

**Fisica dei semiconduttori**

$n_i/p_i$	concentrazione intrinseca di elettr/lacune [ $\text{cm}^{-3}$ ].	A	sezione del semiconduttore
$E_{Fi}/E_F$	Liv. di Fermi / Liv. di Fermi intrins.		
$n/p$	concentrazione di elettr/lacune nel drogato [ $\text{cm}^{-3}$ ].	J	densità di corrente [ $\frac{A}{\text{cm}^2}$ ]
$\sigma$	conducibilità elettrica	$D_n/D_p$	coefficienti di diffusività di elettroni e lacune [ $\frac{\text{cm}^2}{s}$ ]
$\rho = \frac{1}{\sigma}$	resistività elettrica	$\mu_d$	mobilità differenziale
$N_c$	densità efficace degli stati in BC	$V_T$	equivalente elettrico della temperatura
$N_v$	densità efficace degli stati in BV	$n_n, p_n$	Concentrazioni di elettr/lacune in drogato n fuori equilibr
$N_D$	concentrazione di atomi donat d elettr	$n_p, p_p$	Concentrazioni di elettr/lacune in drogato p fuori equilibr
$N_A$	concentrazione di atomi accett d elettr	$n_{n0}, p_{n0}$	Concentrazioni di elettr/lacune in drogato n in equilibr
$N_D^+$	concentrazioni di atomi donat ionizz	$n_{p0}, p_{p0}$	Concentrazioni di elettr/lacune in drogato p in equilibr
$N_A^-$	concentrazione di atomi accett ionizz	$U_n, U_p$	tasso di rigenerazione netto dei portatori
$v_n, v_p$	velocità di trascina dei portatori	$R_n$	Tasso di ricombinazione
$\varepsilon$	campo elettrico	$G_n$	Tasso di generazione
$\mu$	mobilità dei portatori [ $\frac{\text{cm}^2}{V \cdot s}$ ]	$\rho$	Densità di carica netta positiva [ $\frac{C}{\text{cm}^3}$ ]
$\tau$	Tempo di vita medio di elettr e lacune	$N^+$	Drogaggio ionizzato netto (portatori liberi in complesso) $N^+ > 0 \Rightarrow$ Drogaggio n

**Semiconduttore intrinseco**  $N_c \approx N_v$   $E_F = E_{Fi}$   $n_i = n = p_i = p$   $n \cdot p = n_i^2$  Eq. Shockley:  $n \approx n_i \cdot \exp\left(\frac{E_F - E_{Fi}}{k_B \cdot T}\right)$   $p \approx n_i \cdot \exp\left(\frac{E_{Fi} - E_F}{k_B \cdot T}\right)$

**Approx di Boltzman** Se  $E \gg E_F$ , allora  $n \approx N_c \cdot \exp\left(-\frac{E_c - E_F}{k_B \cdot T}\right)$  e  $p \approx N_v \cdot \exp\left(-\frac{E_F - E_v}{k_B \cdot T}\right)$   $n \cdot p = N_c \cdot N_v \cdot \exp\left(-\frac{E_g}{k_B \cdot T}\right)$

**Drogaggio**  $E_g = E_c - E_v$   $n_i = \sqrt{N_c \cdot N_v} \cdot \exp\left(-\frac{E_g}{2 \cdot k_B \cdot T}\right)$   $N^+ = N_D^+ - N_A^-$

**Neutr locale:**  $n + N_A^- = p + N_D^+$   $n = \frac{N^+}{2} \cdot \left[ 1 + \sqrt{1 + \left(\frac{2 \cdot n_i^2}{N^+}\right)^2} \right]$  Tipo n:  $E_F = E_c - k_B \cdot T \cdot \log\left(\frac{N_c}{N_D^+}\right)$  Tipo p:  $E_F = E_v - k_B \cdot T \cdot \log\left(\frac{N_v}{N_A^-}\right)$

**Trasporto**  $v_n = -\mu_n \cdot \varepsilon$   $v_p = -\mu_p \cdot \varepsilon$   $\mu_d = \frac{dV}{dk}$  Legge di ohm:  $I = \frac{dQ}{dt}$   $I = -q \cdot n \cdot A \cdot v_n$   $I = q \cdot p \cdot A \cdot \mu_p \cdot \varepsilon$

**Densità di corrente** (campione drogato solo n o p)  $J = \frac{I}{A} \left[ \frac{A}{\text{cm}^2} \right]$  Legge di ohm microsc.  $J = \varepsilon \cdot \sigma$   $\sigma_n = q \cdot n \cdot \mu_n$   $\sigma_p = q \cdot p \cdot \mu_p$   
 $J = J_n + J_p$   $J_{n, diff} = q \cdot D_n \cdot \frac{\partial n}{\partial x}$   $J_{p, diff} = -q \cdot D_p \cdot \frac{\partial p}{\partial x}$   $D_n = V_T \cdot \mu_n$   $D_p = V_T \cdot \mu_p$   $D_n = V_T \cdot \mu_n$   $V_T = \frac{k_B \cdot T}{q}$   $J_{tot} = J_{diff tot} + J_{trasc tot}$

**Semiconduttore fuori equilibrio** In equilibrio:  $n = n_0$  e  $p = p_0$ . Fuori equilibrio:  $\left\{ \begin{matrix} n'_n = n_n - n_{n0} \\ p'_n = p_n - p_{n0} \end{matrix} \right\}$  e  $\left\{ \begin{matrix} n'_p = n_p - n_{p0} \\ p'_p = p_p - p_{p0} \end{matrix} \right\}$

Neutralità (in eq. termodin.):  $p_0 - n_0 = N_A - N_D$  (fuori eq. termodin.):  $n' \approx p'$ ;  $G = \frac{n_{gen}}{V \cdot t}$   $R = \frac{n_{ric}}{V \cdot t}$   $U_n = R_n - G_n$   $U_p = R_p - G_p$

$U_n = U_p = 0$  (equilibrio)  $U_n \approx \frac{n'}{\tau_n}$   $U_p \approx \frac{p'}{\tau_p}$   $\rho = q \cdot (p - n + N_D^+ - N_A^-)$  Regione di semiconduttore quasi neutra:  $\rho = 0$

$q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Coulomb	$\gamma = 0,9983$ con $N_E = 10^{18}$ e $N_B = 10^{15}$	$q \cdot \phi_{sp} \approx 5$ eV se $N_A = 10^{16}$
$k_B = 8,62 \cdot 10^{-5} \frac{eV}{K} = 1,3807 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$	$\gamma = 0,8571$ con $N_E = 10^{17}$ con $N_B = 10^{16}$	$q\phi_M \approx 4,1$ eV x il metallo
$k_B \cdot T \approx 26 \cdot 10^{-3}$ eV se $t = 300K$	$a_T > 0,9994$	$q\phi_M \approx q\phi_S = 4,05$ eV x $n^+$ -poly
$V_T = 26$ mV a 300K	$a_F = 0,9977$	$n_i(\text{Si}) = 1,45 \cdot 10^{10}$
	$\beta_F = 433$	$E_g(\text{Si}) = 1,124$ eV