

1. Laske aukkojen diffuusiovirta n -tyyppisessä ($N_D = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) piissä, kun aukkotiheys pienenee lineaarisesti arvosta 10^{14} cm^{-3} arvoon 10^{13} cm^{-3} matkalla $1 \text{ }\mu\text{m}$. Aukkojen liikkuvuus $\mu_h = 317 \text{ cm}^2/\text{Vs}$.

$$\begin{aligned} \text{Aukkojen diffuusiovirrantiheys } J_p &= qD_p \frac{dp}{dx} = q \frac{kT}{q} \mu_h \frac{\Delta p}{\Delta x} \\ &= 0,026\text{V} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{C} \cdot 317 \text{cm}^2 / \text{Vs} \cdot \frac{10^{14} - 10^{13}}{10^{-4} \text{cm}} \text{cm}^{-3} = 1,18 \text{ A} / \text{cm}^2. \end{aligned}$$

2. Piipalaa ($n_0 = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) valaisemalla generoidaan tasaisesti $G_L = p'/\tau_p = 3,5 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-3} \text{ e-h-paria/s}$. Tunnetaan $\mu_p = 480 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, $\mu_n = 1350 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ja $\tau_n = \tau_p = 1 \mu\text{s}$. a) Laske aukkotiheys piissä. b) Laske valaisun aiheuttama muutos näytteen johtavuudessa.

$$\text{a) } \delta p = G_L \tau_p = 3,5 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-3} \text{ s}^{-1} \cdot 10^{-6} \text{ s} = 3,5 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}$$

$$p_0 = \frac{n_i^2}{n_0} = \frac{(1,45 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3})^2}{10^{17} \text{ cm}^{-3}} = 2,1 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-3}$$

$$p = p_0 + \delta p = 2,1 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-3} + 3,5 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3} = 3,5 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}$$

$$\begin{aligned} \text{b) } \Delta \sigma &= e(\delta n \mu_n + \delta p \mu_p) = e \delta p (\mu_n + \mu_p), \text{ sillä } \delta n = \delta p \\ &= 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 3,5 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3} (1350 + 450) \text{ cm}^2 / \text{Vs} = 0,10 (\Omega \text{cm})^{-1}. \end{aligned}$$

3. Piidiodin p -puolella resistiivisyys $\rho = 0,1 \Omega \text{cm}$ ja liikkuvuus $\mu_p = 450 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, n -puolella $\rho = 2 \Omega \text{cm}$ ja $\mu_n = 1500 \text{ cm}^2/\text{Vs}$. Liitoksen pinta-ala $A = 0,05 \text{ cm}^2$, ja vähemmistövarausten elinaika n -puolella on $50 \text{ }\mu\text{s}$ ja p -puolella $15 \text{ }\mu\text{s}$. Piille $n_i = 1,45 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ ja $\epsilon_r = 11,9$. $T = 300 \text{ K}$. Laske biasoimattomalle pn -liitokselle a) liitospotentiaali, b) tyhjennysalueen leveys ja c) sähkökentän suurin voimakkuus.

$$p\text{-puoli: } \rho_p = 0,1 \Omega \text{cm} \quad \mu_p = 450 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$$

$$n\text{-puoli: } \rho_n = 2 \Omega \text{cm} \quad \mu_n = 1500 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$$

$$A = 0,05 \text{ cm}^2 \quad \tau_p = 50 \text{ }\mu\text{s} \quad \tau_n = 15 \text{ }\mu\text{s} \quad n_i = 1,45 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3} \quad \epsilon_r = 11,9 \quad T = 300 \text{ K}$$

$$\text{a) } \rho_n = \frac{1}{\sigma_n} = \frac{1}{n_n e \mu_n} \Rightarrow n_n = \frac{1}{\rho_n e \mu_n} = 2,08 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}; n_p = \frac{n_i^2}{p_p} = 1,51 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-3}$$

$$\rho_p = \frac{1}{\sigma_p} = \frac{1}{p_p e \mu_p} \Rightarrow p_p = \frac{1}{\rho_p e \mu_p} = 1,39 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}; p_n = \frac{n_i^2}{n_n} = 1,01 \cdot 10^5 \text{ cm}^{-3}$$

$$\text{Liitospotentiaali } V_{bi} = \frac{kT}{e} \ln \frac{n_n}{n_p} = \frac{kT}{e} \ln \left(\frac{n_n p_p}{n_i^2} \right) = 0,026 \text{ eV} \cdot 27,95 = 0,726 \text{ V}.$$

$$\text{b) Tyhjennysalueen leveys } W = \sqrt{\frac{2 \epsilon V_{bi}}{e} \left(\frac{1}{n_n} + \frac{1}{p_p} \right)} = 0,68 \text{ }\mu\text{m}.$$

c) $W = W_n + W_p \approx W_n$, koska $n_n \ll p_p$ (tyhjennysalue on käytännössä heikosti seostetummalla puolella)

$$\text{Sähkökentän voimakkuuden maksimiarvo } E_{\max} = \left| -\frac{en_n}{\varepsilon} W_n \right| \approx \frac{en_n}{\varepsilon} W = 2,1 \cdot 10^6 \frac{V}{m} = 21 \frac{kV}{cm}.$$

4. *N*-tyyppiseen piikiekkoon (paksuus $d = 0,5 \text{ mm}$) on tehty p^+n -diodi seostamalla ohut pintakerros vahvasti p -tyyppiseksi. Läpilyöntijännite piissä on $4 \cdot 10^5 \text{ V/cm}$. a) Lase n -puolen seostus, jolla p^+n -diodin läpilyöntijännite on 30 V . b) Millä jännitteellä läpilyönti tapahtuu, jos kiekon seostus on $N_D = 10^{13} \text{ cm}^{-3}$?

a) Tyhjennysalue W on käytännössä kokonaan n -puolella:

$$W \approx \sqrt{\frac{2\varepsilon(V_{bi} + V_r)}{eN_d}} \approx \sqrt{\frac{2\varepsilon V_r}{eN_d}}, \quad \text{maksimi sähkökenttä } F = \frac{eN_d}{\varepsilon} W$$

$$\Rightarrow \text{läpilyöntijännite } V_{BD} = \frac{\varepsilon F_{cr}^2}{2eN_d} \Rightarrow N_d = \frac{\varepsilon F_{cr}^2}{2eV_{BD}} = \frac{11,9 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m} \cdot (4 \cdot 10^5 \text{ V/cm})^2}{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 30 \text{ V}}$$

$$= 1,8 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}.$$

b) Jos tyhjennysalue ei rajoita: $V_{BD} = \frac{\varepsilon F_{cr}^2}{2eN_d} = \frac{11,9 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m} \cdot (4 \cdot 10^5 \text{ V/cm})^2}{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 1 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}} = 53 \text{ kV}$

Jos tyhjennysalue koko kiekon läpi: $V'_{BD} = F_{cr} \cdot d = 4 \cdot 10^5 \text{ V/cm} \cdot 0,05 \text{ cm} = 20 \text{ kV}$.

\Rightarrow läpilyöntijännite on 20 kV .