

ESF II projekt Západočeské univerzity v Plzni

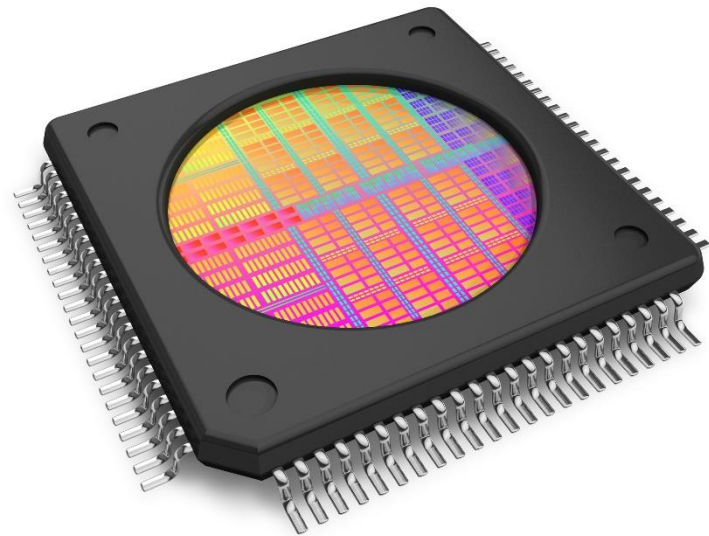
reg. č. CZ.02.2.69/0.0/0.0/18_056/0013239



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Polovodičové materiály a technologie KET/PMAT



Cvičení 2

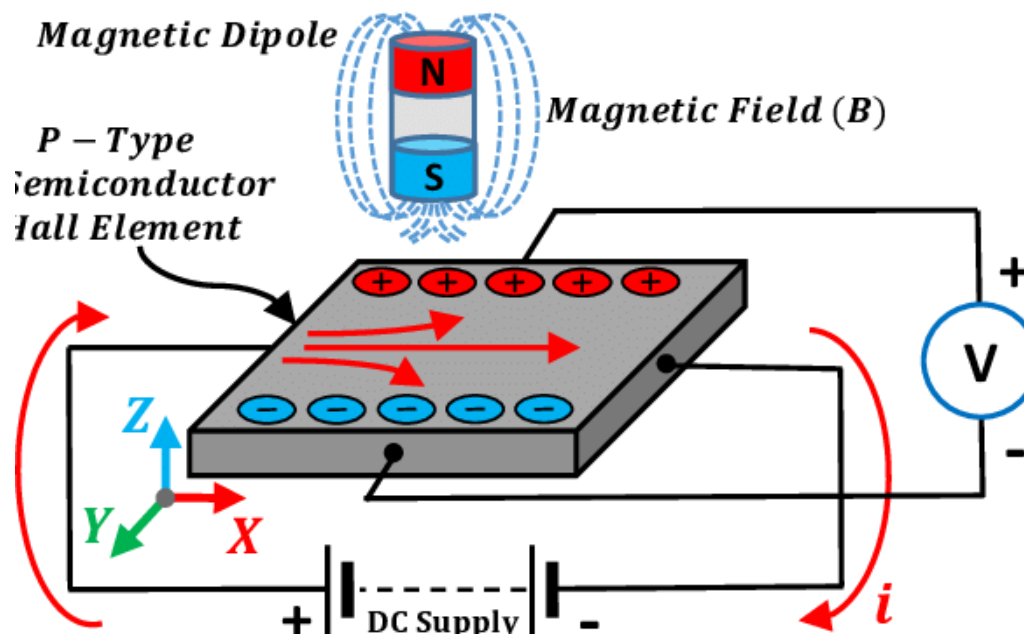


EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Hallův jev

- Vznik Hallova napětí při umístění polovodiče do magnetického pole, kterým protéká proud.
- Lorentzova síla – vychýlení nosičů náboje



<https://www.youtube.com/watch?v=wpAA3qeOYiI>

<https://www.youtube.com/watch?v=wn1UCt9Z6NQ>

Příklad 1

Vzorek křemíkového polovodiče je dopován fosforem s koncentrací 10^{16} atomů/cm³. Jaké vznikne na vzorku Hallovo napětí, když je dáno: tloušťka vzorku $t = 500 \text{ } \mu\text{m}$, průřez vzorku $S = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^2$. Vzorkem protéká proud $I = 1 \text{ mA}$ a působí na něj magnetická indukce $B = 10^{-4} \text{ T}$.

Příklad 1 - řešení

Vzorek křemíkového polovodiče je dopován fosforem s koncentrací 10^{16} atomů/cm³. Jaké vznikne na vzorku Hallovo napětí, když je dáno: tloušťka zorku $t = 500$ μm, průřez vzorku $S = 2,5 \cdot 10^{-3}$ cm². Vzorkem protéká proud $I = 1$ mA a působí na něj magnetická indukce $B = 10^{-4}$ T.

Hallův koeficient:

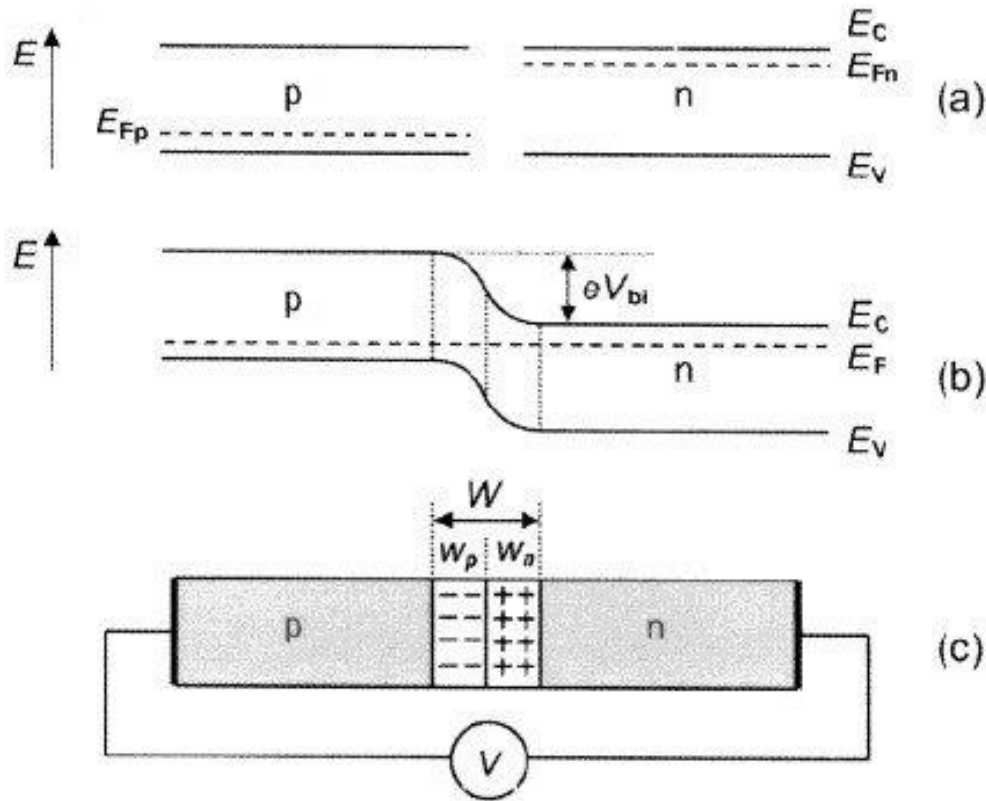
$$R_H = -\frac{1}{qn} = -\frac{1}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{16}} = -625 \text{ cm}^3/\text{C}$$

Hallovo napětí:

$$U_H = R_H \frac{I}{S} B t = -625 \cdot \frac{10^{-3}}{2,5 \cdot 10^{-3}} \cdot 10^{-4} \cdot 500 \cdot 10^{-4} = -1,25 \text{ mV}$$

PN přechod

- Spojení polovodiče typu N a P
- Vznik vyčerpané oblasti a potenciálové bariéry

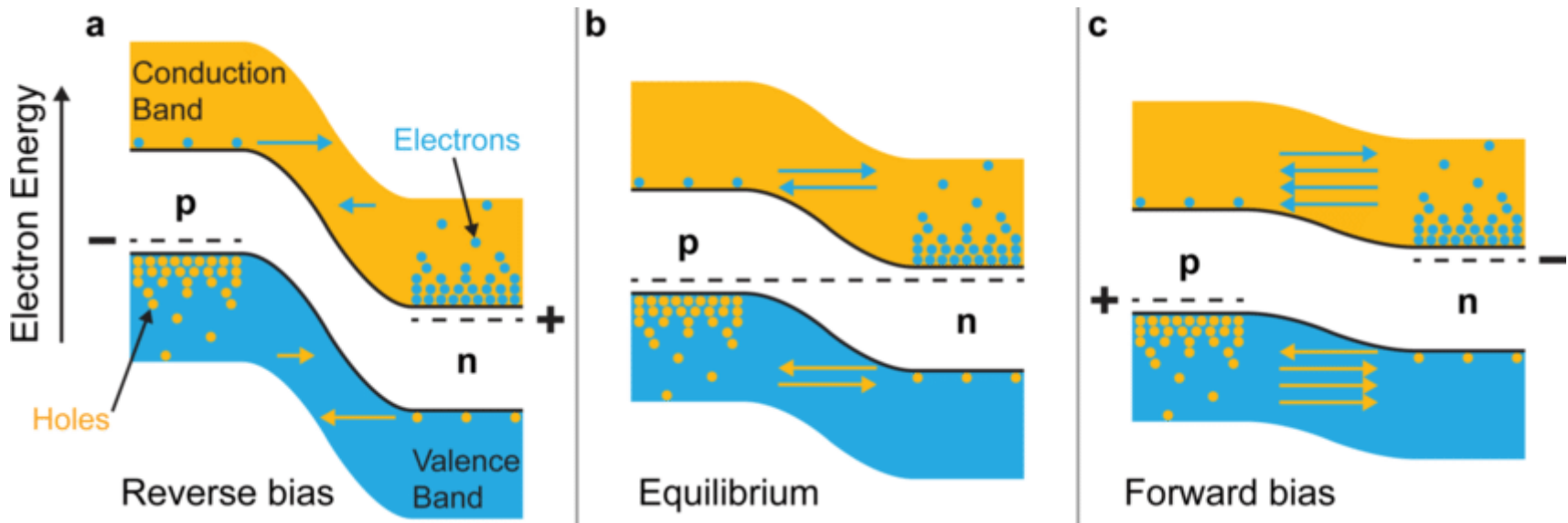


<https://www.youtube.com/watch?v=btOIDQeMrMg>

https://www.youtube.com/watch?v=32vMzGTCzPU&list=RDCMUC_kdcG3xwcEM33u1dfuMDZg&index=2

PN přechod

- Propustný a závěrný směr
- Usměrňovací efekt



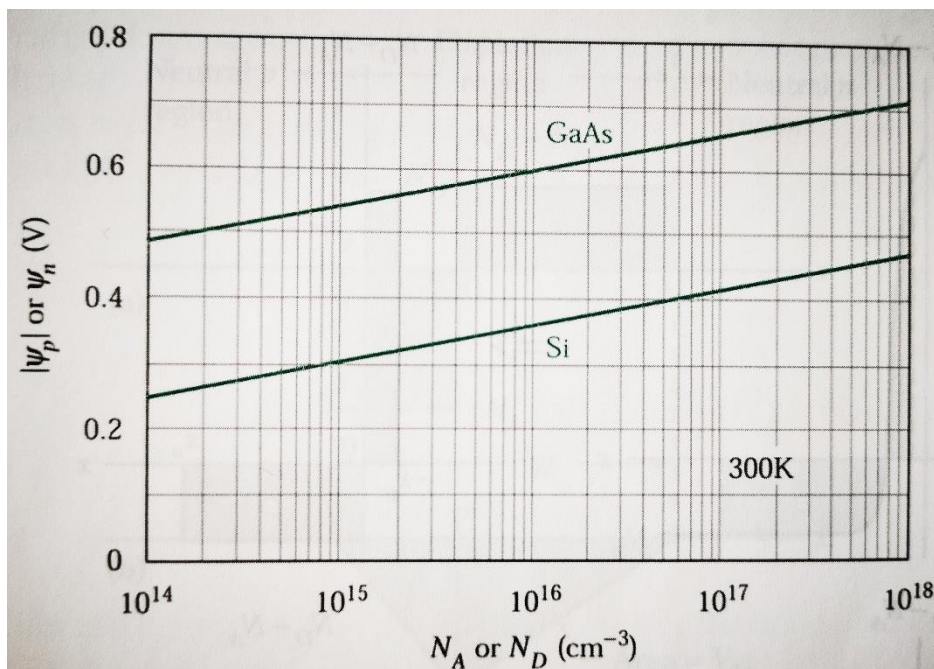
Příklad 2

Určete potenciálovou bariéru křemíkového PN přechodu při teplotě 300 K s parametry: $N_A = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ a $N_D = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$.

Příklad 2 - řešení

Určete potenciálovou bariéru křemíkového PN přechodu při teplotě 300 K s parametry: $N_A = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ a $N_D = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$.

$$U_D = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{N_A N_D}{n_i^2} \right) = 0,0259 \cdot \ln \left(\frac{10^{18} \cdot 10^{15}}{(9,65 \cdot 10^9)^2} \right) = 0,774 \text{ V}$$



Příklad 3

Je dán jednostranný křemíkový PN přechod při teplotě 300 K s parametry: $N_A = 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ a $N_D = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$. Určete šířku vyčerpané oblasti daného PN přechodu.

Příklad 3 - řešení

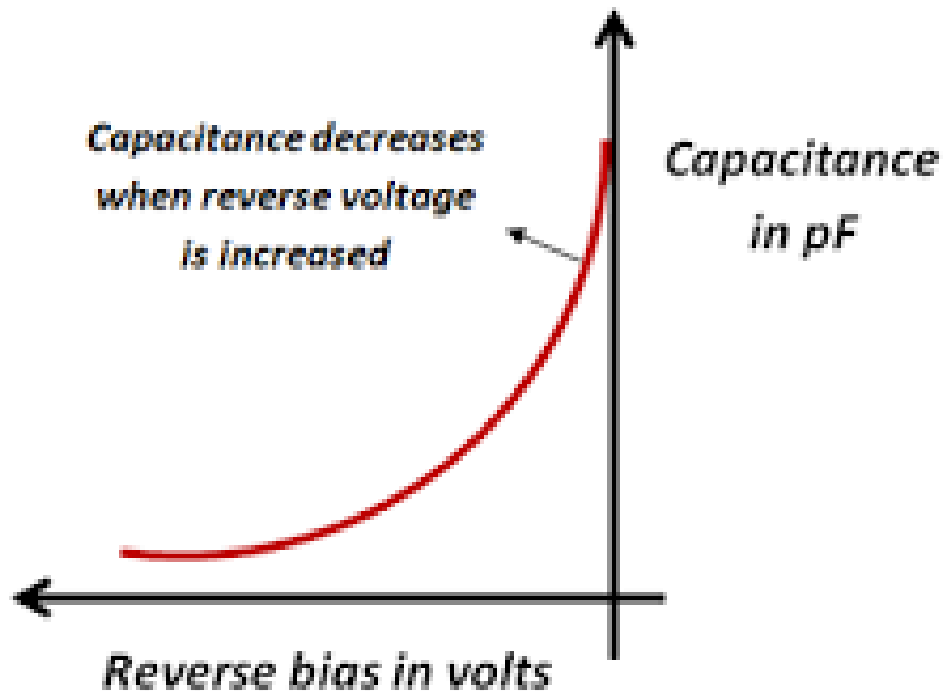
Je dán jednostranný křemíkový PN přechod při teplotě 300 K s parametry: $N_A = 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ a $N_D = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$. Určete šířku vyčerpané oblasti daného PN přechodu.

$$U_D = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{N_A N_D}{n_i^2} \right) = 0,0259 \cdot \ln \left(\frac{10^{19} \cdot 10^{16}}{(9,65 \cdot 10^9)^2} \right) = 0,895 \text{ V}$$

$$d = \sqrt{\frac{2\varepsilon_S U_D}{q N_D}} = 3,41 \cdot 10^{-5} \text{ cm} = 0,341 \text{ }\mu\text{m}$$

Kapacita PN přechodu

- Vyčerpaná oblast se chová jako dielektrikum
- Bariérová a difuzní kapacita



<https://www.youtube.com/watch?v=GVvFlzeDZmk>

<https://www.youtube.com/watch?v=StPTZOPo08A>

Příklad 4

Je dán jednostranný křemíkový PN přechod při teplotě 300 K s parametry: $N_A = 2 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ a $N_D = 8 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$. Určete kapacitu PN přechodu při 0 V a při závěrném napětí 4 V.

Příklad 4 - řešení

Je dán jednostranný křemíkový PN přechod při teplotě 300 K s parametry: $N_A = 2 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ a $N_D = 8 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$. Určete kapacitu PN přechodu při 0 V a při závěrném napětí 4 V.

$$U_D = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{N_A N_D}{n_i^2} \right) = 0,0259 \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot 10^{19} \cdot 8 \cdot 10^{15}}{(9,65 \cdot 10^9)^2} \right) = 0,906 \text{ V}$$

Napětí na PN přechodu: 0 V

$$d_0 = \sqrt{\frac{2\varepsilon_S U_D}{q N_D}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 11,9 \cdot 8,85 \cdot 10^{-14} \cdot 0,906}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 8 \cdot 10^{15}}} = 3,86 \cdot 10^{-5} \text{ cm} = 0,386 \text{ }\mu\text{m}$$

$$C_0 = \frac{\varepsilon_S}{d_0} = \sqrt{\frac{q \varepsilon_S N_D}{2 U_D}} = 2,728 \cdot 10^{-8} \text{ F/cm}^2$$

Příklad 4 - řešení

Je dán jednostranný křemíkový PN přechod při teplotě 300 K s parametry: $N_A = 2 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ a $N_D = 8 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$. Určete kapacitu PN přechodu při 0 V a při závěrném napětí 4 V.

$$U_D = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{N_A N_D}{n_i^2} \right) = 0,0259 \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot 10^{19} \cdot 8 \cdot 10^{15}}{(9,65 \cdot 10^9)^2} \right) = 0,906 \text{ V}$$

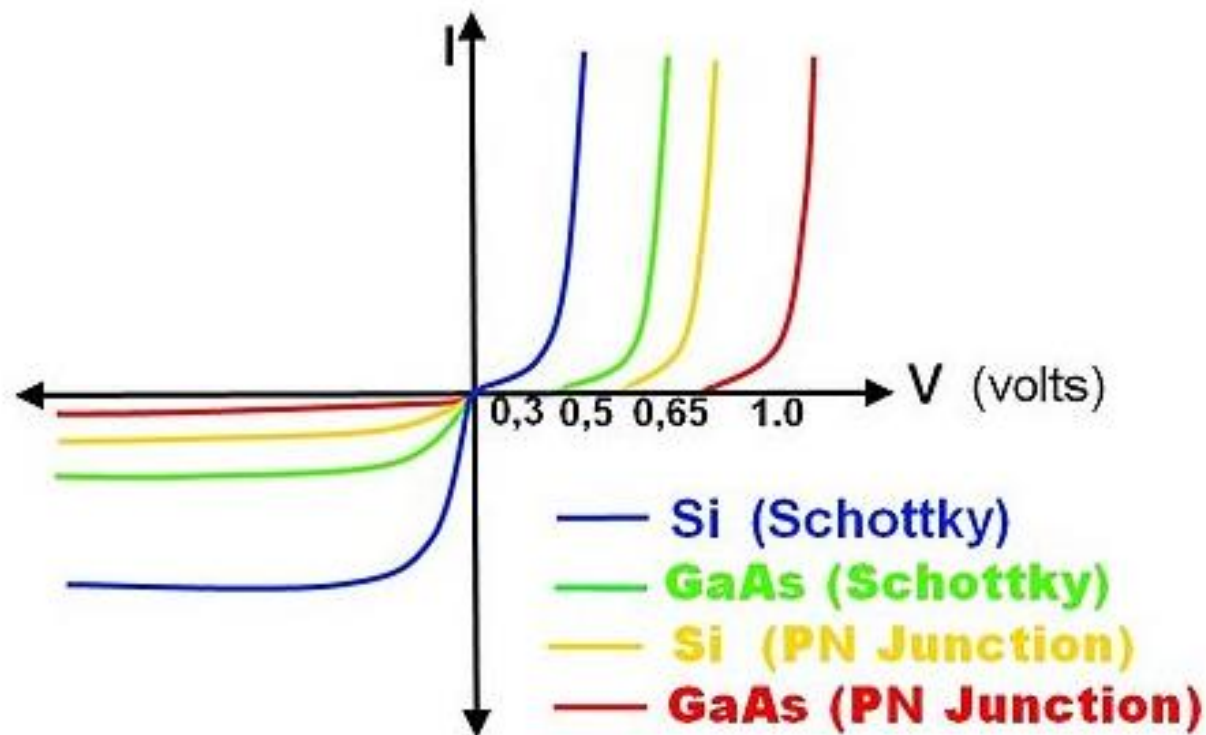
Napětí na PN přechodu: -4 V

$$d_{-4} = \sqrt{\frac{2\varepsilon_S(U_D - U)}{qN_D}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 11,9 \cdot 8,85 \cdot 10^{-14} \cdot (0,906 + 4)}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 8 \cdot 10^{15}}} = 8,99 \cdot 10^{-5} \text{ cm} = 0,899 \text{ }\mu\text{m}$$

$$C_{-4} = \frac{\varepsilon_S}{d_{-4}} = \sqrt{\frac{q\varepsilon_S N_D}{2(U_D - U)}} = 1,172 \cdot 10^{-8} \text{ F/cm}^2$$

Saturační proud PN přechodu

- Proud protékající PN přechodem v závěrném směru
- Tvořen minoritními nosiči



Příklad 5

Spočítejte saturační proud křemíkového PN přechodu s plochou $S = 2 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2$. Parametry PN přechodu jsou: $N_A = 5 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, $N_D = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, $n_i = 9,65 \cdot 10^9 \text{ cm}^{-3}$, $D_n = 21 \text{ cm}^2/\text{s}$, $D_p = 10 \text{ cm}^2/\text{s}$, $\tau_p = \tau_n = 5 \cdot 10^{-7} \text{ s}$.

Příklad 5 - řešení

Spočítejte saturační proud křemíkového PN přechodu s plochou $S = 2 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2$. Parametry PN přechodu jsou: $N_A = 5 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, $N_D = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, $n_i = 9,65 \cdot 10^9 \text{ cm}^{-3}$, $D_n = 21 \text{ cm}^2/\text{s}$, $D_p = 10 \text{ cm}^2/\text{s}$, $\tau_p = \tau_n = 5 \cdot 10^{-7} \text{ s}$.

difuzní délka $L_p = \sqrt{D_p \tau_p}$ $L_n = \sqrt{D_n \tau_n}$

proudová hustota $J_s = \frac{q D_p p_{n0}}{L_p} + \frac{q D_n n_{p0}}{L_n} = q n_i^2 \left(\frac{1}{N_D} \sqrt{\frac{D_p}{\tau_p}} + \frac{1}{N_A} \sqrt{\frac{D_n}{\tau_n}} \right)$

$$= 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot (9,65 \cdot 10^9)^2 \left(\frac{1}{10^{16}} \sqrt{\frac{10}{5 \cdot 10^{-7}}} + \frac{1}{5 \cdot 10^{16}} \sqrt{\frac{21}{5 \cdot 10^{-7}}} \right) = 8,58 \cdot 10^{-12} \text{ A/cm}^2$$

saturační proud $I_s = S \cdot J_s = 2 \cdot 10^{-4} \cdot 8,58 \cdot 10^{-12} = 1,72 \cdot 10^{-15} \text{ A}$