

ESF II projekt Západočeské univerzity v Plzni

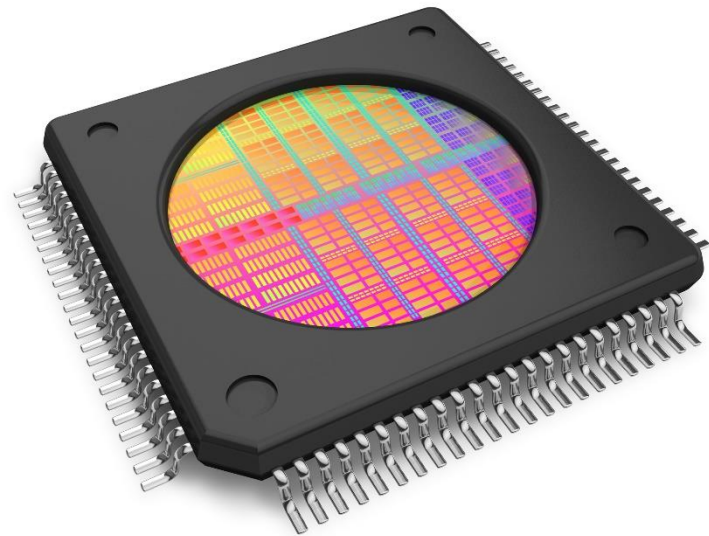
reg. č. CZ.02.2.69/0.0/0.0/18_056/0013239



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 1

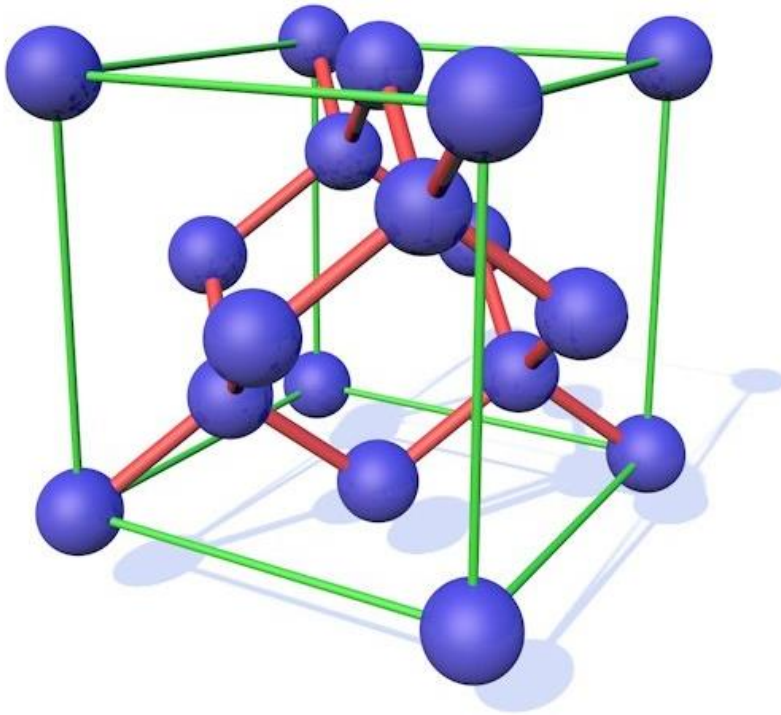


EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

**MS
MT**
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

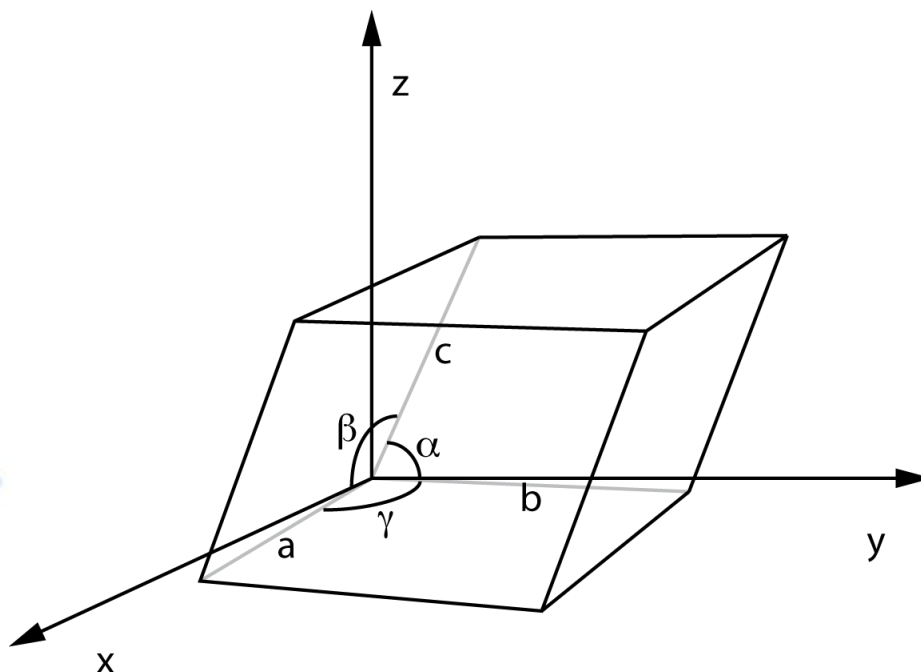
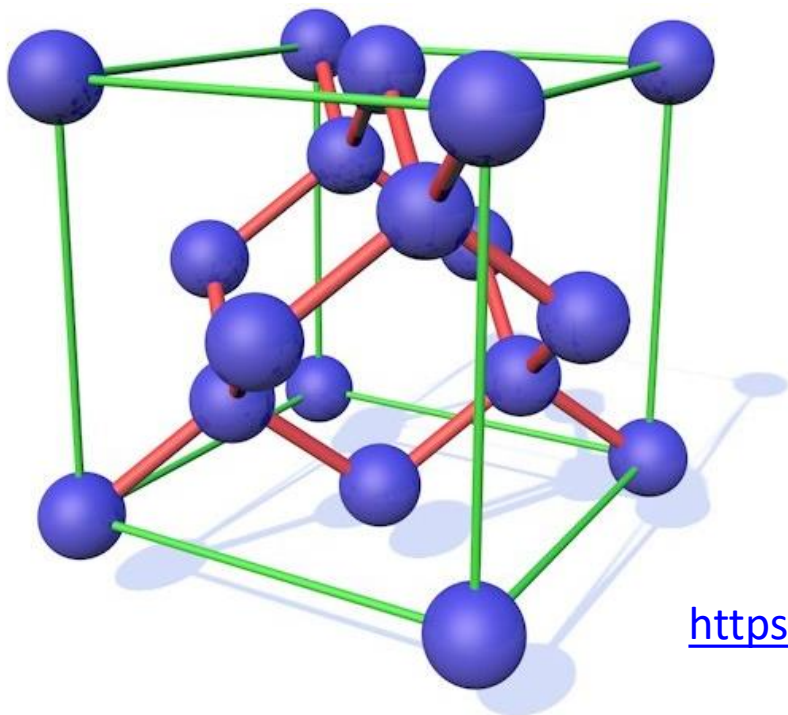
Krystalová struktura

- Důležité parametry
 - Typ krystalové struktury
 - Mřížková konstanta



Krystalová struktura

- Důležité parametry
 - Typ krystalové struktury
 - Mřížková konstanta



https://www.youtube.com/watch?v=BjVTdZ_hu8

<https://www.youtube.com/watch?v=AqDw1wcGOR4>

Příklad 1

Mřížková konstanta křemíkového krystalu je 5,43 Å. Určete počet atomů křemíku v cm^3 a hustotu křemíku při pokojové teplotě (300 K).

Příklad 1 - řešení

Mřížková konstanta křemíkového krystalu je $a = 5,43 \text{ Å}$. Určete počet atomů křemíku v cm^3 a hustotu křemíku při pokojové teplotě (300 K).

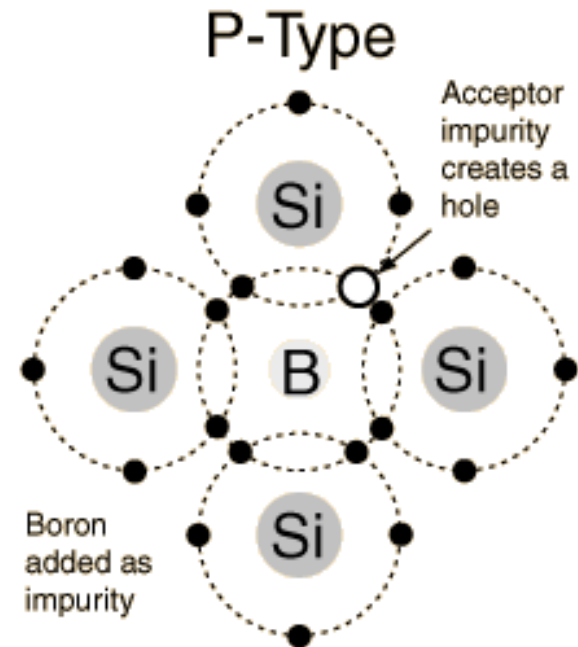
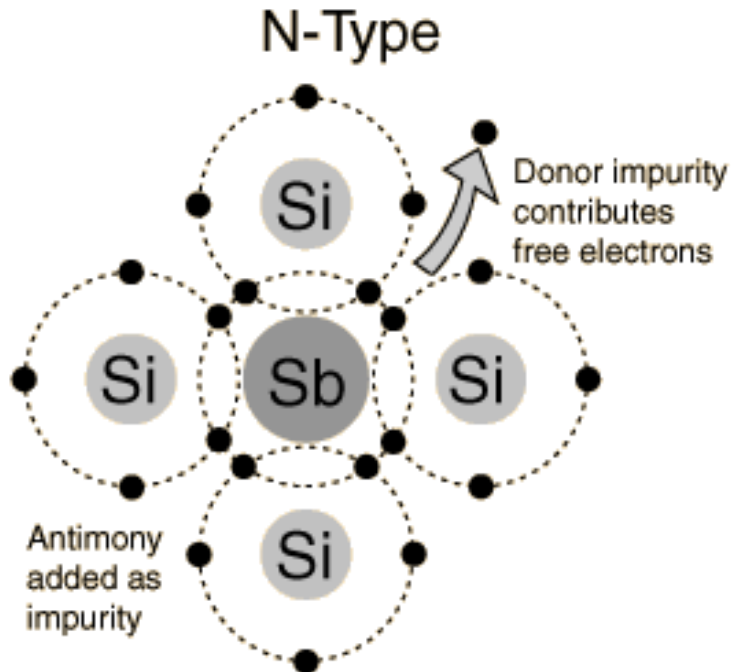
$$8 \text{ atomů křemíku na jeden krystal} \rightarrow \frac{8}{a^3} = \frac{8}{(5,43 \times 10^{-8})^3} = 5 \cdot 10^{22} \text{ atomů/cm}^3$$

$$\rho = \frac{\text{počet atomů}}{\text{cm}^3} \cdot \frac{\text{relativní hmotnost atomu Si}}{\text{Avogadrovo číslo}} = 5 \cdot 10^{22} \cdot \frac{28,09 \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}}\right)}{6,02 \cdot 10^{23}} = 2,33 \text{ g/cm}^3$$

Avogadrova konstanta N_A ($6,022 \cdot 10^{23}$) vyjadřuje počet částic v jednotkovém látkovém množství (v 1 molu).

Příměsové polovodiče

- Polovodič typu N
- Polovodič typu P

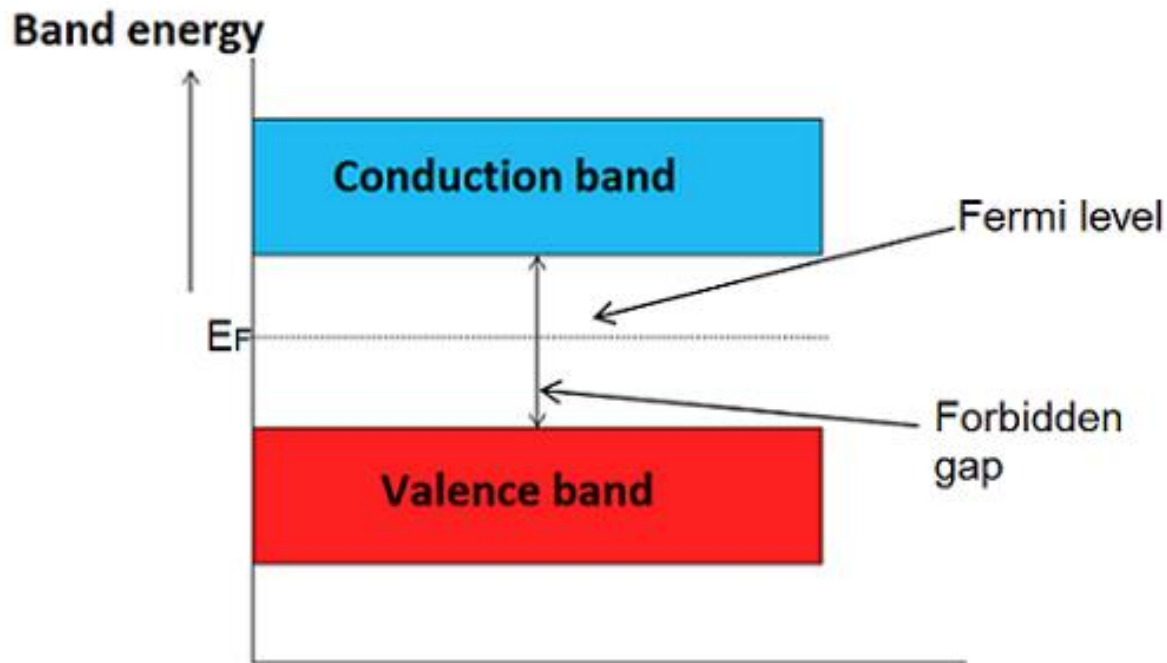


<https://www.youtube.com/watch?v=zdmEaXnB-5Q>

<https://www.youtube.com/watch?v=WVBdT6Qw-wg>

Fermiho hladina

- Nachází se v zakázaném pásmu
- Poloha závisí na koncentraci příměsí
- Intrinsický polovodič – střed zakázaného pásu



Příklad 2

Křemíkový ingot je dopován arsenem (As) – 10^{16} atomů As/cm³.
Určete koncentraci nosičů (děr) a polohu Fermiho hladiny při teplotě 300 K.

Příklad 2 - řešení

Křemíkový ingot je dopován arsenem (As) – 10^{16} atomů As/cm³.
Určete koncentraci nosičů (děr) a polohu Fermiho hladiny při teplotě 300 K.

$$n \cong N_D = 10^{16} \text{ cm}^{-3} \qquad p \cong \frac{n_i^2}{N_D} = \frac{(9,65 \cdot 10^9)^2}{10^{16}} = 9,3 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-3}$$

Poloha Fermiho hladiny vůči vodivostnímu pásu

$$E_C - E_F = kT \ln \left(\frac{N_C}{N_D} \right) = 0,0259 \ln \left(\frac{2,86 \cdot 10^{19}}{10^{16}} \right) = 0,205 \text{ eV}$$

Poloha Fermiho hladiny pro intrinsický polovodič

$$E_F - E_i = kT \ln \left(\frac{N_D}{n_i} \right) = 0,0259 \ln \left(\frac{10^{16}}{9,65 \cdot 10^9} \right) = 0,358 \text{ eV}$$

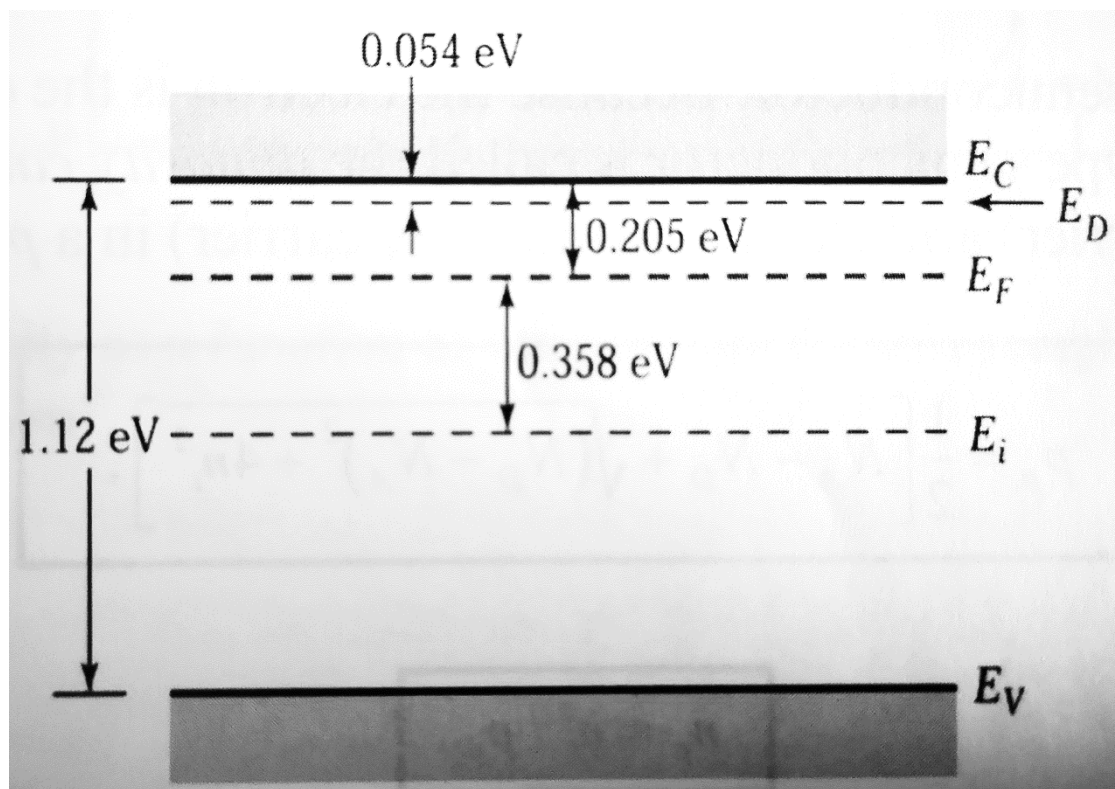
n_i – intrinsická koncentrace nosičů $\rightarrow 9,65 \cdot 10^9$ pro Si

N_C – hustota volných stavů ve vodivostním pásu $\rightarrow 2,86 \cdot 10^{19}$ pro Si

k – Boltzmanova konstanta $1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K

Příklad 2 - řešení

Křemíkový ingot je dopován arsenem (As) – 10^{16} atomů As/cm³.
Určete koncentraci nosičů (děr) a polohu Fermiho hladiny při teplotě 300 K.



Příklad 3

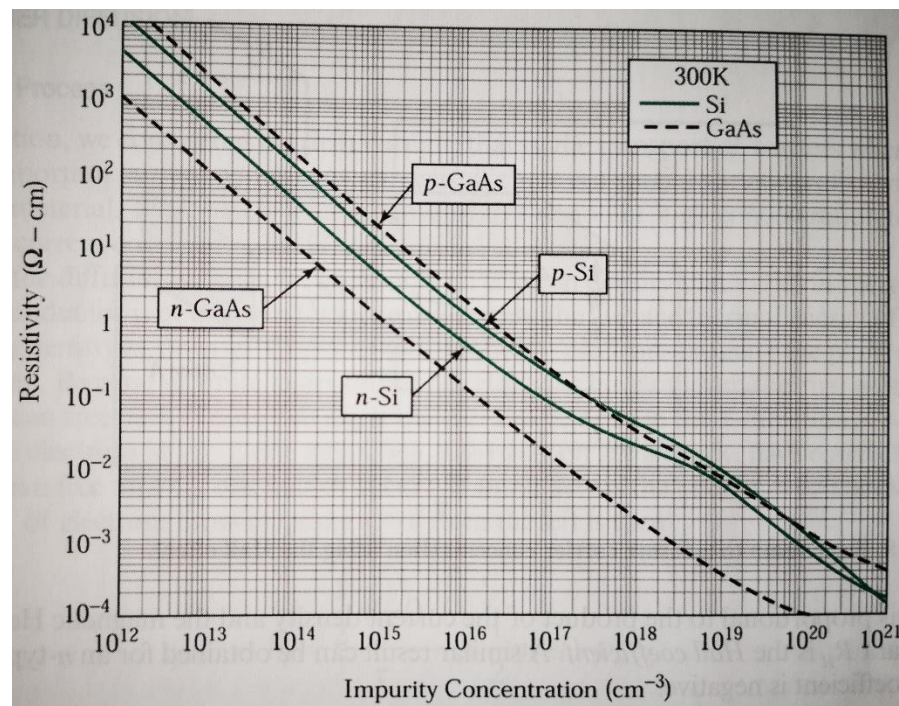
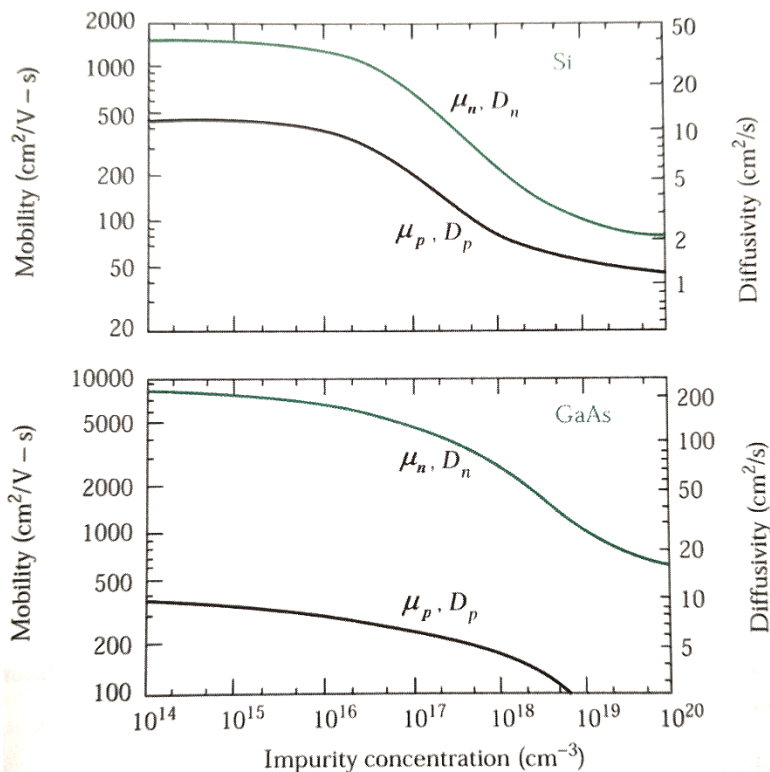
Určete rezistivitu křemíku dotovaného na typ N fosforem s koncentrací 10^{16} cm^{-3} .

Příklad 3 - řešení

Určete rezistivitu křemíku dotovaného na typ N fosforem s koncentrací 10^{16} cm^{-3} .

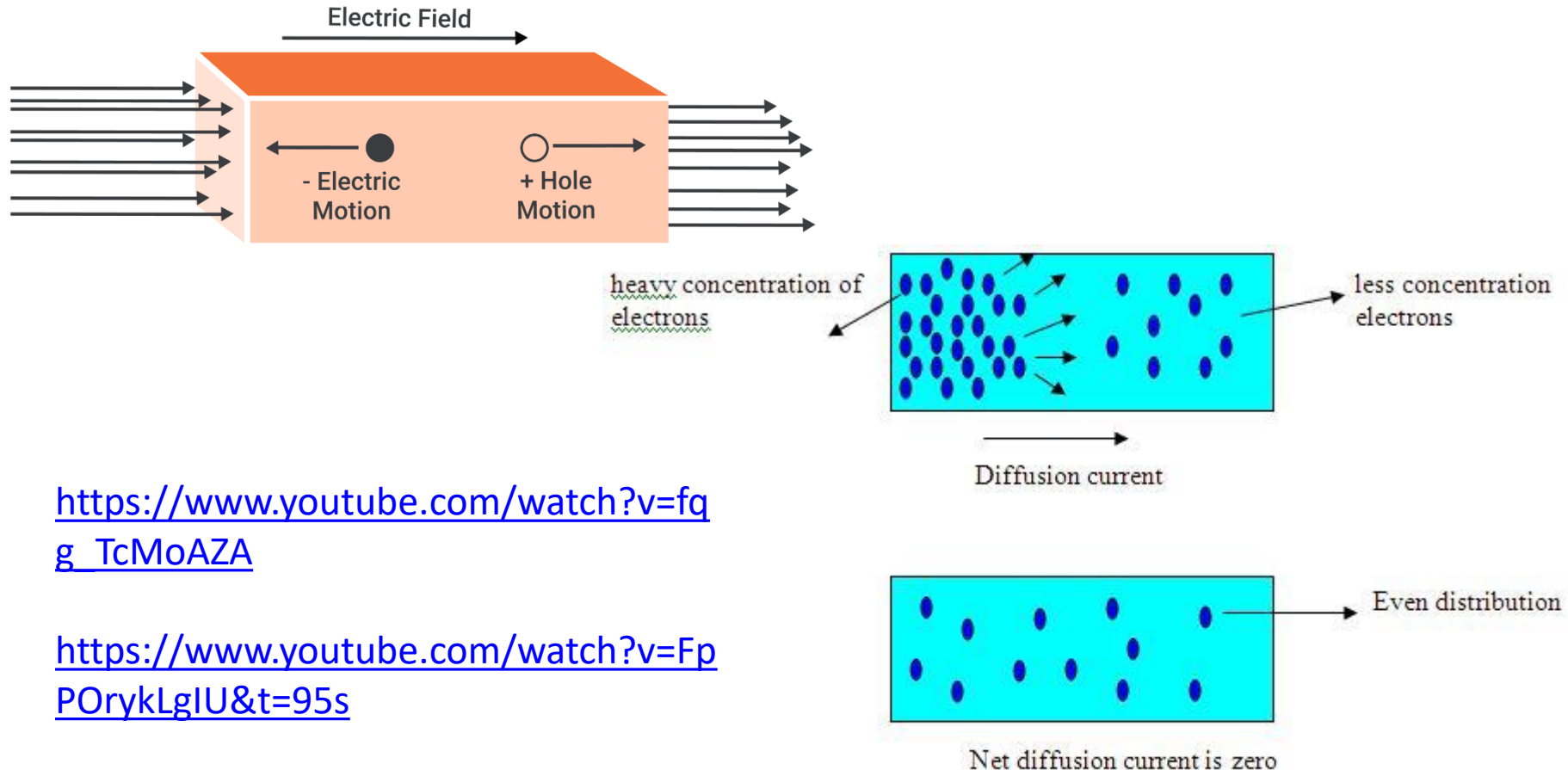
$$n \cong N_D = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$$

$$\rho = \frac{1}{qn\mu_n} = \frac{1}{1,6 \times 10^{-19} \cdot 10^{16} \cdot 1300} = 0,48 \text{ } \Omega \text{ cm}$$



Proudy v polovodiči

- Driftový proud
- Difuzní proud



https://www.youtube.com/watch?v=fqg_TcMoAZA

<https://www.youtube.com/watch?v=FpPOrykLgIU&t=95s>

Příklad 4

Uvažujme polovodič typu N při teplotě 300 K. Koncentrace nosičů v polovodiči se mění lineárně od $1 \cdot 10^{18}$ do $7 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ na vzdálenosti 0,1 cm. Spočítejte hodnotu difuzního proudu, jestliže je dána difuzní konstanta $D_n = 22,5 \text{ cm}^2/\text{s}$.

Příklad 4 - řešení

Uvažujme polovodič typu N při teplotě 300 K. Koncentrace nosičů v polovodiči se mění lineárně od $1 \cdot 10^{18}$ do $7 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ na vzdálenosti 0,1 cm. Spočítejte hodnotu difuzního proudu, jestliže je dána difuzní konstanta $D_n = 22,5 \text{ cm}^2/\text{s}$.

$$J_{n,dif} = qD_n \frac{dn}{dx} \cong qD_n \frac{\Delta n}{\Delta x} = (1,6 \cdot 10^{-19})(22,5) \left(\frac{1 \cdot 10^{18} - 7 \cdot 10^{17}}{0,1} \right) = 10,8 \text{ A/cm}^2$$

Příklad 5

Minoritní nosiče (díry) jsou v jednom bodě injektovány do homogenního polovodiče typu N. Na polovodič působí elektrické pole 50 V/cm , které způsobí pohyb minoritních nosičů do vzdálenosti 1 cm za čas $100 \text{ } \mu\text{s}$. Určete driftovou rychlost nosičů, pohyblivost a difuzní konstantu pro teplotu 300 K .

Příklad 5 - řešení

Minoritní nosiče (díry) jsou v jednom bodě injektovány do homogenního polovodiče typu N. Na polovodič působí elektrické pole 50 V/cm, které způsobí pohyb minoritních nosičů do vzdálenosti 1 cm za čas 100 μs. Určete driftovou rychlost nosičů, pohyblivost a difuzní konstantu pro teplotu 300 K.

$$v_d = \frac{l}{t} = \frac{1 \text{ cm}}{100 \cdot 10^{-6} \text{ s}} = 10^4 \text{ cm/s}$$

$$\mu_p = \frac{v_d}{E} = \frac{10^4}{50} = 200 \text{ cm}^2/\text{Vs}$$

$$D_p = \frac{kT}{q} \mu_p = 0,0259 \cdot 200 = 5,18 \text{ cm}^2/\text{s}$$

Příklad 6

Spočítejte dobu mezi srážkami elektronů při jejich pohyblivosti $1000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ a teplotě 300 K. Uvažujte efektivní hmotnost elektronu $m_n = 0,26m_0$.

Příklad 6 - řešení

Spočítejte dobu mezi srážkami elektronů při jejich pohyblivosti $1000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ a teplotě 300 K . Uvažujte efektivní hmotnost elektronu $m_n = 0,26m_0$.

$$\mu_n = \frac{q\tau_c}{m_n} \rightarrow \tau_c = \frac{m_n\mu_n}{q} = \frac{(0,26 \cdot 0,91 \cdot 10^{-30} \text{ kg})(1000 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{Vs})}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}} =$$
$$1,48 \cdot 10^{-13} \text{ s} = 0,148 \text{ ps}$$