$W_N = \frac{N_A}{N_D} W_P$

$\frac{25 \frac{cm^2}{s}}{25 \cdot 10^{-3}\ V} = \mu$

$8 \cdot 10^{-12}$

$4 \cdot 10^{-12}$

EE-410 4ª. Prova de Avaliação 14/06/07

1) Calcule a barreira de potencial numa junção com $N_A=N_D=10^{15}cm^{-3}$. Calcule os limites da região de depleção, com $V_a=0$, 500mV e -10V. Qual o valor do campo elétrico no ponto de máximo($V_a=0$)? Onde se encontra esse ponto?

2) Usando a aproximação de diodo curto, calcule a corrente de saturação, usando os valores de $W_{PP}=W_{NN}=5\mu m$. Estime a tensão de ruptura por "punch-through" na junção descrita acima.

3) Calcule nesta junção a corrente com uma tensão de polarização de 500mV. Qual o valor das correntes de elétrons e lacunas, respectivamente?

4) Na questão anterior, é possível calcular a resistência elétrica de cada camada e estimar a queda de potencial entre a junção e o ponto de contato. Quais são os valores? Observe que as quedas de potencial se referem somente aos portadores majoritários (lacunas em P e elétrons em N), pois as correntes de minoritários se dão por difusão.

5) A corrente elétrica que predomina em polarização direta é a de difusão, tanto de elétrons como de lacunas. Por que?

Valores:

$A=1mm^2$ $n_i^2=10^{20}cm^{-6}$ $U_T=25mV$ $D_n=25cm^2/s$ $D_p=12{,}5cm^2/s$

$\varepsilon_s= 12\cdot 8{,}85\cdot10^{-14}$ F/cm $q= 1{,}6\cdot10^{-19}$ C $D/\mu=U_T$ $\rho = 1/\sigma$ $U_T=25mV$

Fórmulas gerais:

$$\Phi = V_N - V_P = U_T \cdot \ln \frac{N_A \cdot N_D}{n_i^2} \qquad E_M = \frac{Q_t}{\varepsilon_S} = \frac{q\, N_A\, W_P}{\varepsilon_S} = \frac{q\, N_D\, W_N}{\varepsilon_S}$$

$$W_t = \sqrt{\frac{2\,\varepsilon_S\,(\Phi-V_a)}{q} \cdot \frac{N_A+N_D}{N_A N_D}} \qquad I_S \approx q\, n_i^2\, A \left[\frac{D_n}{N_A \cdot W_{PP}} + \frac{D_p}{N_D \cdot W_{NN}}\right]$$

$\frac{10^{-8} \cdot 10^{-19} \cdot 10^{15}}{10^{-14}}$

$$I(V_a) = I_S \cdot \left[\exp\frac{V_a}{U_T} - 1\right] \qquad \sigma\ (\text{condutividade}) = \frac{J_{DER}}{E} = q\,(\mu_n \bar{n} + \mu_p \bar{p})$$

$W_T = \left(\frac{N_A+N_D}{N_D}\right) W_P = \sqrt{\frac{2\varepsilon_s(\Phi - V)}{q} \frac{(N_A+N_D)}{N_A N_D}}$

$\frac{(N_A+N_D)^2}{N_D^2} W_{PP}^2 = \frac{2\varepsilon_s(\Phi - V)(N_A+N_D)}{q \cdot N_A N_D} \Rightarrow \frac{(N_A+N_D)^2 W_{PP}^2}{N_D^{\cancel{2}}} \cdot \frac{q N_A \cancel{N_D}}{2\varepsilon_s (N_A+N_D)} = \Phi + V$

$V = -\Phi + \frac{W_{PP}^2\, q\, \cancel{N_A}(N_A+N_D)}{\cancel{N_D}\, 2\varepsilon_s}$

9,0

043685 (A) Gabriel Romeiro

1. $N_A = N_D = 10^{15}\ cm^{-3}$

$\Phi = U_T \ln \frac{N_A N_D}{n_i^2} = 25 \cdot 10^{-3} \ln \frac{10^{30}}{10^{20}} = 25 \cdot 10^{-3} \cdot \ln 10^{10} =$

$25 \cdot 10^{-2} \cdot \ln 10 \rightarrow \Phi = 0,57\ V$

Espessuras das regiões de depleção

$V_a = 0$

$W_T = \sqrt{\frac{2 \cdot \varepsilon_s (\Phi)(N_A + N_D)}{q N_A N_D}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 12 \cdot 8,85 \cdot 10^{-14} \cdot 0,57 (10^{15} + 10^{15})}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{15} \cdot 10^{15}}} =$

$= \sqrt{\frac{4 \cdot 12 \cdot 8,85 \cdot 10^{-14} \cdot 0,57 \cdot 10^{15}}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{15} \cdot 10^{18}}} = \sqrt{\frac{242,14 \cdot 10^{-14}}{1,6 \cdot 10^{-4}}} = \sqrt{151,34 \cdot 10^{-10}} =$

$= 1,23 \cdot 10^{-4}\ cm$

$W_{T_0} = 1,23 \cdot 10^{-4}\ cm$

$\frac{W_N}{W_P} = \frac{N_A}{N_D} \rightarrow W_N = \frac{N_A}{N_D} W_P = W_P$

$W_{T_0} = W_N + W_P \rightarrow W_{T_0} = 2 W_N = 2 W_P$

$\frac{W_T}{2} = W_N = W_P$

$W_N = 0,615 \cdot 10^{-4}\ cm$

$W_P = 0,615 \cdot 10^{-4}\ cm$

Limites para $V_a = 0$

$V_a = 500\ mV$

$W_{T_{500}} = W_{T_0} \sqrt{\frac{(\Phi - V_a)}{\Phi}} = 1,23 \cdot 10^{-4} \sqrt{\frac{(0,57 - 0,5)}{0,57}} = 0,43 \cdot 10^{-4}\ cm$

$W_P = W_N = \frac{W_{T_{500}}}{2} = \frac{0,43 \cdot 10^{-4}}{2} = 0,21 \cdot 10^{-4}\ cm$

$W_N = 0,21 \cdot 10^{-4}\ cm$

$W_P = 0,21 \cdot 10^{-4}\ cm$

8,0

$V_A = -10\ V$ (diodo invertido) 283383 (A)

$$W_{T_{-10}} = W_{T_0}\sqrt{\frac{\Phi - V_A}{\Phi}} = 1{,}23\cdot 10^{-4}\sqrt{\frac{0{,}57+10}{0{,}57}} = 5{,}29\cdot 10^{-4}\ cm$$

$$W_P = W_N = \frac{W_{T_{-10}}}{2} = \frac{5{,}29\cdot 10^{-4}}{2} = 2{,}64\cdot 10^{-4}\ cm \qquad W_N = 2{,}64\cdot 10^{-4}\ cm$$

$$W_P = 2{,}64\cdot 10^{-4}\ cm$$

O ponto onde o campo elétrico é máximo é o ponto exato de junção entre N e P (x=0). O campo máximo é dado por:

$$E_m = \frac{2\Phi}{W_{T_0}} = \frac{2\cdot 0{,}57}{1{,}23\cdot 10^{-6}} = 0{,}927\cdot 10^{6}\ \frac{V}{m} = 927\ \frac{kV}{m}$$

?

2. $W_{PP} = W_{NN} = 5\ \mu m$

$A = 10^{-2}\ cm^2$

Para aproximação do diodo curto, tem-se que as diferenças $(W_{PP} - W_P) \cong W_{PP}$ e $(W_{NN} - W_N) \cong W_{NN}$. Portanto:

$$I_S = q n_i^2 A\left[\frac{D_n}{N_A\cdot W_{PP}} + \frac{D_P}{N_D\cdot W_{NN}}\right] = 1{,}6\cdot 10^{-19}\cdot 10^{20}\cdot 10^{-2}\left[\frac{25}{10^{15}\cdot 5\cdot 10^{-4}} + \frac{12{,}5}{10^{15}\cdot 5\cdot 10^{-4}}\right]$$

8,0

$$I_S = (1{,}6\cdot 10^{-1})(7{,}5\cdot 10^{-11}) = 12\cdot 10^{-12}\ A = 12\ pA$$

$$I_S = 12\ pA$$

Como as espessuras da região de depleção são iguais, não faz diferença calcular por qualquer lado.

$$V_{BR} = \frac{W_{PP}^2\, q\, N_A (N_A + N_D)}{2\varepsilon_S N_D} \rightarrow \frac{W_{PP}^2\, q\, 2N_A}{2\varepsilon_S} = \frac{W_{PP}^2\, q\, N_A}{\varepsilon_S} =$$

$$= \frac{(5\cdot 10^{-4})^2\cdot 1{,}6\cdot 10^{-19}\cdot 10^{15}}{12\cdot 8{,}85\cdot 10^{-14}} = \frac{4\cdot 10^{-11}}{106{,}2\cdot 10^{-14}} = 37{,}66\ V$$

$V_{BR} = 37{,}66\ V$ REVERSAMENTE.

3. $I(V) = I_S\left(e^{\frac{V}{V_t}} - 1\right)$

$$I(0{,}5) = 12\cdot 10^{-12}\left(\exp\left(\frac{0{,}500}{0{,}025}\right) - 1\right) = 5{,}82\ mA$$

$$I_n(0{,}5) = q n_i^2 A\left[\frac{D_n}{N_A W_{PP}}\right]\left(e^{\frac{0{,}5}{0{,}025}} - 1\right) = 1{,}6\cdot 10^{-19}\cdot 10^{20}\cdot 10^{-2}\left(\frac{25}{10^{15}\cdot 5\cdot 10^{-4}}\right)\left(e^{\frac{0{,}5}{0{,}025}} - 1\right) \Rightarrow$$

$I_N(0{,}5) = 3{,}88\ mA$

$$I_P(0{,}5) = q n_i^2 A\left[\frac{D_P}{N_D W_{NN}}\right]\left(e^{\frac{0{,}5}{0{,}025}} - 1\right) = 1{,}6\cdot 10^{-19}\cdot 10^{2}\cdot 10^{-2}\left(\frac{12{,}5}{5\cdot 10^{11}}\right)\left(e^{0{,}5/0{,}025} - 1\right) \Rightarrow$$

$I_P(0{,}5) = 1{,}94\ mA$

4. $$\rho_N = \frac{1}{q\cdot \mu_n \cdot \bar{n}} = \frac{1}{1{,}6\cdot 10^{-19}\cdot 10^{3}\cdot 10^{15}} = 6{,}25\ \Omega\cdot cm$$

$$R_N = \frac{\rho_N \cdot L_N}{A} = \frac{6{,}25\cdot 5\cdot 10^{-4}}{10^{-2}} = 0{,}3125\ \Omega$$

$$\rho_P = \frac{1}{q \mu_p \bar{p}} = \frac{1}{1{,}6\cdot 10^{-19}\cdot 0{,}5\cdot 10^{3}\cdot 10^{15}} = 12{,}5\ \Omega\, cm$$

$$R_P = \frac{\rho_P \cdot L_P}{A} = \frac{12{,}5\cdot 5\cdot 10^{-4}}{10^{-2}} = 0{,}625\ \Omega$$

$$V_N = I_N \cdot R_N = 0{,}3125\cdot 3{,}88\cdot 10^{-3} = 1{,}21\ mV$$

$$V_P = I_P\cdot R_P = 0{,}625\cdot 1{,}94\cdot 10^{-3} = 1{,}21\ mV$$

5. Isso acontece pois nos casos estudados o campo elétrico gerado pela tensão de polarização equilibra o efeito do campo elétrico entre as regiões N e P. Dessa maneira, as correntes de deriva se tornam menos significativas que as correntes de difusão. Estas por sua vez não se modificam, já que advém da diferença de concentração de portadores. Os casos estudados são os casos que consideram uma polarização pequena, como uma perturbação apenas.