

ZADACI IZ ELEKTRONIKE POLUVODIČI – OSNOVE 1

- Izračunajte koncentracije slobodnih elektrona i šupljina u intrinzičnom germaniju na temperaturi $T=350$ K. Za koliko se postotaka poveća ta koncentracija pri porastu temperature za 1 K? Širina zabranjene zone pri 300 K iznosi 0.66 eV, a intrinzična koncentracija $2.33 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$.
Rj: $n_i(350 \text{ K})=1.8 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}$; $\Delta n_i/n_i=3.55\%$
- Siliciju je na sobnoj temperaturi dodana koncentracija akceptorskih atoma $N_A=5 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ i donorskih atoma $N_D=3 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}$. Izračunaj koncentraciju elektrona i šupljina. Širina zabranjenog pojasa je $E_G=1.21 \text{ eV}$, a konstanta $C=1.5 \cdot 10^{33} \text{ cm}^{-6} \text{ K}^{-3}$.
Rj: $n=9.5 \cdot 10^5 \text{ cm}^{-3}$; $p=2 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}$
- Odredite položaj Fermijevog nivoa kod intrinzičnog poluvodiča, te posebno u aproksimaciji $m_e^*=m_p^*$.
Rj: $E_F = \frac{3kT}{4} \ln \left(\frac{m_p^*}{m_e^*} \right) + \frac{E_g}{2}$; za $m_p^*=m_e^*$ slijedi $E_F=E_g/2$
- Polazeći od izraza za ravnotežnu koncentraciju elektrona $n = N_c e^{-\frac{E_G-E_F}{kT}}$ i šupljina $p = N_v e^{-\frac{E_F}{kT}}$, izvedite izraze za koncentraciju tih nosilaca u ovisnosti o intrinzičnim veličinama (n_i , E_i)
Rj: $n = n_i e^{\frac{E_F-E_i}{kT}}$; $p = n_i e^{\frac{E_i-E_F}{kT}}$
- Uzorak silicija atomske mase 28.1 i gustoće 2.33 g/cm^3 , ima 1 atom akceptorskih primjesa na 10^8 atoma silicija. Ako je efektivna masa šupljina jednaka $0.6 m_e$ (m_e je efektivna masa elektrona), odredi položaj Fermijevog nivoa u takvom poluvodiču kod sobne temperature. Kod koje će se koncentracije primjesa Fermijev nivo podudarati sa dnom zabranjene zone?
Rj: $E_F=0.26 \text{ eV}$; $N_A=N_v$
- Germanij sadrži
 - $5 \cdot 10^{16}$ atoma fosfora u cm^3
 - $5 \cdot 10^6$ atoma fosfora u cm^3 i $8 \cdot 10^{16}$ atoma bora u cm^3 .
 Odredite položaj Fermijevog nivoa u odnosu na intrinzični nivo za oba slučaja na temperaturi $T=250$ K. Intrinzična koncentracija germanija je $n_i=2.4 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ pri temperaturi $T=300$ K, a širina zabranjenog pojasa je $E_G=0.67 \text{ eV}$.
Rj: a) $n_i(250 \text{ K})=2.1 \cdot 10^{12} \text{ cm}^{-3}$; $E_F-E_i=0.217 \text{ eV}$; b) $n_i(250 \text{ K})=2.1 \cdot 10^{12} \text{ cm}^{-3}$; $E_F-E_i=0.227 \text{ eV}$;
- Uzorak silicija dopiran je s $N_D = 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ donorskih i N_A akceptorskih primjesa. Na 300 K Fermijev nivo je udaljen za 0.34 eV od dna vodljive vrpce. Odredite koncentraciju akceptorskih primjesa ako znate širinu zabranjenog pojasa $E_G=1.1 \text{ eV}$ i intrinzičnu koncentraciju $n_i=1.45 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$.
Rj: $N_A=5.15 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$
- Polazeći od analitičkih izraza za koncentraciju elektrona i šupljina, odredite položaj Fermijevog nivoa u germaniju koji je:
 - Intrinzičan,
 - Onečišćen donorskim primjesama $N_D=100n_i$,
 - Onečišćen akceptorskim primjesama $N_A=100n_i$
 Pri sobnoj temperaturi $T=300$ K pod pretpostavkom da su efektivne mase elektrona i šupljina jednake masi mirovanja slobodnog elektrona. Širina zabranjenog pojasa germanija iznosi $E_G=0.67 \text{ eV}$, a intrinzična koncentracija $n_i=2.5 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$. Prikažite rezultat grafički.
Rj: a) $E_F = 0.335 \text{ eV}$; b) $E_F = 0.43 \text{ eV}$; c) $E_F = 0.24 \text{ eV}$

9. Germanij n-tipa onečišćen je tako da 1 atom donora dolazi na 10^8 atoma germanija. Pod pretpostavkom da je efektivna masa elektrona jednaka polovini mase slobodnog elektrona, odredite za koliko je Fermijev nivo udaljen od dna vodljive vrpce na sobnoj temperaturi. Pod kojim će uvjetima na danoj temperaturi Fermijev nivo koincidirati sa dnom vodljive vrpce? Koncentracija atoma germanija iznosi $4.4 \cdot 10^{22} \text{ cm}^{-3}$, a njegova intrinzična koncentracija je $n_i = 2.5 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ na sobnoj temperaturi.

Rj: $\Delta E = E_C - E_F = 0.256 \text{ eV}$; $n = N_C = 8.87 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3} \approx N_D$;

10. Uzorak nekog poluvodičkog materijala ima gustoću 5.32 g/cm^3 i molarnu masu 72.6 g/mol . Dopiranje uzorka je takvo da jedan atom akceptorske primjese dolazi na 10^7 atoma uzorka. Kolika je efektivna masa šupljina ako je na 300 K Fermijev nivo udaljen za 0.22 eV od vrha valentne vrpce?

Rj: $m_p/m_0 = 0.88$

$$L = 6.023 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$k = 1.381 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$$

$$h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

$$m_e = 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$