

## 2.domaća zadaća iz Elektroničkih komponenata

1. Izračunajte koncentracije slobodnih elektrona i šupljina u poluvodiču od silicija dopiranom s koncentracijom donora  $N_D = 4 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ . Temperatura poluvodiča je: a)  $-40^\circ\text{C}$ , b)  $50^\circ\text{C}$ , c)  $140^\circ\text{C}$ .
2. Izračunajte otpor komadića poluvodiča od čistog silicija duljine  $l = 0,2 \text{ mm}$  i presjeka  $S = 0,01 \text{ mm}^2$  na temperaturama  $T = 300 \text{ K}$  i  $T = 350 \text{ K}$ , ako su pokretljivosti nosilaca  $\mu_n(300\text{K}) = 1430 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ,  $\mu_p(300\text{K}) = 460 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ,  $\mu_n(350\text{K}) = 1051 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ,  $\mu_p(350\text{K}) = 328,7 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ .

## Rješenja

1. Koncentracija akceptora nije zadana pa pretpostavljamo da je zanemarivo malena tj.  $N_A = 0$ .

Dakle  $N_D \gg N_A \Rightarrow n > p$  i elektroni su većinski nosioci naboja u ovom poluvodiču pa se koncentracije slobodnih nosioca naboja računaju po formulama

$$n = \frac{N_D - N_A + \sqrt{(N_D - N_A)^2 + 4n_i^2}}{2} \approx \frac{N_D + \sqrt{N_D^2 + 4n_i^2}}{2}, \quad p = \frac{n_i^2}{n}.$$

Intrinsična koncentracija

$$n_i = C \cdot T^{3/2} \cdot \exp\left(-\frac{E'_{G0}}{2 \cdot E_T}\right), \quad C = 3,58 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3} \text{ K}^{-3/2}, \quad E'_{G0} = 1,206 \text{ eV}, \quad E_T = \frac{T}{11605}.$$

a)  $T = 233 \text{ K}$

$$n_i(233 \text{ K}) = 3,58 \cdot 10^{16} \cdot 233^{3/2} \cdot \exp\left(-\frac{1,206 \cdot 11605}{2 \cdot 233}\right) = 1,152 \cdot 10^7 \text{ cm}^{-3}$$

$$n_i \ll N_D \Rightarrow \boxed{n = N_D = 4 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}}, \quad \boxed{p = \frac{n_i^2}{n} = 3,319 \text{ cm}^{-3}}.$$

b)  $T = 323 \text{ K}$

$$n_i(323 \text{ K}) = 3,58 \cdot 10^{16} \cdot 323^{3/2} \cdot \exp\left(-\frac{1,206 \cdot 11605}{2 \cdot 323}\right) = 8,104 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$$

$$n_i \ll N_D \Rightarrow \boxed{n = N_D = 4 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}}, \quad \boxed{p = \frac{n_i^2}{n} = 1,642 \cdot 10^8 \text{ cm}^{-3}}.$$

c)  $T = 413 \text{ K}$

$$n_i(413 \text{ K}) = 3,58 \cdot 10^{16} \cdot 413^{\frac{3}{2}} \cdot \exp\left(-\frac{1,206 \cdot 11605}{2 \cdot 413}\right) = 1,316 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$$

sada ne vrijedi  $n_i \ll N_D$

$$n = \frac{N_D + \sqrt{N_D^2 + 4n_i^2}}{2} = \frac{4 \cdot 10^{13} + 4,788 \cdot 10^{13}}{2} = 4,394 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3},$$

$$p = \frac{n_i^2}{n} = 3,940 \cdot 10^{12} \text{ cm}^{-3}.$$

Vrijedi  $\Delta n = \Delta p$ . Za koliko se poveća broj šupljina u poluvodiču, toliko se poveća i broj slobodnih elektrona. To je vrijedilo i u situacijama a) i b), ali se to ne uočava na koncentraciji elektrona budući da je u tim dvjema situacijama postotna promjena koncentracije elektrona premalena da bi se uočila na rezultatu.

$$2. \quad R = \rho \cdot \frac{l}{S}, \quad \rho = \frac{1}{\sigma}, \quad \sigma = q \cdot (n \cdot \mu_n + p \cdot \mu_p)$$

a)  $T = 300 \text{ K}$

$$n_i(300 \text{ K}) = 1,38 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$$

$$n = p = n_i \quad \rightarrow \quad \sigma = \dots \quad \rightarrow \quad \sigma = q \cdot n_i \cdot (\mu_n + \mu_p)$$

$$\sigma = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1,38 \cdot 10^{10} \cdot (1430 + 460) = 4,173 \frac{\mu\text{S}}{\text{cm}}$$

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = 239,6 \text{ k}\Omega\text{cm}$$

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} = 239,6 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,2 \cdot 10^{-1}}{0,01 \cdot 10^{-2}} = 47,93 \text{ M}\Omega$$

b)  $T = 350 \text{ K}$

$$n_i(350 \text{ K}) = 4,862 \cdot 10^{11} \text{ cm}^{-3}$$

$$n = p = n_i \quad \rightarrow \quad \sigma = \dots \quad \rightarrow \quad \sigma = q \cdot n_i \cdot (\mu_n + \mu_p)$$

$$\sigma = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 4,862 \cdot 10^{11} \cdot (1051 + 328,7) = 107,3 \frac{\mu\text{S}}{\text{cm}}$$

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = 9,317 \text{ k}\Omega\text{cm}$$

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} = 9,317 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,2 \cdot 10^{-1}}{0,01 \cdot 10^{-2}} = 1,863 \text{ M}\Omega$$