

**CONSTANTES:**

$q = e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$

$\xrightarrow{\text{m}^\circ \text{ de } \rightarrow \text{atômico}}$

$N_A = 6,023 \times 10^{23} \text{ átomos/mol}$

massa do  $e^-$

$m_0 = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$

$k_B = 1,3805 \times 10^{-23} \text{ J/K}$

$= 8,618 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$

$1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$

$1 \text{ J} = 6,24 \times 10^{18} \text{ eV}$

$\hookrightarrow$  constante de Boltzmann

$\hbar = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$

$\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,054 \times 10^{-34} \text{ J.s}$

$\rightarrow \text{Kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

**TP2 - ENERGIA DE FERNI E DENSIDADE DE ESTADOS E  
DENSIDADE DE PORTADORES DE CARGA NOS SC**

$N(E) = \frac{8\sqrt{2} (m^*)^{3/2} \pi}{\hbar^3} \sqrt{E}$

densidade de estados do  $e^-$

$m_{DOS}^*|_{BC} = 6^{2/3} (m_e^* \cdot m_h^*)^{1/3}$

$m_{DOS}^*|_{BV} = (m_{e0}^{*3/2} + m_{h0}^{*3/2})^{2/3}$

$n_i^2 = n_p = N_c N_v \exp\left(-\frac{E_g}{kT}\right)$

$E_F = \frac{E_g}{2} + \frac{3kT}{4} \ln\left(\frac{m_h^*}{m_e^*}\right)$

lei da ação de massa  $\Rightarrow m = p = n_i$

densidade de estados efetiva a  $E_c$

$n = N_c \exp\left(\frac{E_F - E_c}{kT}\right)$

$N_c = 2 \left(\frac{m_e^* kT}{2\pi \hbar^2}\right)^{3/2}$

densidade de estados efetiva a  $E_v$

$p = N_v \exp\left(\frac{E_v - E_F}{kT}\right)$

$N_v = 2 \left(\frac{m_h^* kT}{2\pi \hbar^2}\right)^{3/2}$

$f(E, T) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{E - E_F}{kT}\right)}$

probabilidade de ocupação de estados com  $e^-$

$\sum_{\text{bandas e níveis}} n = \sum_{\text{bandas e níveis}} p$  eq. da neutralidade elétrica

$N_D^+ = (N_D) (1 - f(E, T)) \rightarrow$  se existirem todas ionizadas,  $N_D^+ = N_D$

$N_A^- = (N_A) f(E, T) \rightarrow$  se existirem todas ionizadas,  $N_A^- = N_A$

concentração de aceitadores

(n)  $\rightarrow$  concentração de  $e^-$  na BC

(p)  $\rightarrow$  concentração de  $h$  na BV

**TP8 - CONCENTRAÇÃO DE PORTADORES DE CARGA E CONDUTIVIDADE E CONDUTIVIDADE ELÉTRICA**

$\sigma = n q \mu_e + p q \mu_h$

Para metais:  $\sigma = n q \mu_e$

$\vec{v}_e = \mu_e \vec{E}$

$\mu_e = \frac{q \tau}{m_e^*}$

$\vec{v}_h = \mu_h \vec{E}$

$\mu_h = \frac{q \tau}{m_h^*}$

tempo médio

Para SC intrínsecos:  $\sigma = n_i q (\mu_e + \mu_h) \Rightarrow \sigma(T) = \sigma_0 e^{-E_g/2kT}$

considerando  $E_v = 0$

Para SC tipo n:  $\sigma \sim N_D q \mu_e \Rightarrow \sigma(T) = \sigma_0 e^{-(E_g - E_d)/2kT}$

Para SC tipo p:  $\sigma \sim N_A q \mu_h \Rightarrow \sigma(T) = \sigma_0 e^{-(E_a)/2kT}$

FONÕES:  $\mu \propto T^{-3/2}$

IMPUREZAS:  $\mu \propto T^{3/2} \rightarrow \bar{\mu}$  é a condutividade de  $300 \text{ K}$

$R = \frac{V}{I} = \rho \frac{l}{A} = \frac{l}{\sigma A}$

resistividade

área

comprimento

$m^\circ \text{ de átomos} = N_A \frac{\text{densidade}}{\text{massa atômica}}$



# TP9 - DÍODO (HOMOJUNÇÃO) do lado n

$$N_A w_p = N_D w_m$$

$$w_m = \left[ \frac{2 E V N_A}{e N_D (N_A + N_D)} \right]^{1/2}$$

$$w_p = \left[ \frac{2 E V N_D}{e N_A (N_A + N_D)} \right]^{1/2}$$

$$w_0 = w_m + w_p$$

$$w_0 = \left[ \frac{2 E (N_A + N_D) V_0}{e N_A N_D} \right]^{1/2}$$

onde  $V = V_0 + V_b$  para polarização inversa  $w > w_0$   
 $V = V_0 - V_b$  para polarização direta  $w < w_0$

largura da região de depleção sem polarização

$$w = \left[ \frac{2 E (N_A + N_D) (V)}{e N_A N_D} \right]^{1/2}$$

densidade de  $e^-$  no lado n

$$n_m P_m = n_i^2$$

$$P_p \cdot n_p = n_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$$P_p \cdot m_p = m_i^2$$

$V_0 \Rightarrow$  Potencial intrínseco:

$$V_0 = \frac{kT}{e} \ln \left( \frac{N_A N_D}{n_i^2} \right) = \frac{kT}{e} \ln \left( \frac{n_m}{n_p} \right) = \frac{kT}{e} \ln \left( \frac{P_p}{P_m} \right) =$$

$$= \frac{q}{2E} (N_D w_m^2 + N_A w_p^2) = E_g - (E_c - E_F)_m - (E_F - E_v)_p$$

$E \Rightarrow$  campo elétrico:

$$\frac{\partial E}{\partial x} = \frac{P_{\text{mex}}(x)}{E}$$

$$E(x) = \frac{1}{E} \int_{-w_p}^x P_{\text{mex}}(x) dx$$

$$E_0 = - \frac{e N_D w_m}{E}$$

$$Q = q \cdot N_D \cdot w_m \cdot A = q \cdot N_A \cdot w_p \cdot A$$

$$I = J \cdot A$$

carga existente na zona de depleção

$$J = J_{50} \left[ e^{eV/kT} - 1 \right] \quad \text{onde} \quad J_{50} = \left[ \left( \frac{e D_n}{L_n N_D} \right) + \left( \frac{e D_p}{L_p N_A} \right) \right] n_i^2$$

$$L_m = \sqrt{D_m \tau_m}$$

$$L_p = \sqrt{D_p \tau_p}$$

$$D_p = \frac{kT \mu_p}{e}$$

$$D_m = \frac{kT \mu_m}{e}$$

$$P_m(0) = P_{m0} \exp \left( \frac{eV}{kT} \right) \quad n_p(0) = n_{p0} \exp \left( \frac{eV}{kT} \right)$$

densidade de lacunas no lado n inicialmente

efeito de V aplicado à concentração de portadores minoritários (junto à junção)

Para o Si ( $T=300K$ ):

$$E_g = 1,1 \text{ eV}$$

$$m_{\text{dos}}^* |_{Ec} = 1,08 m_0$$

$$m_{\text{dos}}^* |_{Ev} = 0,59 m_0$$

$$N_c = 2,84 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$$

$$N_v = 1,13 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$$

$$n_i = 2,84 \times 10^9 \text{ cm}^{-3}$$