

Aula 15

O Diodo e a junção pn na condição de polarização direta

PSI 2223 – Introdução à Eletrônica
Programação para a Primeira Prova

11 ^a 05/04	Circuito retificador em ponte. Circuito retificador de meia onda com o capacitor de filtro.	Sedra, Cap. 3 p. 109-111
12 ^a 08/04	Retificador de onda completa com capacitor de filtro, superdiodo. Exercícios (exemplo 3.9).	Sedra, Cap. 3 p. 112-115
13 ^a 12/04	Circuitos limitadores, circuitos grampeadores, dobrador de tensão, exercícios: 3.27, 3.28.	Sedra, Cap. 3 p. 115-118
14 ^a 15/04	Conceitos básicos de dispositivos semicondutores: silício dopado, mecanismos de condução (difusão e deriva), exercícios.	Aula avulsa + Sedra, Cap. 3 p. 117-121
15 ^a 26/04	Modelos de cargas, junção pn na condição de circuito aberto, potencial interno da junção, junção pn polarizada, exercícios.	Aula avulsa + Sedra, Cap. 3 p. 121-126
16 ^a 29/04	Distribuição de portadores minoritários na junção pn diretamente polarizada. Dedução elementar da equação de corrente na junção pn, exercícios.	Aula avulsa + Sedra, Cap. 3 p. 127-128
17 ^a 03/05	Capacitância de difusão, largura da região de depleção da junção pn polarizada, capacitância de depleção, a junção pn na região de ruptura (efeito zener e efeito avalanche), exercícios.	Sedra, Cap. 3 p. 124-125 e p. 128-129
18 ^a 06/05	Aula de Exercícios	

2^a. Semana de Provas (09/05 a 13/05/2016)

Data: 11/05/2016 (quarta feira) – Horário: 13:10h às 15:10h

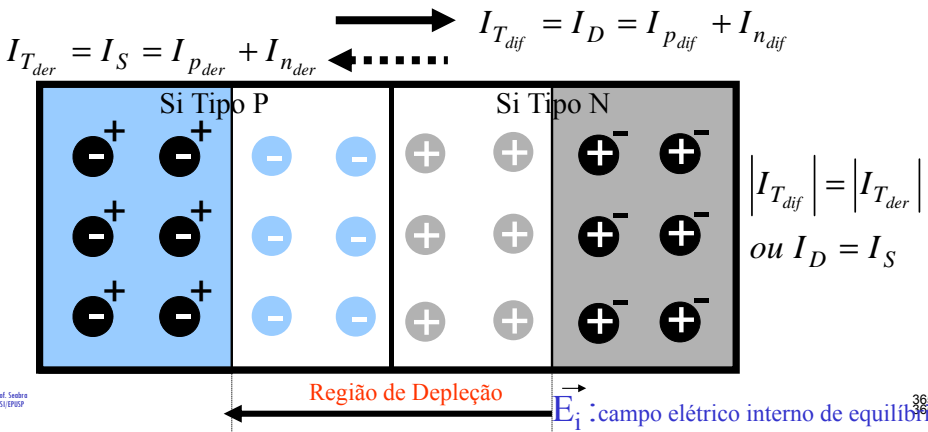
15ª Aula: A junção pn Diretamente polarizada

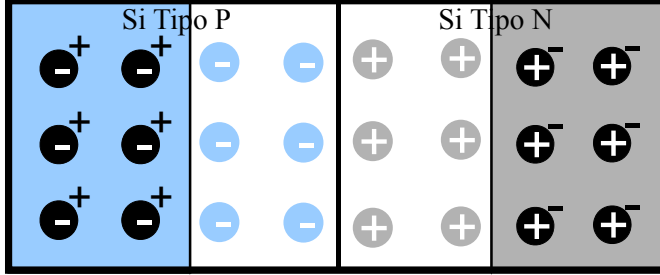
Ao final desta aula você deverá estar apto a:

- Olhar a Lei de Ohm do lado de dentro do material, explicando os conceitos de condutividade e mobilidade
- Explicar, através de conceitos e equações, o que é corrente de deriva e o que é corrente de difusão
- Explicar o que é silício intrínseco e silício dopado (tipo n e tipo p)
- Calcular a concentração de portadores em silício tipo n e tipo p
- Explicar o que ocorre quando se junta um silício tipo n e um p , criando um diodo semiconductor
- Calcular a barreira de potencial interna e a largura da região de depleção em um diodo semiconductor

JUNÇÃO PN atingiu o equilíbrio térmico (Modelo de cargas)

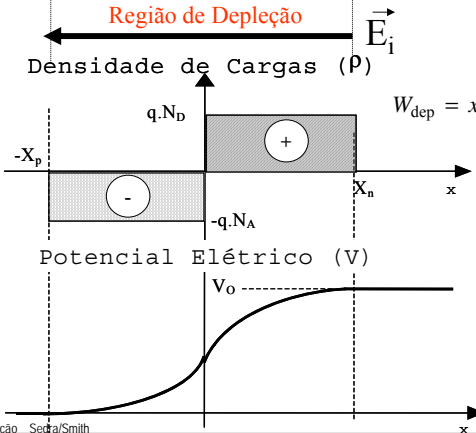
Se nenhuma polarização externa for aplicada, as correntes de difusão e de deriva tendem a se anular mutuamente, de forma que em equilíbrio: $I_T = I_{T\ dif} + I_{T\ der} = 0$ (ou $I_D = I_S$)





$$qx_p N_A A = qx_n N_D A$$

$$\frac{x_n}{x_p} = \frac{N_A}{N_D}$$



$$W_{dep} = x_n + x_p = \sqrt{\frac{2\epsilon_s}{q} \left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right) V_0}$$

$$V_0 = V_T \ln \left(\frac{N_A N_D}{n_i^2} \right)$$

Prof. Sédra
FV/UFOP

Microeletrônica – Quinta Edição – Sedra/Smith

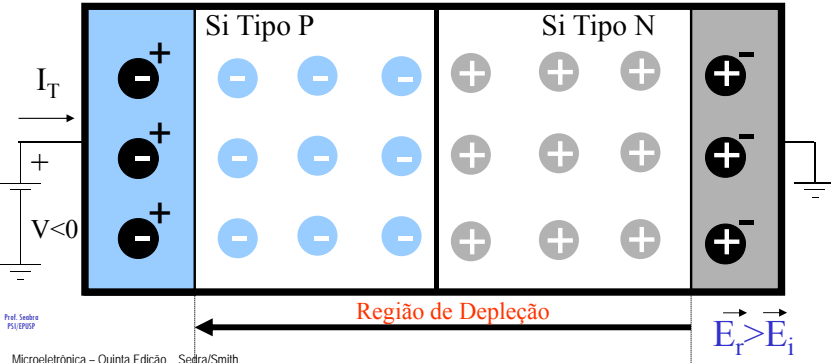
366

JUNÇÃO PN polarizada reversamente (Modelo de cargas)

Se for aplicada uma polarização negativa do anodo com relação ao catodo (polarização reversa), aumentará o campo elétrico resultante na junção ($E_r = E_i + E_{ext}$), o que dificultará a passagem dos portadores majoritários por difusão exponencialmente. Neste caso aumentam-se as componentes de deriva (minoritários) devido ao aumento do campo elétrico na região de depleção, resultando em

$$I_f = I_{dif} + I_{der} < 0 \text{ (ou } I_b < I_s)$$

$$I_{T_{der}} = I_S = I_{p_{der}} + I_{n_{der}} \quad \leftarrow \dots \quad \rightarrow \quad I_{T_{dif}} = I_D = I_{p_{dif}} + I_{n_{dif}}$$



Prof. Sédra
FV/UFOP

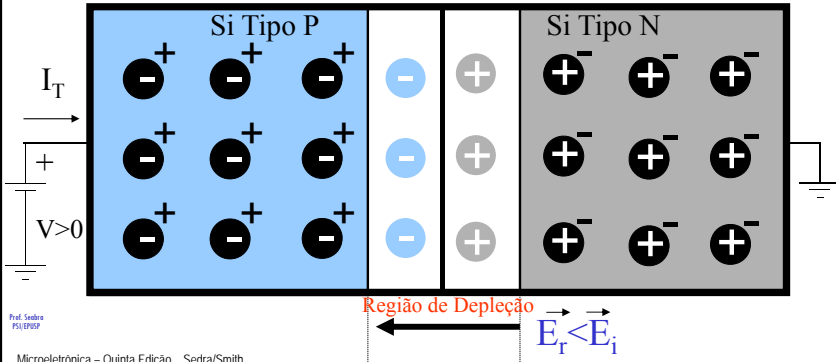
Microeletrônica – Quinta Edição – Sedra/Smith

367

JUNÇÃO PN polarizada diretamente (Modelo de cargas)

Se for aplicada uma polarização positiva do anodo com relação ao catodo (polarização direta), diminuirá o campo elétrico resultante na junção ($E_r = E_i - E_{ext}$), o que facilitará a passagem dos portadores majoritários por difusão exponencialmente. Diminuem-se as componentes de deriva (minoritários) pela redução do campo elétrico, resultando em: $I_f = I_{dif} + I_{der} > 0$ (ou $I_p > I_n$)

$$I_{T_{der}} = I_S = I_{p_{der}} + I_{n_{der}} \quad \leftarrow \dots \rightarrow \quad I_{T_{dif}} = I_D = I_{p_{dif}} + I_{n_{dif}}$$

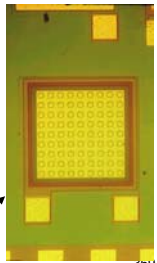
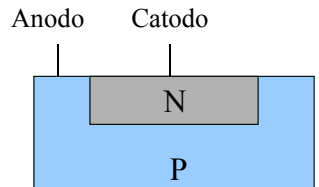
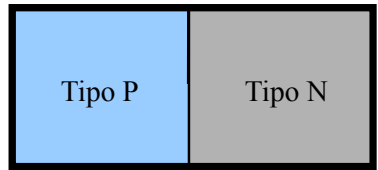
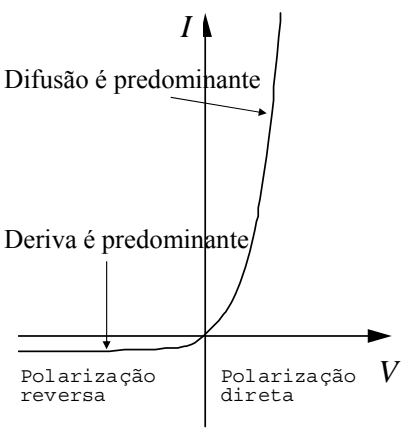


Prof. Sedra
PSUPDF

368

Microeletrônica – Quinta Edição – Sedra/Smith

Diodo Semicondutor (Junção PN)



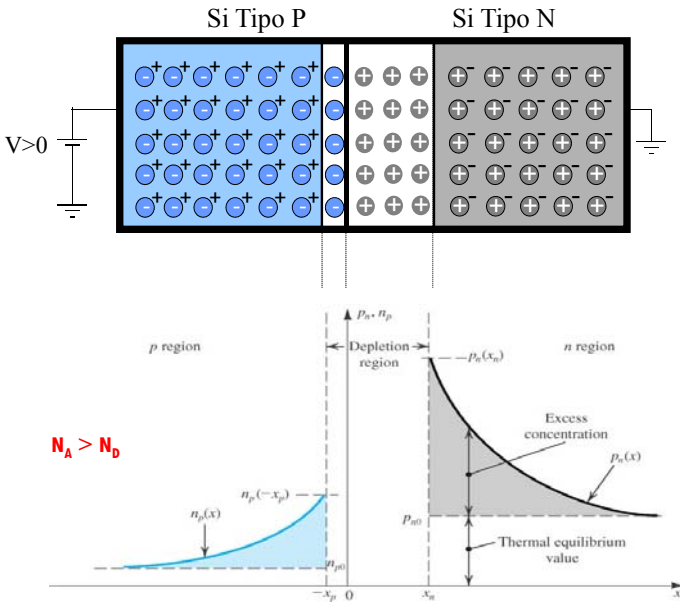
$$I = I_S (e^{V/nV_T} - 1)$$

Prof. Sedra
PSUPDF

368

Microeletrônica – Quinta Edição – Sedra/Smith

Foto de um diodo construído na EPUSP

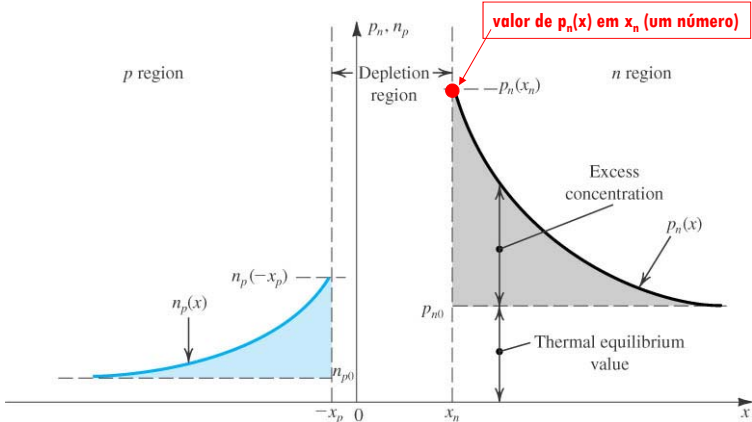


Prof. Sédra
PUC/DF

Microeletrônica – Quinta Edição – Sedra/Smith

370

O Diodo Polarizado Diretamente



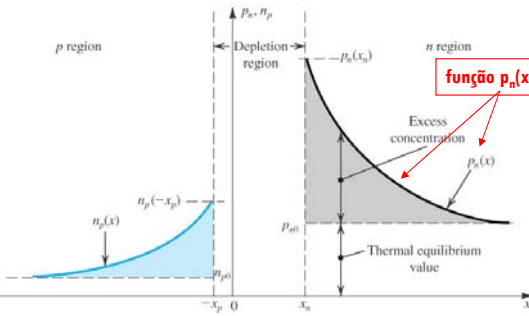
$p_n(x_n)$, da física de semicondutores, é igual a:

$$p_n(x_n) = p_{n0} e^{V/V_T}$$

Prof. Sédra
PUC/DF

371

O Diodo Polarizado Diretamente



$p_n(x)$?

- é uma queda exponencial com constante τ
- valor inicial = $p_n(x_n)$
- valor final = p_{n0}

De Cálculo: $p_n(x) = p_{nFINAL} + [p_{nINICIAL} - p_{nFINAL}]e^{-(x-x_n)/\tau}$

$$p_n(x) = p_{n0} + [p_n(x_n) - p_{n0}]e^{-(x-x_n)/L_p}$$

comprimento de difusão

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

Tempo de vida (médio) dos portadores minoritários (no caso lacunas)

O Diodo Polarizado Diretamente

$$\begin{aligned} J_p &= D_p \frac{\partial p_n(x)}{\partial x} \\ &= D_p \frac{\partial \{ p_{n0} + [p_n(x_n) - p_{n0}]e^{-(x-x_n)/L_p} \}}{\partial x} \\ &= q \frac{D_p}{L_p} p_{n0} (e^{V/V_T} - 1) e^{-(x-x_n)/L_p} \end{aligned}$$

válido do lado n, fora da região de depleção ($x \geq x_n$)

Em $x = x_n$ $J_p = q \frac{D_p}{L_p} p_{n0} (e^{V/V_T} - 1)$

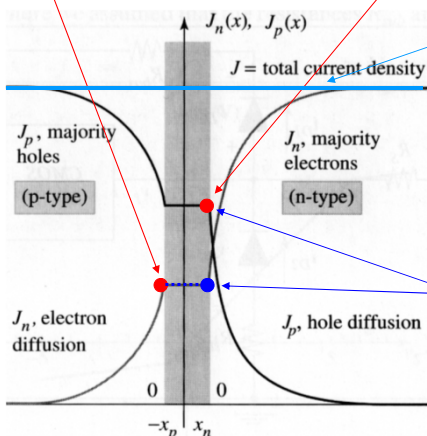
O Diodo Polarizado Diretamente

Em $x = -x_p$

$$J_n = q \frac{D_n}{L_n} n_{p0} (e^{V/V_T} - 1)$$

...Em $x = x_n$

$$J_p = q \frac{D_p}{L_p} p_{n0} (e^{V/V_T} - 1)$$



$$J_{TOTAL} = J_p + J_n \text{ (em qualquer ponto)}$$

Fora da região de depleção o campo elétrico é praticamente nulo, portanto tanto J_p como J_n são devidos apenas à parcela de difusão

Em $x = x_n$ podemos somar o valor J_p e J_n que determinamos pois J_n calculado em $-x_p$ é o mesmo em x_n pois na região de depleção não “perdemos” cargas

Prof. Sombra
FIS/UFOP

374

O Diodo Polarizado Diretamente

$$\begin{aligned} \text{Logo } J_{TOTAL} &= J_p^{DIF} + J_n^{DIF} \\ &= q \frac{D_p}{L_p} p_{n0} (e^{V/V_T} - 1) + q \frac{D_n}{L_n} n_{p0} (e^{V/V_T} - 1) \\ &= \left\{ q \frac{D_p}{L_p} p_{n0} + q \frac{D_n}{L_n} n_{p0} \right\} (e^{V/V_T} - 1) \end{aligned}$$

$$\text{Logo } I_{TOTAL} = A \left\{ q \frac{D_p}{L_p} p_{n0} + q \frac{D_n}{L_n} n_{p0} \right\} (e^{V/V_T} - 1)$$

$$\text{Logo } I_{TOTAL} = I_S (e^{V/V_T} - 1)$$

$$I_S = A q n_i^2 \left(\frac{D_p}{L_p N_D} + \frac{D_n}{L_n N_A} \right)$$

Prof. Sombra
FIS/UFOP

375