	2.33	5.32	5.33
Lattice constant (Å)	5.43	5.65	5.65
Melting point (°C)	1415	1238	937
Dielectric constant	11.7	13.1	16.0
Bandgap energy (eV)	1.12	1.42	0.66
Electron affinity, χ (volts)	4.01	4.07	4.13
Effective density of states in conduction band, N_c (cm^{-3})	2.8×10^{19}	4.7×10^{17}	1.04×10^{19}
Effective density of states in valence band, N_v (cm^{-3})	1.04×10^{19}	7.0×10^{18}	6.0×10^{18}
Intrinsic carrier concentration (cm^{-3})	1.5×10^{10}	1.8×10^{6}	2.4×10^{13}
Mobility (cm^2/V-s)			
Electron, μ_n	1350	8500	3900
Hole, μ_p	480	400	1900
Effective mass $\left(\frac{m^*}{m_0}\right)$			
Electrons	$m_l^* = 0.98$	0.067	1.64
	$m_t^* = 0.19$		0.082
Holes	$m_{lh}^* = 0.16$	0.082	0.044
	$m_{hh}^* = 0.49$	0.45	0.28
Effective mass (density of states)			
Electrons $\left(\frac{m_n^*}{m_0}\right)$	1.08	0.067	0.55
Holes $\left(\frac{m_p^*}{m_0}\right)$	0.56	0.48	0.37