



CAPITULO 3

Aula 16

O Diodo e a junção pn na condição de polarização direta e a dedução da equação da corrente em um diodo

Eletrônica I – PSI3321

Programação para a Segunda Prova

10 ^a	07/04	Circuito retificador em ponte. Circuito retificador de meia onda com o capacitor de filtro.	Sedra, Cap. 3 p. 109-111	
12 ^a	02/05	Retificador de onda completa com capacitor de filtro, superdiodo. Exercícios (exemplo 3.9).	Sedra, Cap. 3 p. 112-115	Teste 06 9h20-9h35
13 ^a	05/05	Circuitos limitadores, circuitos grampeadores, dobrador de tensão, exercícios: 3.27, 3.28.	Sedra, Cap. 3 p. 115-118	
14 ^a	09/05	Conceitos básicos de dispositivos semicondutores: silício dopado, mecanismos de condução (difusão e deriva), exercícios.	Aula avulsa + Sedra, Cap. 3 p. 117-121	Teste 07 9h20-9h35
15 ^a	12/05	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	16/05	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	Teste 08 9h20-9h35
17 ^a	19/05	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	
18 ^a	23/05	A junção pn na região de ruptura (efeito zener e efeito avalanche), exercícios.	Sedra, Cap. 3 p. 128-129	Teste 09 9h20-9h35
19 ^a	26/05	Estruturas e símbolos dos transistores bipolares de junção, definição dos modos de operação (corte, ativo, saturação) do TBJ, operação do transistor npn no modo ativo (polarização e distribuição de portadores minoritários).	Sedra, Cap. 5 p. 235-238	
20 ^a	30/05	Equações das correntes no transistor (definição do ganho de corrente em emissor comum - β - e do ganho de corrente em base comum - α), modelos de circuitos equivalentes para grandes sinais do transistor npn operando no modo ativo, exercícios.	Sedra, Cap. 5 p. 239-243.	Teste 10 9h20-9h35

Eletrônica I – PSI3321

Programação para a Segunda Prova (cont.)

21 ^a	02/06	Análise cc de circuitos com transistores, exercícios selecionados: 5.1, 5.4, 5.10.	Sedra, Cap. 5 p. 246 + 264-269	
22 ^a	06/06	O TBJ como amplificador para pequenos sinais (as condições c.c., a corrente de coletor e a transcondutância)	Sedra, Cap. 5, p. 263-264; p. 275-276.	Teste 11 9h20-9h35
23 ^a	09/06	A corrente de base e a resistência de entrada da base, a resistência de entrada do emissor. Ganho de tensão, Exemplo 5.38, modelos equivalentes (modelos π -híbrido e T)	Sedra, Cap. 5, p. 276-279	
24 ^a	13/06	Aplicação dos modelos equivalentes para pequenos sinais, Efeito Early. O amplificador emissor comum (EC) - Exercício 5.43	Sedra, Cap. 5 p. 290-293	Teste 12 9h20-9h35
25 ^a	20/06	O amplificador emissor comum com resistência de emissor	Sedra, Cap. 5 p.293-295	Teste 13 9h20-9h35
26 ^a	23/06	O amplificador base comum (BC)	Sedra, Cap. 5 p. 296-297	
27 ^a	27/06	O amplificador coletor comum (CC)	Sedra, Cap. 5 p. 297-302	Teste 14 9h20-9h35
28 ^a	30/06	Aula de Exercícios		
2 ^a . Semana de Provas (01/07 a 07/07/2017)				
Data: xx/xx/2017 (xxxx-feira) – Horário: xx:xxhs				

16^a Aula:

A junção pn Diretamente polarizada

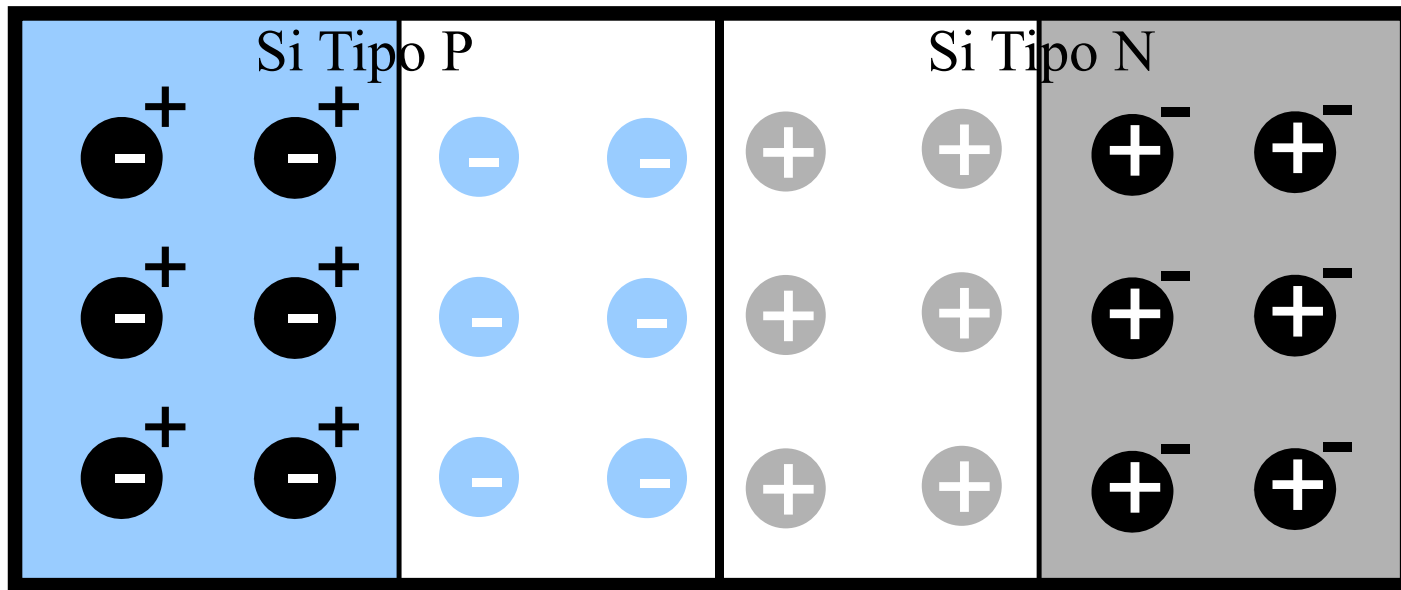
Ao final desta aula você deverá estar apto a:

- Explicar o que ocorre quando a junção pn é diretamente polarizada
- Explicar a distribuição de portadores minoritários e o seu perfil em ambos os lados da junção quando a junção pn é diretamente polarizada
- Explicar o que é silício intrínseco e silício dopado (tipo n e tipo p)
- Deduzir a expressão da corrente no diodo em função das grandezas fundamentais da junção, como concentração de portadores, largura da região de depleção, etc.

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 $I_D = I_S$)

$$I_{T\ der} = I_S = I_{p\ der} + I_{n\ der} \quad \longrightarrow \quad I_{T\ dif} = I_D = I_{p\ dif} + I_{n\ dif}$$



$$\left| I_{T\ dif} \right| = \left| I_{T\ der} \right|$$

ou $I_D = I_S$

Região de Depleção

E_i : campo elétrico interno de equilíbrio

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

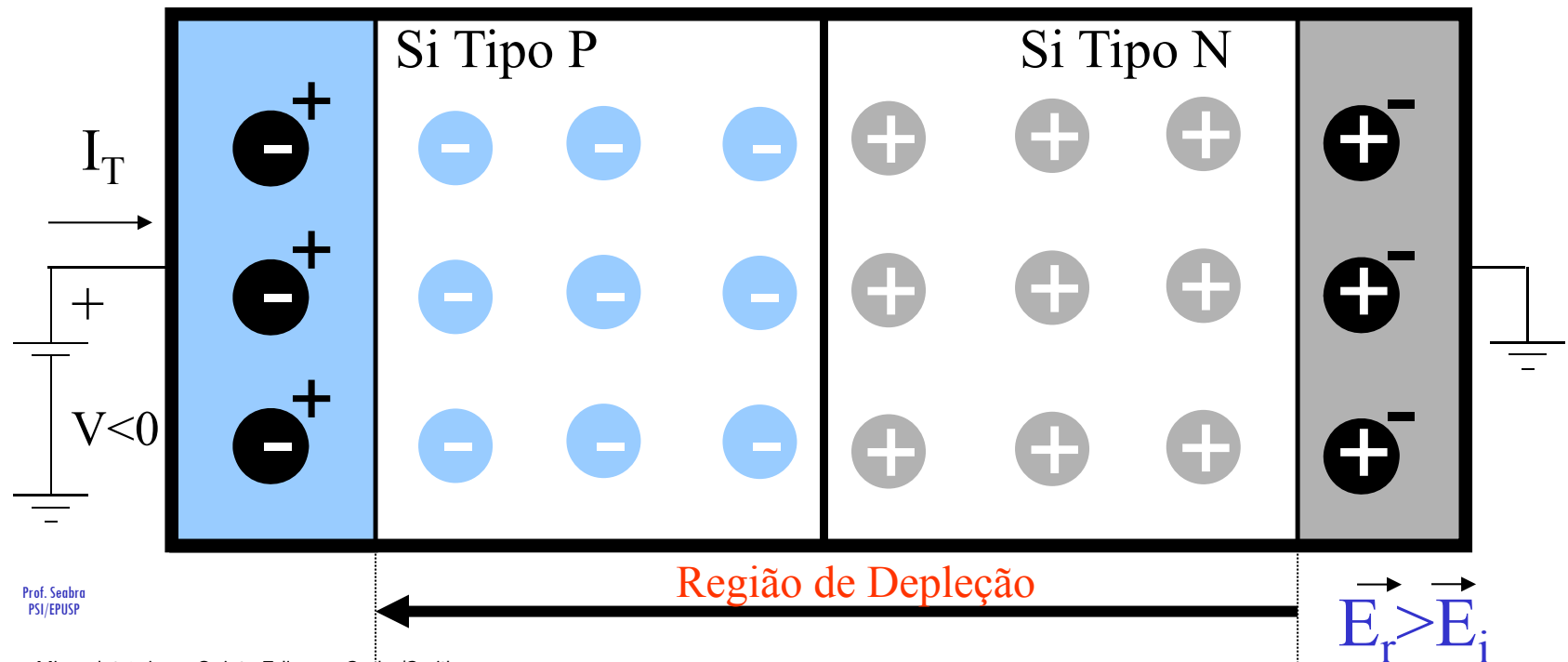
$$W_{dep} = x_n + x_p = \sqrt{\frac{2\epsilon_s}{q} \left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right) V_0}$$

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

$$I_T = I_{T\ dif} + I_{T\ der} < 0 \text{ (ou } I_D < I_S)$$

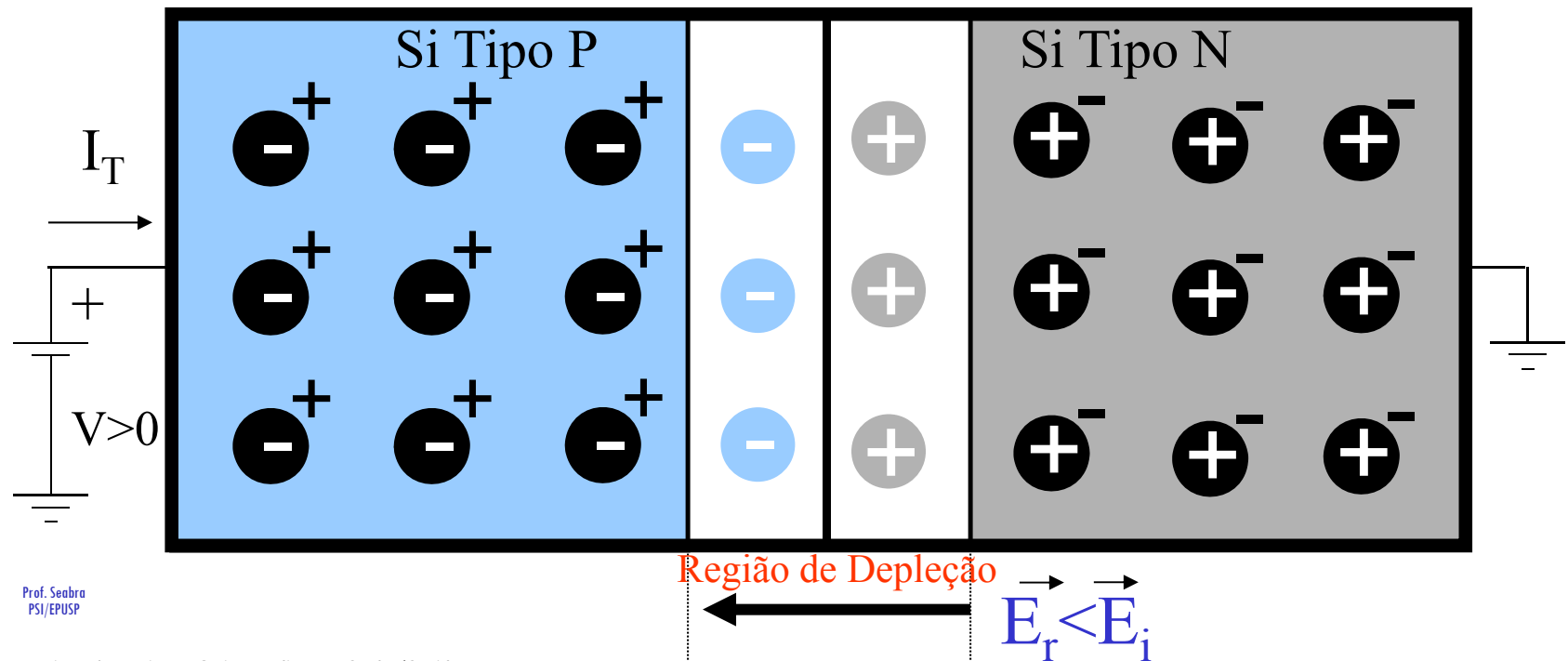
$$I_{T\ der} = I_S = I_{p\ der} + I_{n\ der} \quad \leftarrow \dots \rightarrow \quad I_{T\ dif} = I_D = I_{p\ dif} + I_{n\ dif}$$




JUNÇÃO PN polarizada diretamente (Modelo de cargas)

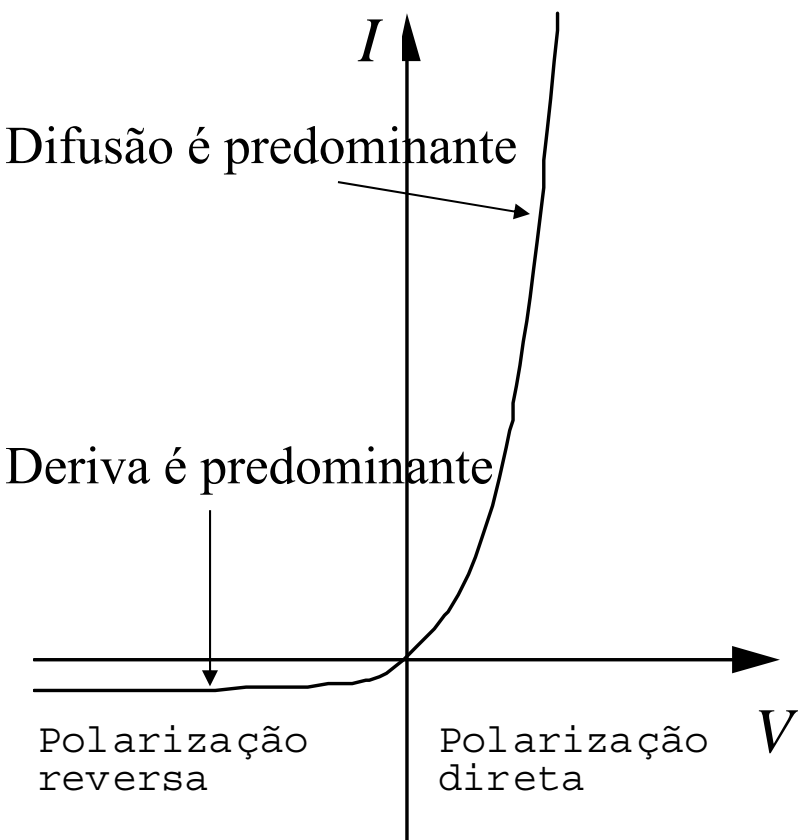
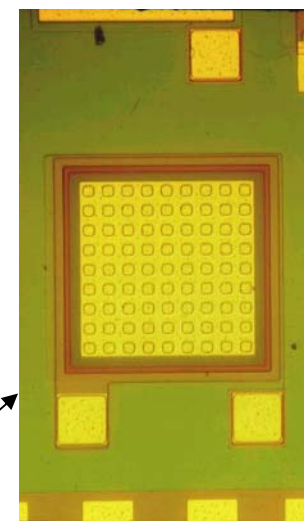
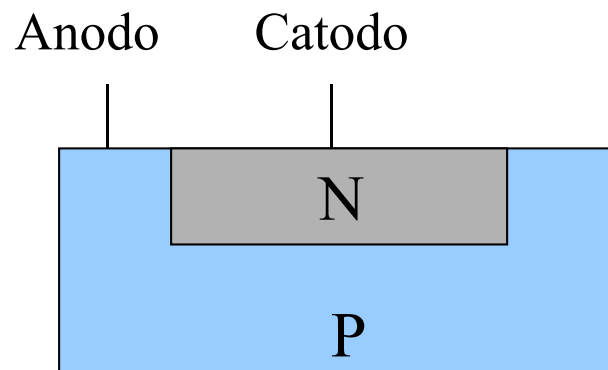
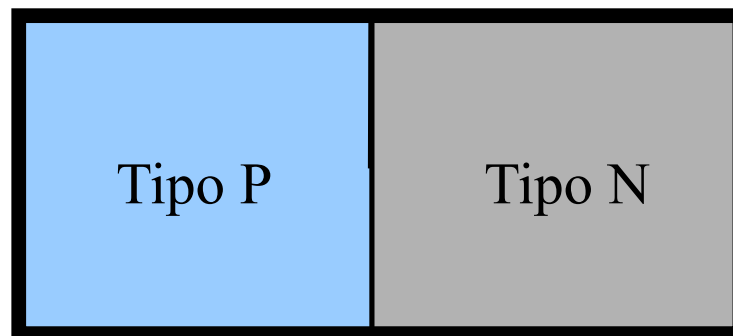
Se for aplicada uma polarização positiva do anodo com relação ao catodo (polarização direta), diminuirá o campo elétrico resultante na junção ($E_r = E_i - E_{ext}$), o que facilitará a passagem dos portadores majoritários por difusão exponencialmente. Diminuem-se as componentes de deriva (minoritários)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

$$I_{T der} = I_S = I_{p der} + I_{n der} \quad \leftarrow \dots \rightarrow \quad I_{T dif} = I_D = I_{p dif} + I_{n dif}$$



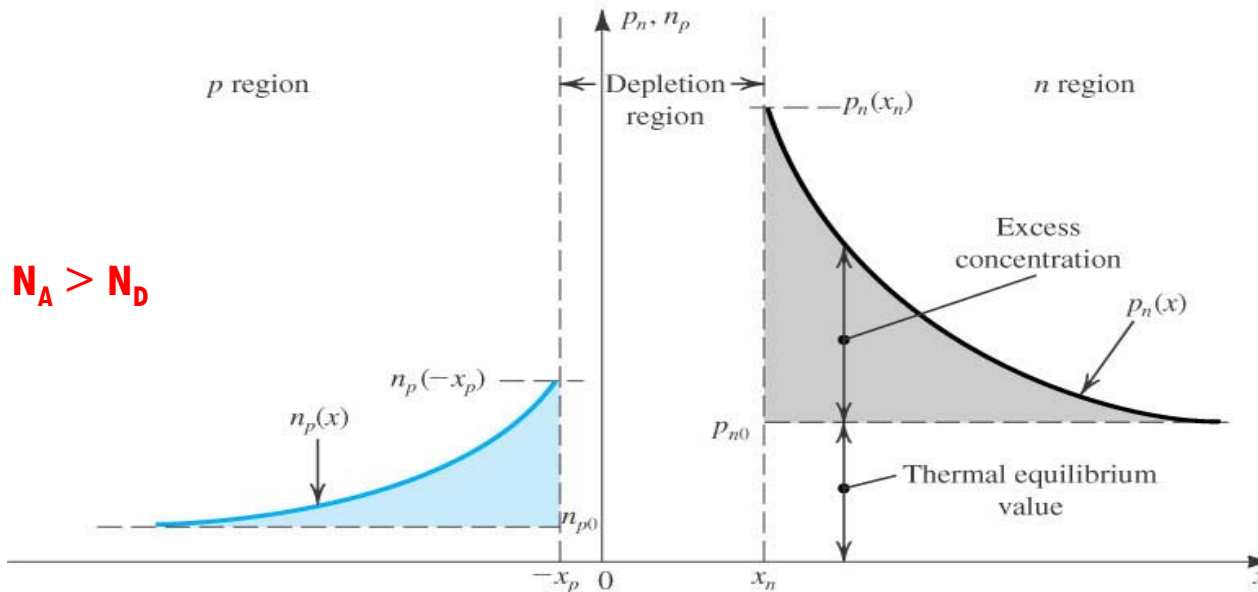
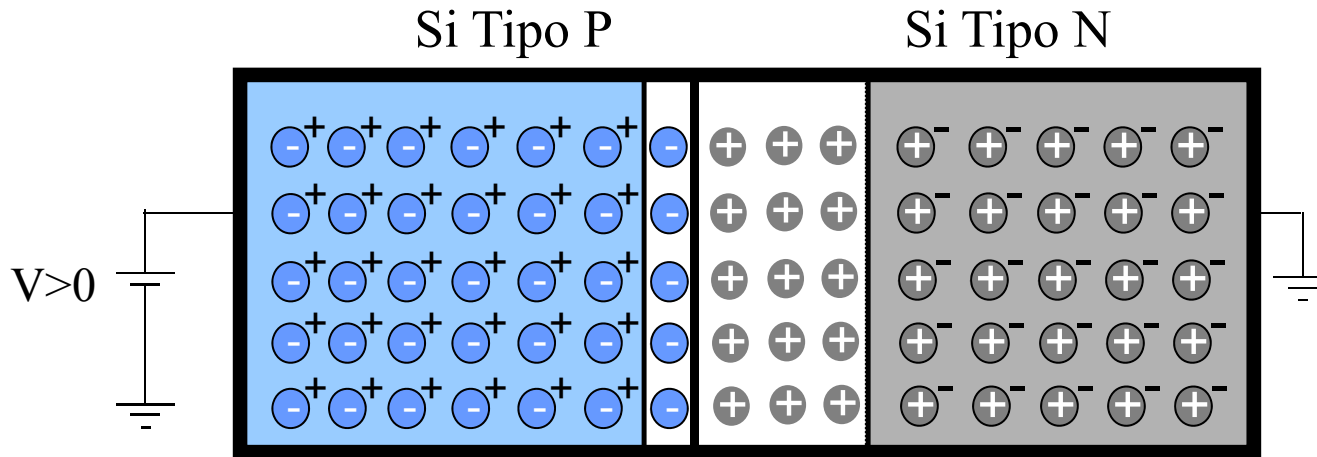
Diodo Semicondutor (Junção PN)

Anodo  Catodo

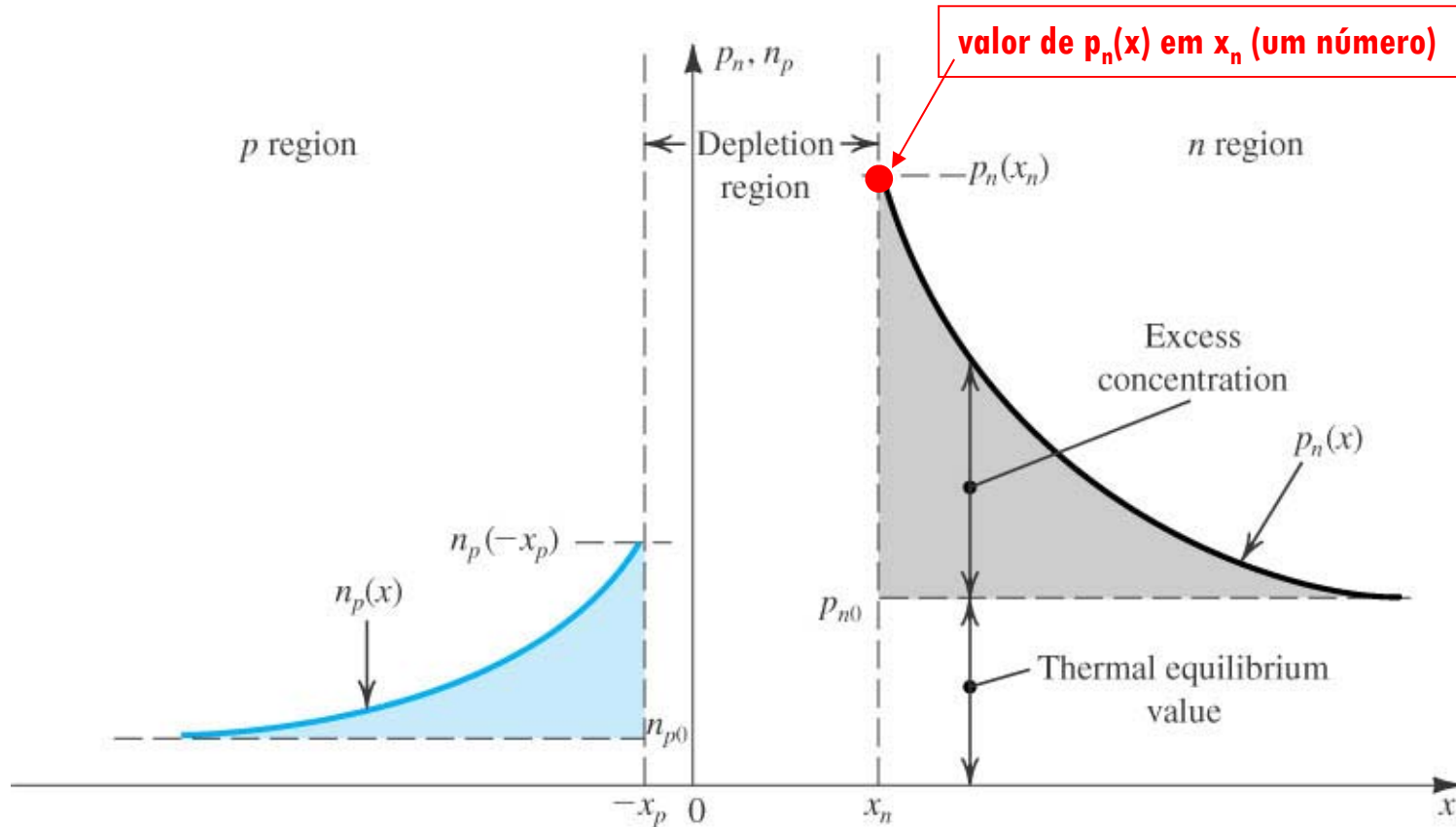


$$I = I_S (e^{V/nV_T} - 1)$$

Distribuição de Portadores Minoritários na Junção PN Diretamente Polarizada



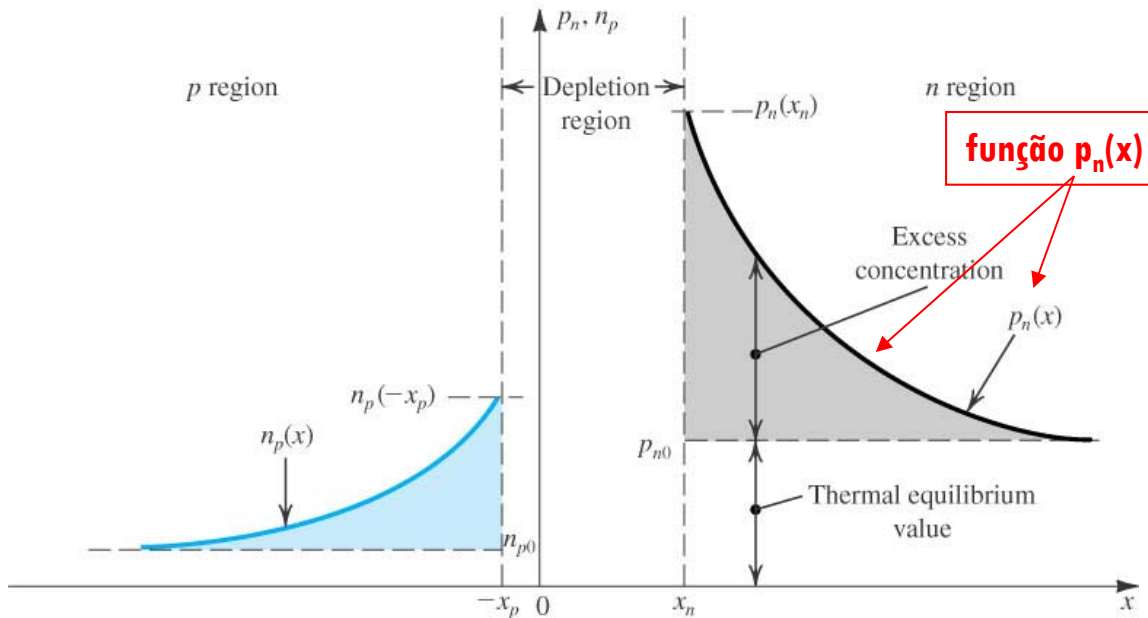
O Diodo Polarizado Diretamente



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

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

O Diodo Polarizado Diretamente



$p_n(x)$?

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

função $p_n(x)$

Excess concentration

$p_n(x)$

Thermal equilibrium value

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

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

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

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

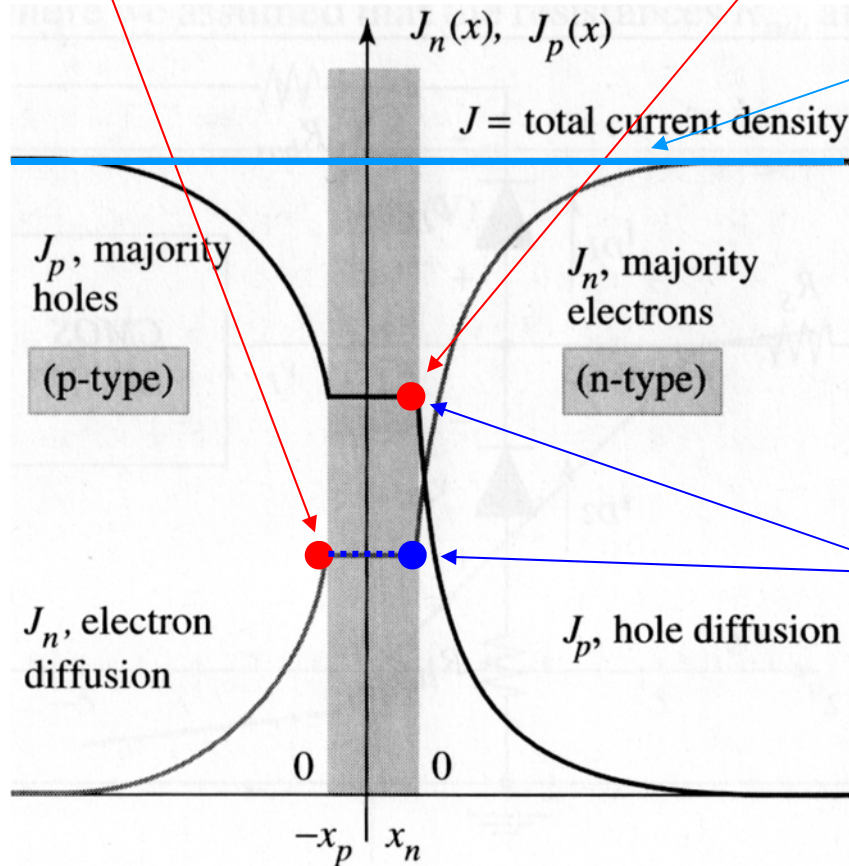
O Diodo Polarizado Diretamente

Em $x = -x_p$

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

...Em $x = x_n$

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



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

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

O Diodo Polarizado Diretamente

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

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

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

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