NANODISPOSITIVOS E NANOELETRÓNICA

TPC 1

✓① Mostre que a largura da região de depleção na junção P-n em equilíbrio, W_0, pode ser dada por

$$W_0 = \left[\frac{2 \varepsilon (N_a + N_d) V_0}{q N_a N_d} \right]^{1/2}$$

em que ε é a constante dielétrica, N_a e N_d são as densidades de impurezas aceitadoras e dadoras, respetivamente, V_0 é a tensão intrínseca da junção e q é a carga elementar.

✓② Calcule V_0 numa junção P-N de Si com $N_a = 10^{18}\ cm^{-3}$ e $N_d = 10^{15}\ cm^{-3}$ a 300K.

✓③ Para uma junção P-N unilateral de Si com $N_a = 10^{19}\ cm^{-3}$ e $N_d = 10^{16}\ cm^{-3}$ a 300K, calcule a largura da região de depleção e o campo elétrico máximo quando a junção ñ está polarizada.

① (ver fórmulas do powerpoint)

largura da região de depleção na junção P-N $= \boxed{W_0 = W_N + W_P}$

Como pelo gráfico verificamos que $V_0 = -\frac{1}{2} E_0 W_0$.

?? Na região de depleção, a carga total da junção é a carga que vem das impurezas ionizadas (que é = nos 2 lados), logo:

$$N_a W_P = N_d W_N \Leftrightarrow W_P = \frac{N_d}{N_a} W_N$$

De cima vimos que $W_0 = W_N + W_P \Leftrightarrow W_0 = W_N + \frac{N_d}{N_a} W_N$

$W_N = ??$ $\Rightarrow$ Sabemos que $E_0 = -\frac{q N_d W_N}{\varepsilon}$.

Ora, vamos ter que:

- $V_0 = -\frac{1}{2} E_0 W_0 \Leftrightarrow \frac{-2 V_0}{E_0} = W_0 \Leftrightarrow W_0 = \frac{-2 V_0}{E_0}$

- $E_0 = \frac{-q N_d W_N}{\varepsilon} \Leftrightarrow \frac{-E_0 \varepsilon}{q N_d} = W_N \Leftrightarrow W_N = -\frac{E_0 \varepsilon}{q N_d}$

Logo, tem-se que:

$$W_0 = W_N + \frac{N_d}{N_a} W_N \Leftrightarrow W_0 = \left(1 + \frac{N_d}{N_a}\right)\left(-\frac{E_0 \varepsilon}{q N_d}\right) \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow W_0 = \left(\frac{N_a + N_d}{N_a}\right)\left(-\frac{E_0 \varepsilon}{q N_d}\right) \Leftrightarrow$$

(NOTA: ñ esquecer que $V_0 = -\frac{1}{2} E_0 W_0$)

$$\Leftrightarrow W_0 = \left(\frac{N_a + N_d}{N_a}\right)\left(\frac{-\varepsilon}{q N_d}\right)\left(\frac{-2 V_0}{W_0}\right) \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow W_0^2 = \frac{2 \varepsilon (N_a + N_d) V_0}{q N_d N_a} \Leftrightarrow W_0 = \left[\frac{2 \varepsilon (N_a + N_d) V_0}{q N_a N_d}\right]^{1/2}$$

② Do powerpoint retira-se que: → vai ser: $\frac{kT}{q} \simeq 0,0259V$

$$V_0 = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{N_a N_d}{n_i^2}\right)$$

Do enunciado:

• $N_a = 10^{18}$ cm^{-3}; • $N_d = 10^{15}$ cm^{-3}; • $T = 300$ K

$(n_i)^2 \equiv ??$ → vem da "lei da ação de massa"

$\Downarrow$

$$\boxed{p_{n_0} = \frac{n_i^2}{n_{n_0}} = \frac{n_i^2}{N_D}}$$

↓

$n_{n_0} = N_D$ pois à temperatura ambiente, todos os portadores dadores estão ionizados.

concentração intrínseca = pura na junção

$\Downarrow$?

é um valor tabelado para T = 300K (ver manual do "Safa Kasap"):

$n_i = 1,0\times10^{10}$ cm^{-3} → logo, substituindo em cima vai-se ter que:

$$V_0 = 0,0259 \cdot \ln\left(\frac{10^{18}\cdot10^{15}}{(1,0\times10^{10})^2}\right) \Leftrightarrow V_0 \simeq 0,775\text{ V}.$$

③

Do enunciado:

• $N_a = 10^{19}$ cm^{-3} • $N_d = 10^{16}$ cm^{-3} • $T = 300$ K

largura da região de depleção $\equiv w_0 = ?$

campo elétrico máximo $= ?$

quando a junção não está polarizada

não está ligada a uma fonte de tensão

Temos uma junção unilateral pois $\boxed{N_a \gg N_d}$ (está fortemente dopado para o lado p em relação ao lado n):

$$N_a w_p = N_d w_n \Leftrightarrow w_p = \frac{N_d}{N_a} w_n$$

o que significa que a região de depleção vai-se "estender" para o lado n.

Sabemos que:

$$w_0 = \left[\frac{2\varepsilon(N_a+N_d)V_0}{q N_a N_d}\right]^{1/2}$$

Como $N_a \gg N_d$,

$$w_0 = \left[\frac{2\varepsilon(N_a+\cancel{N_d})V_0}{q\cancel{N_a}N_d}\right]^{1/2} = \left[\frac{2\varepsilon V_0}{q N_d}\right]^{1/2}$$

Do powerpoint:

$$V_0 = \frac{kT}{q}\ln\left(\frac{N_a N_d}{n_i^2}\right) \Leftrightarrow V_0 = 0,0259 \ln\left(\frac{10^{19}\cdot10^{16}}{(1,0\times10^{10})^2}\right) \Leftrightarrow V_0 \simeq 0,835\text{V}$$

Logo,

$$\omega_o = \left[\frac{2\varepsilon V_o}{q N_d}\right]^{1/2} = \left[\frac{2\times 11,9\times 8,85\times 10^{-12}\times 0,835}{(1,6\times 10^{-19})\times 10^{16}\times 10^{6}}\right]^{1/2} =$$

$$= 3,32\times 10^{-7}\ m$$

$$\varepsilon = \varepsilon_o\, \varepsilon_r$$

$\varepsilon_o = 8,85\times 10^{-12}$

$\varepsilon_r = 11,9$

carga do e^- $= 1,6\times 10^{-19}$

??

Sabemos que o campo elétrico na região de deplecão é dado por:

$$E(x) = \frac{1}{\varepsilon}\int_{-\omega_p}^{x} \rho_{net}(x)\,dx$$

densidade da região de carga espacial

Como $N_a >> N_d$,

$$E(x) = \frac{1}{\varepsilon}\int_{-\omega_p}^{x} N_a\,dx \Leftrightarrow E(x) = \frac{N_a\, q\,(\omega_p - x)}{\varepsilon}$$

retirado dos apontamentos da aula

e como $E_{max} = -\dfrac{q\, N_a\, \omega_p}{\varepsilon}$;

$$\omega_o = \omega_N + \omega_p \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \omega_o = \frac{N_a}{N_d}\omega_p + \omega_p \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \omega_o = \left(\frac{N_a}{N_d} + 1\right)\omega_p \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \omega_p = \frac{\omega_o \cdot N_d}{N_a + \cancel{N_d}} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \omega_p \simeq 3,317\times 10^{-10}$$

$$E_{max} = -\frac{(1,6\times 10^{-19})\cdot 10^{19}\times 10^{6}\cdot 3,317\times 10^{-10}}{11,9\cdot 8,85\times 10^{-12}} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow E_{max} \simeq -5,039\times 10^{6}$$

??