ELEKTRIČKA SVOJSTVA POLUVODIČA

n - konc. slobodnih elektrona
p - konc. -ll- šupljina

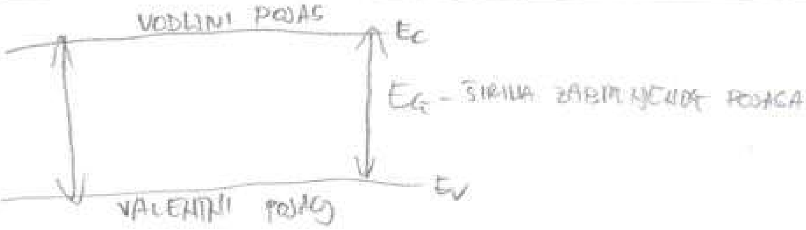
---

u čistom Si $n = p \Rightarrow$ intrinsični Si
koncentracija nosilaca INTRINZIČNA KONC n_i

N_D - konc. donora

DOPIRANI Si $n \gg p \Rightarrow$ silicij n-tipa $(n \gg p)$
$n \ll p \Rightarrow$ silicij p-tipa

> ekstrinsični poluvodič



---

intrinsična koncentracija

$$n_i = \underbrace{C}_{\text{KONSTANTA POLUVOD. MATERIJALA}} \cdot T^{\frac{3}{2}} \exp\left[-\frac{E_G(T)}{2\underbrace{E_T}_{\text{ENERGETSKI EKVIVALENT TEMPERATURE}}}\right]$$

$\Rightarrow E_T = kT$ (k → BOLTZMANOVA KONST)

$$E_T = \frac{T}{11600}, \text{eV}$$

$$n_i = C_1 \cdot T^{\frac{3}{2}} \exp\left(-\frac{E'_{G0}}{2E_T}\right)$$

ODREĐIVANJE KONC. NOSILACA

KADA SU $F_V = 0 \Rightarrow$ primjenjuje se zakon termodinamičke ravnoteže.

$$n_0 \cdot p_0 = n_i^2$$

ravnotežne konc. nosilaca

zakon električne neutralnosti

$$q(p_0 + N_D^+) = q(n_0 + N_A^-)$$

---

poluvodič n-tipa:

$N_D > N_A$

$$n_{0n} = \frac{N_D - N_A + \sqrt{(N_D - N_A)^2 + 4n_i^2}}{2}, \quad p_{0n} = \frac{n_i^2}{n_{0n}}$$

n_{0n} → KONC. VEĆINSKIH ELEKTRONA

p_{0n} → KONC. MANJINSKIH ŠUPLJINA

ekstrinsično temp. područje $\Rightarrow n_{0n} \gg n_i \gg p_{0n} \Rightarrow n_{0n} \approx N_D - N_A$

POLUVODIČ P-TIPA

$N_A > N_D$

$$p_{0p} = \frac{N_A - N_D + \sqrt{(N_A - N_D)^2 + 4n_i^2}}{2}$$

KONC. VEĆINSKIH SUPLJINA

$$n_{0n} = \frac{n_i^2}{p_{0p}}$$

KONC. MANJINSKIH ELEKTRONA

$$p_{0p} \approx N_A - N_D$$

RASPODJELE ENERGIJA NOSILACA

raspodjela energija elektrona u vodljivom pojasu:

$$dn(E) = S_n(E)\, f_n(E)\, dE$$

$S_n(E)$ – GUSTOĆA POZVOLJENIH KVANTNIH STANJA

$f_n(E)$ – FERMI-DIRACOVA FJA. VJEROJATNOSTI

$$S_n(E) = \frac{8\sqrt{2}\pi (m_n)^{\frac{3}{2}}}{h^3}\sqrt{E - E_C}$$

$$f_n(E) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{E - E_F}{E_T}\right)}$$

E_F – FERMIJEVA ENERGIJA

konc. elektrona u vodljivom pojasu:

$$n = N_C \exp\left(\frac{E_F - E_C}{E_T}\right)$$

N_C – EFEKTIVNA GUSTOĆA KVANTNIH STANJA U VOD. POJASU

$$\Rightarrow N_C = 2\left(\frac{2\pi m_n kT}{h^2}\right)^{\frac{3}{2}}$$

raspodjela energije šupljina u valentnom pojasu:

$$p = N_V \exp\left(\frac{E_V - E_F}{E_T}\right)$$

N_V – -||- -||- -||- U VAL. POJASU

$$\Rightarrow N_V = 2\left(\frac{2\pi m_p kT}{h^2}\right)^{\frac{3}{2}}$$

ODREĐIVANJE POLOŽAJA FERMIJEVE ENERGIJE:

intrinzični vodič:

FERMIJEVA ENERGIJA INTRINZIČNOG POLUVODIČA

$n_0 = p_0$

$$N_C \exp\left(\frac{E_{Fi} - E_C}{E_T}\right) = N_V \exp\left(\frac{E_V - E_{Fi}}{E_T}\right)$$

$$E_{Fi} = \frac{E_V + E_C}{2} \Rightarrow \text{sredina zabranjenog pojasa}$$

$$\frac{n_0}{p_0} = \exp\left(2\,\frac{E_F - E_{Fi}}{E_T}\right) \qquad E_F = E_{Fi}$$

$$n_0 = n_i \exp\left(\frac{E_F - E_{Fi}}{E_T}\right)$$

$$p_0 = n_i \exp\left(\frac{E_{Fi} - E_F}{E_T}\right)$$

poluvodič n-tipa:

$$n_{0n} = N_C \exp\left(\frac{E_F - E_C}{E_T}\right) = n_i \exp\left(\frac{E_F - E_{Fi}}{E_T}\right)$$

$$E_F = E_C - E_T \ln\left(\frac{N_C}{n_{0n}}\right) = E_{Fi} + E_T \ln\left(\frac{n_{0n}}{n_i}\right) \quad , \; n_{0n} \approx N_D - N_A$$

poluvodič p-tipa:

$$p_{0p} = N_V \exp\left(\frac{E_V - E_F}{E_T}\right) = n_i \exp\left(\frac{E_{Fi} - E_F}{E_T}\right)$$

$$E_F = E_V + E_T \ln\left(\frac{N_V}{p_{0p}}\right) = E_{Fi} - E_T \ln\left(\frac{p_{0p}}{n_i}\right) \qquad p_{0p} \approx N_A - N_D$$

DRIFTNA BRZINA ELEKTRONA

$$\vec{v}_{dn} = -\underbrace{\mu_n}_{\text{POKRETLJIVOST ELEKTRONA}} \vec{F}$$

DRIFTNA BRZINA ŠUPLJINA

$$\vec{v}_{dp} = \underbrace{\mu_p}_{\text{POKRETLJIVOST ŠUPLJINA}} \vec{F}$$

DRIFTNA STRUJA I SPECIFIČNA VODLJIVOST

$$\vec{J}_F = \underbrace{\sigma}_{\text{SPEC. VODLJIVOST}} \cdot \vec{F} \quad \text{- GUSTOĆA DRIFTNE STRUJE}$$

$$\vec{J}_{Fn} = -q \underbrace{n}_{\text{koncentracija elektrona}} \vec{v}_{dn} \quad \text{- DRIFTNA STRUJA ELEKTRONA}$$

$$\vec{J}_{Fn} = q n \mu_n F$$

$$J_{Fp} = q p \mu_p F \quad \rightarrow \text{driftna struja šupljina}$$

$$\vec{J}_F = \vec{J}_{Fn} + \vec{J}_{Fp} = q(n\mu_n + p\mu_p)\vec{F} \Rightarrow \text{ukupna driftna struja poluvodiča}$$

$$\sigma = q(n\mu_n + p\mu_p)$$ – specifična vodljivost poluvodiča

$$\sigma_i = q n_i(\mu_n + \mu_p), \quad n = p = n_i$$

specifična vodljivost u ekstrinsičnom poluvodiču:

$$\sigma_n = q(N_D - N_A)\mu_n \quad - \sigma \text{ n-tipa}$$

$$\sigma_p = q(N_A - N_D)\mu_p \quad - \sigma \text{ p-tipa}$$

DIFUZIJSKA STRUJA

$$J_{D_n} = q D_n \frac{dn(x)}{dx}$$ – gustoća difuzijske struje elektrona

DIFUZIJSKA KONSTANTA ELEKTRONA $\Rightarrow D_n = U_T \cdot \mu_n$, $U_T = \frac{kT}{q} = \frac{T}{11600}$ V

$$J_{D_p} = -q D_p \frac{dp(x)}{dx}$$ – gustoća difuzijske struje šupljina

DIFUZIJSKA KONSTANTA ŠUPLJINA $D_p = U_T \cdot \mu_p$

UKUPNA STRUJA POLUVODIČA

$$\vec{J} = \vec{J}_n + \vec{J}_p$$

$$\vec{J}_n = \vec{J}_{Fn} + \vec{J}_{Dn} = q \cdot n \cdot \mu_n \cdot \vec{F} + q \cdot D_n \operatorname{grad} n$$

$$\vec{J}_p = \vec{J}_{Fp} + \vec{J}_{Dp} = q \cdot p \cdot \mu_p \cdot \vec{F} - q \cdot D_p \operatorname{grad} p$$
