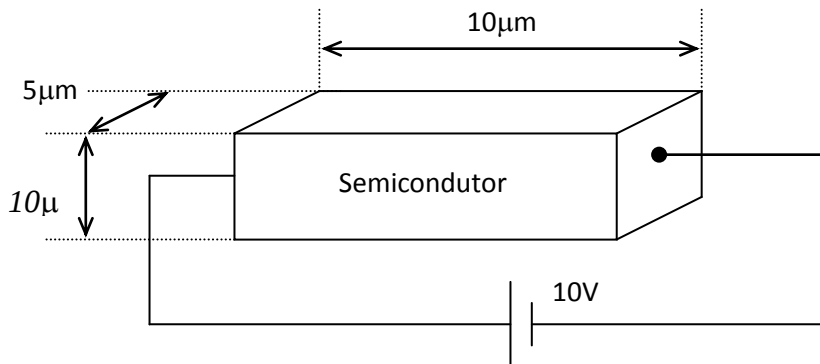


PSI2223 - GABARITO DA LISTA ADICIONAL DE EXERCÍCIOS PARA P2

1ª Questão (Prova - 2003)



a) Determine a concentração de elétrons e lacunas. O semicondutor é tipo N ou tipo P? Justifique.

$$N_A = 9 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}, N_D = 5,9 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}.$$

$$N = N_D - N_A = 5,0 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3} \text{ (o semicondutor é tipo N).}$$

$$n = N = 5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}, p = n_i^2 / n = 10^{20} / 5 \times 10^{16} = 2 \times 10^3 \text{ cm}^{-3}$$

$$n = 5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$$

$$p = 2 \times 10^3 \text{ cm}^{-3}$$

b) Calcule a corrente elétrica desta barra de material semicondutor quando uma tensão de 10V é aplicada através da mesma.

$$\mathcal{E} = \frac{V}{l} = \frac{10}{10 \times 10^{-4}} = 10^4 \text{ V/cm}$$

$$A = 5 \times 10^{-4} \cdot 10 \times 10^{-4} = 5 \times 10^{-7} \text{ cm}^2$$

$$I_n = q \cdot A \cdot \mu_n \cdot (N_D - N_A) \cdot \mathcal{E} = 1,6 \times 10^{-19} \cdot 5 \times 10^{-7} \cdot 1000 \cdot 5 \times 10^{16} \cdot 10^4 = 25 \times 1,6 \times 10^3 = 40 \text{ mA}$$

$$I_n = 40 \text{ mA}$$

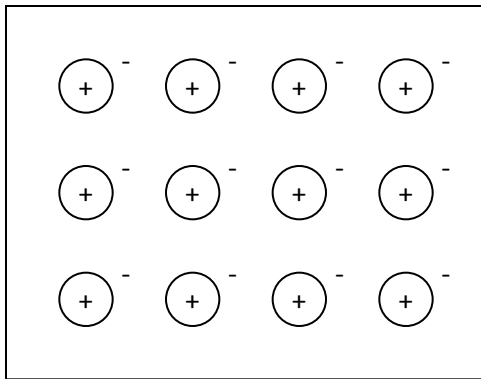
c) Ainda considerando a tensão de 10V aplicada através do material, qual o tempo médio que leva o elétron para percorrer a distância de 10 μm de uma extremidade a outra do material.

$$\overline{V_n} = \mu_n \cdot \mathcal{E} = 1000 \times 10^4 = 10^7 \text{ cm/s}$$

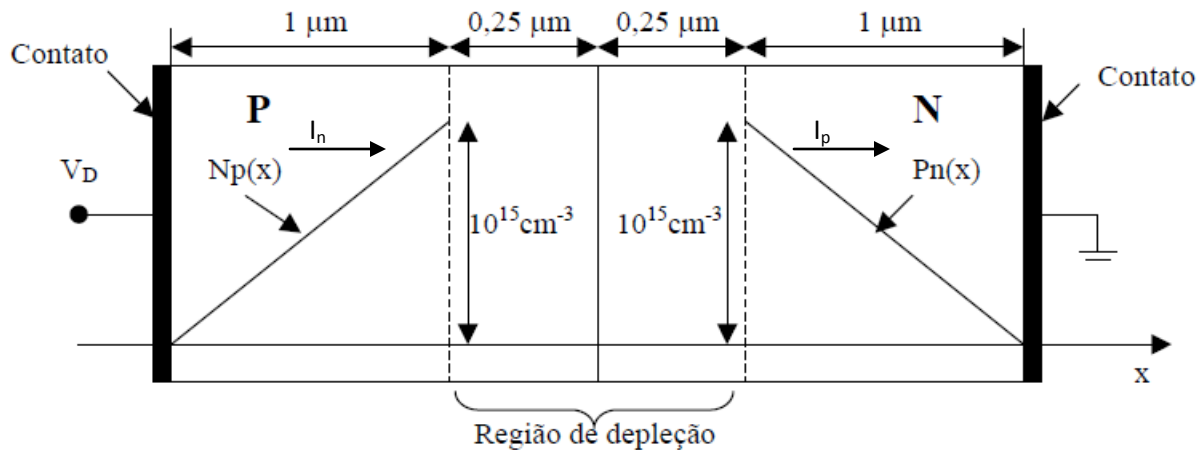
$$\overline{t} = \frac{\Delta d}{\overline{V_n}} = \frac{10 \times 10^{-4}}{10^7} = 100 \text{ ps}$$

$$t = 100 \text{ ps}$$

d) Desenhe o diagrama de cargas equivalentes (indicar apenas cargas fixas e móveis majoritárias).



2º Questão (Prova - 2004)



a) Determine as correntes de difusão de elétrons e lacunas (I_n e I_p). Qual a corrente total através da junção?

$$I_n = -qD_n \cdot A \cdot \frac{\partial p}{\partial x} = 5 \times 10^{-18} \cdot 2 \times 10^{-5} \cdot \frac{10^{15}}{10^{-4}} = 1 \text{ mA} \quad I_p = -qD_p \cdot A \cdot \frac{\partial p}{\partial x} = 2,5 \times 10^{-18} \cdot 2 \times 10^{-5} \cdot \frac{10^{15}}{10^{-4}} = 0,5 \text{ mA}$$

$$I_D = I_p + I_n = 1 + 0,5 = 1,5 \text{ mA}$$

b) Determine a capacitância de difusão (em Farads).

$$C_{\text{difusão}} = \frac{\tau_T}{V_T} \times I_D = \frac{10 \times 10^{-6}}{25 \times 10^{-3}} \times 1,5 \times 10^{-3} = 0,6 \mu\text{F}$$

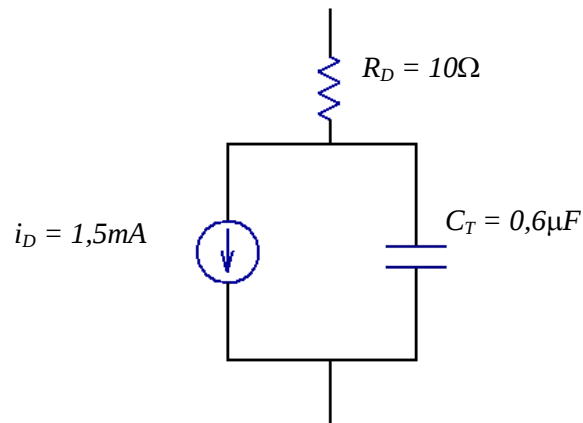
c) Determine a capacitância de depleção (em Farads).

$$C_{\text{depleção}} = \frac{\epsilon_s A}{d} = \frac{\epsilon_0 A}{d} = \frac{10^{-12} \cdot 2 \times 10^{-5}}{0,5 \times 10^{-4}} = 4 \text{ pF}$$

$$d = 0,25 \mu\text{m} + 0,25 \mu\text{m} = 0,5 \mu\text{m}$$

$$C_{\text{depleção}} = 0,4 \text{ pF}$$

d) Desenhe o modelo transitório do diodo considerando as capacitâncias envolvidas sabendo-se que a resistência total dos contatos é $R_S = 10 \Omega$



3º Questão (Prova - 2004)

a) A corrente no diodo se for polarizado reversamente com 10V.

$$I_D = I_S \left(e^{\frac{V_D}{V_T}} - 1 \right) \Rightarrow V_D = -10V \Rightarrow I_D \cong -I_S$$

$$I_D = -I_S = -A q n_i^2 \left(\frac{D_p}{L_p N_D} + \frac{D_n}{L_n N_A} \right) = -\frac{10^4}{1,6} \times 10^{-8} \cdot 1,6 \times 10^{-19} \cdot (10^{10})^2 \left(\frac{10}{1 \times 10^{-4} \cdot 10^{15}} + \frac{30}{3 \times 10^{-4} \cdot 10^{17}} \right)$$

$$I_D = -10^{-13} (10^{-10} + 10^{-12}) = -10^{-13} (1 + 0,01) \cong -10^{-13} = -0,1 \text{ pA}$$

$$I_D = -0,1 \text{ pA}$$

b) A tensão no diodo se for polarizado diretamente com uma corrente de 1mA.

$$V_D = \frac{KT}{q} \ln \frac{I_D}{I_S} = 0,25 \ln \frac{1 \times 10^{-3}}{0,1 \times 10^{-12}} = 0,025 \ln 10^{10}$$

$$V_D = 0,025 \times 10 \times \ln(10) = 0,50V$$

$$V_D = 0,50V$$

c) A relação entre as correntes de lacunas e de elétrons (I_p/I_n).

$$\frac{I_p}{I_n} = \frac{Aq n_i^2 \frac{D_p}{L_p N_D} \left(e^{\frac{V_D}{V_T}} - 1 \right)}{Aq n_i^2 \frac{D_n}{L_n N_A} \left(e^{\frac{V_D}{V_T}} - 1 \right)} = \frac{10}{\frac{1 \times 10^{-4} \times 10^{15}}{30}} = 100$$

$$I_p/I_n = 100$$

d) Se o diodo for polarizado de forma a se obter uma corrente total de 10mA, qual será o valor das componentes de corrente de lacunas e de elétrons (obs. Utilize a relação obtida no item c).

$$\left. \begin{array}{l} I_n + I_p = 10mA \\ \frac{I_p}{I_n} = 100 \end{array} \right\} \begin{array}{l} I_n + 100I_n = 10mA \Rightarrow I_n = \frac{10mA}{101} \cong 0,1mA \\ I_p = 10 - 0,1 = 9,9mA \end{array}$$

$$\begin{array}{l} I_p = 9,9mA \\ I_n = 0,1mA \end{array}$$

e) O tempo de vida dos elétrons na região tipo P.

$$\tau_n = \frac{L_n^2}{D_n} = \frac{(3 \times 10^{-4})^2}{30} = 3ns$$

$$\tau_n = 3ns$$

f) Se o diodo for polarizado reversamente de forma que a região de depleção total seja de 202μm, determinar a região de depleção que fica do lado P e do lado N.

$$\left. \begin{array}{l} X_n + X_p = 202\mu m \\ \frac{X_n}{X_p} = \frac{N_A}{N_D} = \frac{10^{17}}{10^{15}} = 100 \end{array} \right\} \begin{array}{l} X_n = 100X_p \Rightarrow 100X_p + X_p = 202\mu m \Rightarrow X_p = \frac{202}{101} = 2\mu m \\ X_n = 100 \times 2 = 200\mu m \end{array}$$

$$\begin{array}{l} X_p = 2\mu m \\ X_n = 200\mu m \end{array}$$

4ª Questão (Sub. - 2004)

a) Determine a corrente de difusão na base do transistor PNP supondo desprezível a recombinação de portadores.

$$I_p = -qD_p \cdot A \cdot \frac{\partial p}{\partial x} = 2,5 \times 10^{-18} \cdot 2 \times 10^{-5} \cdot \frac{10^{15}}{10^{-4}} = 0,5 \text{mA}$$

$$I_p = 0,5 \text{mA}$$

b) Sabendo-se que a corrente de base é de $5\mu\text{A}$, determine as correntes de coletor e emissor. Qual o valor do Ganho de corrente?

$$I_B = 5\mu\text{A} \cong I_n \text{ (Desprezando-se recombinação na base)}$$

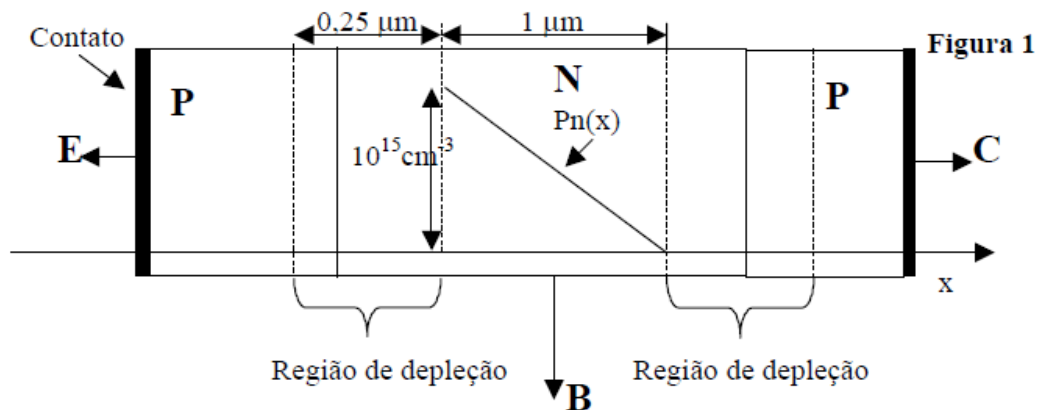
$$I_C \cong I_p = 0,5 \text{mA}$$

$$I_E = I_C + I_B = 0,5 \text{mA} + 0,005 \text{mA} = 0,505 \text{mA}$$

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{5 \times 10^{-3}}{5 \times 10^{-6}} = 100$$

$$\begin{aligned} I_C &= 0,5 \text{mA} \\ I_E &= 0,505 \text{mA} \\ \beta &= 100 \end{aligned}$$

c) Determine as capacitâncias de difusão e depleção da junção base-emissor sendo dado a largura da região de depleção na figura abaixo:



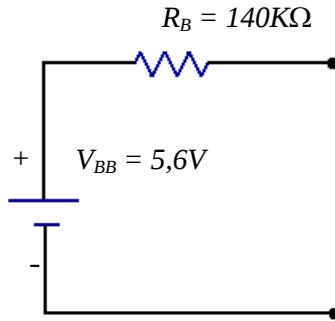
$$C_{depleção} = \frac{\epsilon_s A}{W} = \frac{\epsilon_0 A}{W} = \frac{10^{-12} \cdot 2 \times 10^{-5}}{0,25 \times 10^{-4}} = 0,8 \text{pF}$$

$$C_{difusão} = \frac{\tau_T}{V_T} x I_D = \frac{10 \times 10^{-6}}{25 \times 10^{-3}} \times 0,5 \times 10^{-3} = 0,2 \mu\text{F}$$

$$\begin{aligned} C_{depleção} &= 0,8 \text{pF} \\ C_{difusão} &= 0,2 \mu\text{F} \end{aligned}$$

5º Questão (Prova - 2003)

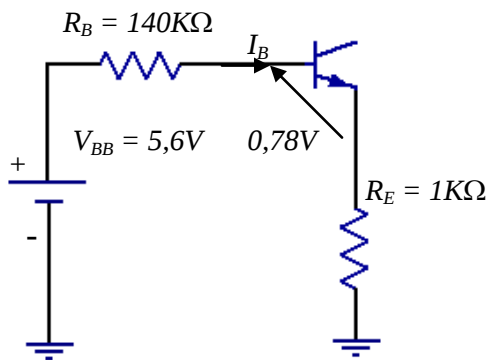
a) Determine o circuito equivalente de Thevenin visto da base do transistor.



$$R_B = R_1 // R_2 = 140K\Omega$$

$$V_{BB} = 11,2 \times \frac{280}{280 + 280} = 5,6V$$

b) Determine o valor da resistência R_E e a tensão V_{CE} .



Na malha de base temos:

$$I_B = (2,02 - 2)mA = 0,02mA$$

$$V_{RE} = 5,6 - 140K \times 0,02m - 0,78 = 2,02V$$

$$R_E = \frac{V_{RE}}{I_E} = 1K\Omega$$

Na malha de coletor:

$$V_{CE} = V_{CC} - R_E I_E - R_C I_C = 11,2 - 1K \times 2,02m - 0,99K \times 2m = 5,22V$$

$$\begin{aligned} R_E &= 1K\Omega \\ V_{CE} &= 5,22V \end{aligned}$$

c) Determine o potencial V_B e as correntes I_1 e I_2 conforme indicado na figura.

$$V_B = V_{BE} + V_{RE} = V_{BB} - R_B I_B = 0,78 + 2,02 = 2,8V$$

$$I_2 = \frac{V_B}{R_2} = \frac{2,8}{280K} = 0,01mA$$

$$I_1 = I_2 + I_B = (0,02 + 0,01)mA = 0,03mA$$

$$\begin{aligned} V_B &= 2,8V \\ I_1 &= 0,01mA \\ I_2 &= 0,03mA \end{aligned}$$