



# Elektronika

## Auditorne vježbe 3

## Zadatak 4.

- Silicijskom poluvodiču dodane su akceptorske primjese gustoće  $N_A = 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ . Odrediti gustoće slobodnih nosilaca naboja na temperaturama:
  - a)  $0^\circ\text{C}$
  - b)  $27^\circ\text{C}$
  - c)  $175^\circ\text{C}$

## Zadatak 4.

☑ Rješenje:

a)  $T=273,15$  K:

$$E_G=1,1312 \text{ eV}$$

$$n_i=7,72 \cdot 10^8 \text{ cm}^{-3}$$

$$\left. \begin{array}{l} (1) \quad n_0 + N_A = p_0 \\ (2) \quad n_0 \cdot p_0 = n_i^2 \end{array} \right\}$$

$$p_0 = \frac{N_A + \sqrt{N_A^2 + 4n_i^2}}{2}$$

$$N_A^2 \gg n_i^2 \Rightarrow p_0 \approx N_A$$

$$p_0 \approx 10^{14} \text{ cm}^{-3}$$

$$n_0 = \frac{n_i^2}{p_0} = 5954 \text{ cm}^{-3}$$

# Zadatak 4.

☑ Rješenje:

b)  $T=300$  K:

$$E_G=1,1245 \text{ eV}$$

$$n_i=8,68 \cdot 10^9 \text{ cm}^{-3}$$

$$N_A^2 \gg n_i^2 \Rightarrow p_0 \approx N_A$$

$$p_0 \approx 10^{14} \text{ cm}^{-3}$$

$$n_0 = \frac{n_i^2}{p_0} = 7,53 \cdot 10^5 \text{ cm}^{-3}$$

# Zadatak 4.

☑ Rješenje:

c)  $T=448$  K:

$$E_G=1,0824 \text{ eV}$$

$$n_i=3,63 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$$

$$p_0 = \frac{N_A + \sqrt{N_A^2 + 4n_i^2}}{2} = 1,12 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}$$

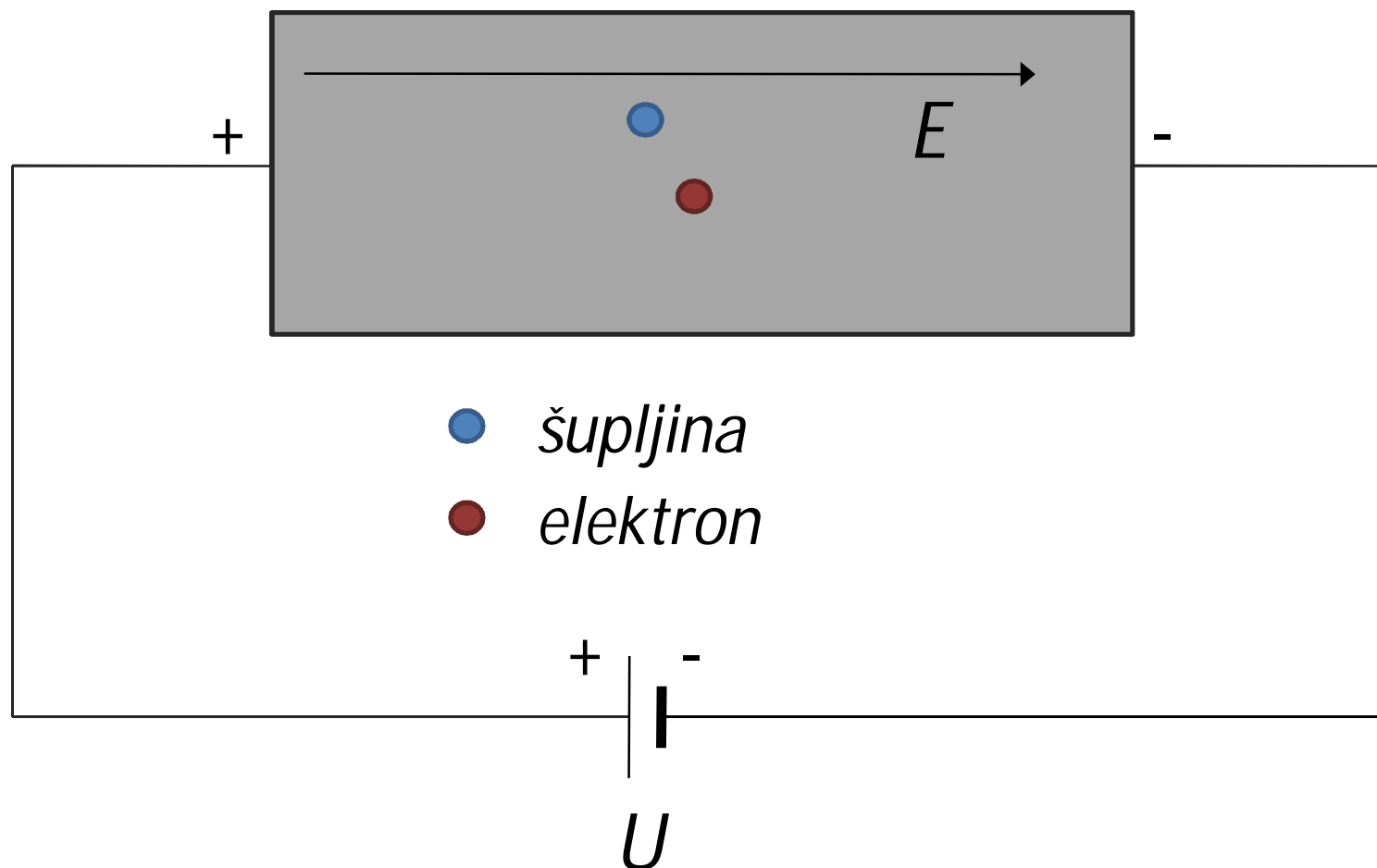
$$n_0 = \frac{n_i^2}{p_0} = 1,18 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$$

# Gibanje nosilaca u poluvodiču

- Usmjereno gibanje nosilaca – električna struja.
- Smjer struje:
  - Jednak smjeru gibanja pozitivnih naboja (šupljina).
  - Suprotan smjeru gibanja negativnih naboja (elektrona).
- Dva osnovna mehanizma:
  - Električno polje – DRIFT
  - Nejednolika raspodjela nosilaca - DIFUZIJA

# Driftno gibanje

- Gibanje nosilaca pod utjecajem električnog polja.



# Driftno gibanje

- O čemu ovisi driftno gibanje?
- Iznos i smjer priključenog električnog polja!
- Sposobnost gibanja elektrona i šupljine u poluvodiču – POKRETLJIVOST!
- Pokretljivost:  $\mu$  [ $\text{cm}^2/\text{Vs}$ ]
  - elektrona  $\mu_n$
  - šupljina  $\mu_p$
- Pokretljivost ovisi o:
  - gustoći primjesa
  - temperaturi
  - jakosti električnog polja
  - raspršenju i međusobnim sudarima nosilaca i dr.



# Pokretljivost nosilaca

- U siliciju na  $T=300$  K:

$$\mu = \mu_{\min} + \frac{\mu_{\max} - \mu_{\min}}{1 + \left( \frac{N}{N_{\text{ref}}} \right)^{\alpha}}$$

nosilac	$N_{\text{ref}}$ [ $\text{cm}^{-3}$ ]	$\mu_{\text{maks}}$ [ $\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ ]	$\mu_{\text{min}}$ [ $\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ ]	$\alpha$
elektron	$1,12 \cdot 10^{17}$	1430	80	0,72
šupljina	$2,23 \cdot 10^{17}$	460	45	0,72

# Električna provodnost

- Električna provodnost:  $\sigma$  [S/cm]
- Ukupna provodnost poluvodiča je zbroj provodnosti zbog gibanja elektrona i šupljina:

$$\sigma = \sigma_n + \sigma_p$$

$$\sigma_n = q \cdot n \cdot \mu_n \quad \sigma_p = q \cdot p \cdot \mu_p$$

## Zadatak 5.

- Izračunati električnu provodnost silicija pri temperaturi  $T=300$  K, ako je gustoća primjesa:  $N_A=10^{14}$   $\text{cm}^{-3}$ .
  - a)  $N_D=N_A=0$
  - b)  $N_D=10^{16}$   $\text{cm}^{-3}$ ,  $N_A=0$
  - c)  $N_A=10^{16}$   $\text{cm}^{-3}$ ,  $N_D=0$
  - d)  $N_D=N_A=10^{16}$   $\text{cm}^{-3}$

# Driftna struja

- Gustoća struje:  $J$  [A/cm<sup>2</sup>]
- Driftno gibanje elektrona:

$$J_{n \text{ drift}} = q \cdot \mu_n \cdot n \cdot E$$

- Driftno gibanje šupljina:

$$J_{p \text{ drift}} = q \cdot \mu_p \cdot p \cdot E$$

# Difuzijsko gibanje

- Nejednolika raspodjela nosilaca u volumenu poluvodiča.
- Gibanje nosilaca: iz područja veće u područje manje gustoće.
- Difuzijsko gibanje traje dok se gustoća ne izjednači u cijelom volumenu.
- Difuzijska konstanta:  $D$  [cm<sup>2</sup>/s]
  - elektrona  $D_n$
  - šupljina  $D_p$

# Difuzijska struja

- Gustoća struje:  $J$  [A/cm<sup>2</sup>]
- Difuzijsko gibanje elektrona:

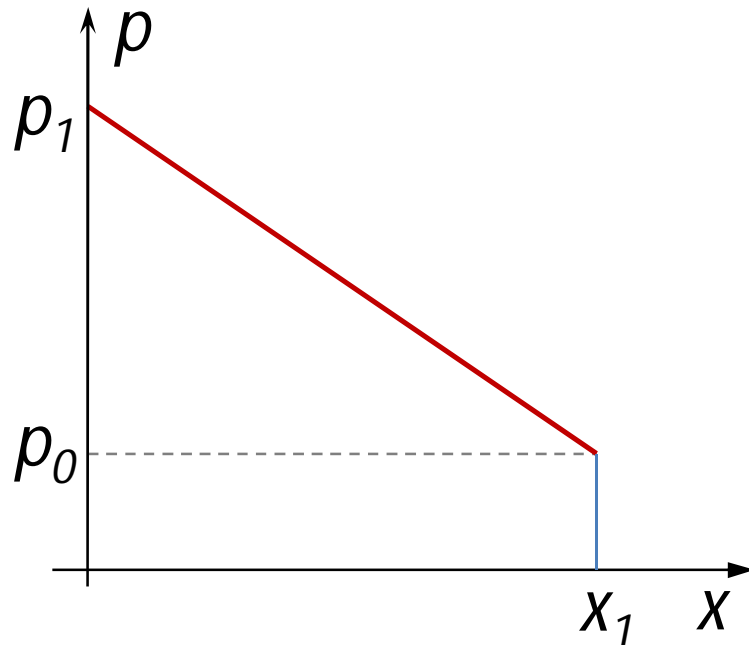
$$J_n = +q \cdot D_n \cdot \frac{dn}{dx}$$

- Difuzijsko gibanje šupljina:

$$J_p = -q \cdot D_p \cdot \frac{dp}{dx}$$

## Zadatak 6.

- Djelovanjem svjetla generiraju se dodatni (*ekscesni*) nosioci uz površinu silicija. Odrediti sve komponente struja (difuzijske i driftne) većinskih i manjinskih nosilaca, ako je raspodjela šupljina dana prema prikazanom crtežu:



Poznato je još:

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

$$x_1 = 10 \text{ } \mu\text{m}$$

$$p_0 = 10^4 \text{ cm}^{-3}$$

$$a) p_1 = 10^8 \text{ cm}^{-3}$$

$$b) p_2 = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$$