

10. Transistor nMOS - controle de V_T

Controle da tensão de limiar - V_T

$$V_T = \Phi_{MS} - \frac{Q_{ss}}{C_{ox}} + \frac{Q_{depleção_{max}}}{C_{ox}} + 2\Phi_F$$

- Influência de Φ_{MS}

$$\Phi_{MS} = \Phi_M - \Phi_{Si}$$

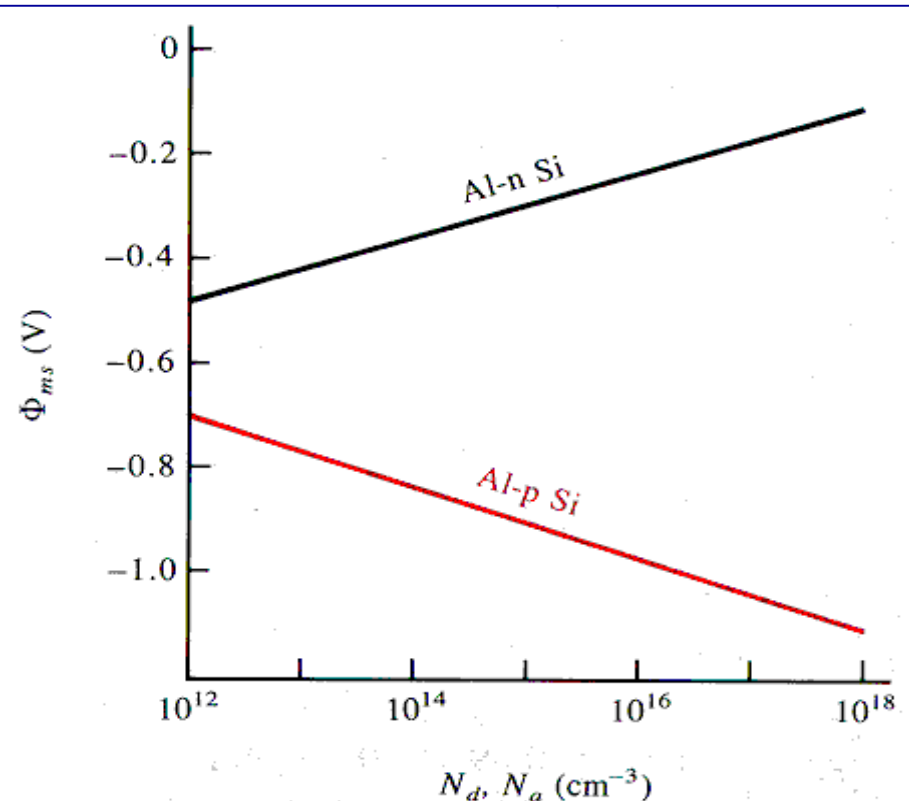
$$\Phi_{Si} = \chi + \frac{E_g}{2} + \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{N_A}{ni} \right)$$

$$\therefore \Phi_{MS} = -0,6 - \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{N_A}{ni} \right)$$

M=alumínio

S = silício(p)

Φ_F



- Influência de C_{ox}

$$C_{ox} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_{SiO_2}}{X_{ox}}$$

ESPESSURA DO ÓXIDO:

$X_{ox} \downarrow \rightarrow C_{ox} \uparrow \rightarrow V_T \downarrow$

MUDANÇA DE MATERIAL (ϵ):

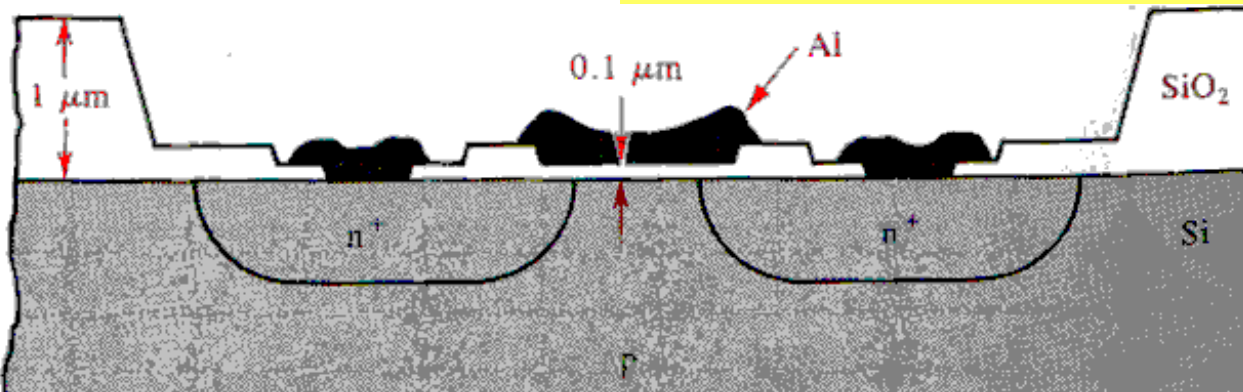
$\epsilon_{SiO_2} = 3,9$, $\epsilon_{Si_3N_4} = 7$

- Influência de Q_{ss}

QUALIDADE DO ÓXIDO $\rightarrow Q_{ss}$

$Q_{ss} \downarrow \rightarrow V_T \uparrow$

Si <111> $\rightarrow Q_{ss} = 10 \times$ Si <100>



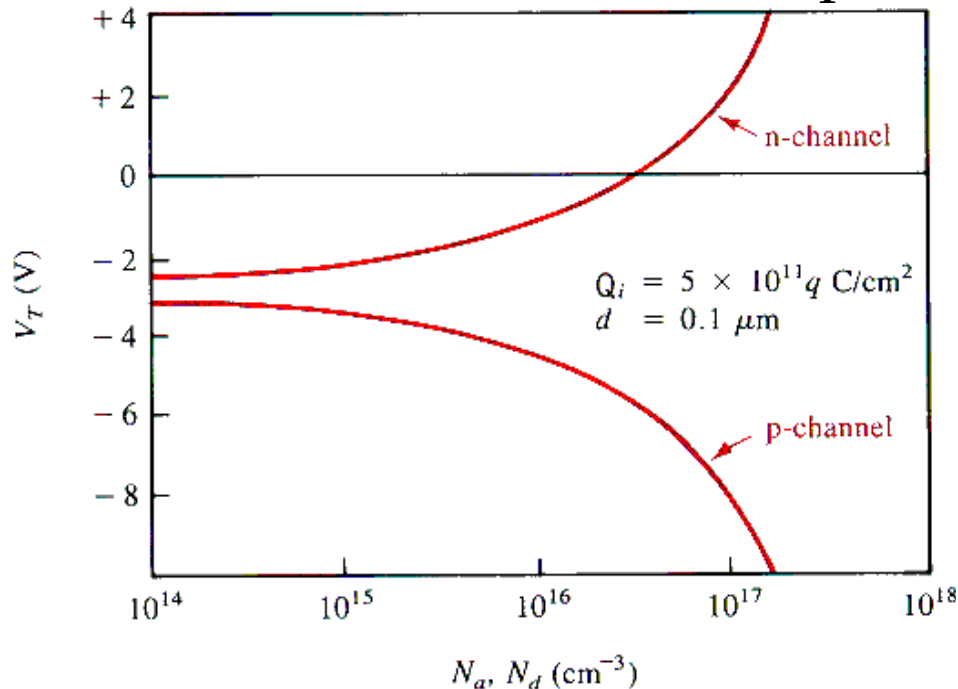
- Influência de $Q_{\text{depleção}}$

ESPESSURA DO ÓXIDO:

$$Q_{\text{depleção}} \uparrow \rightarrow V_T \uparrow$$

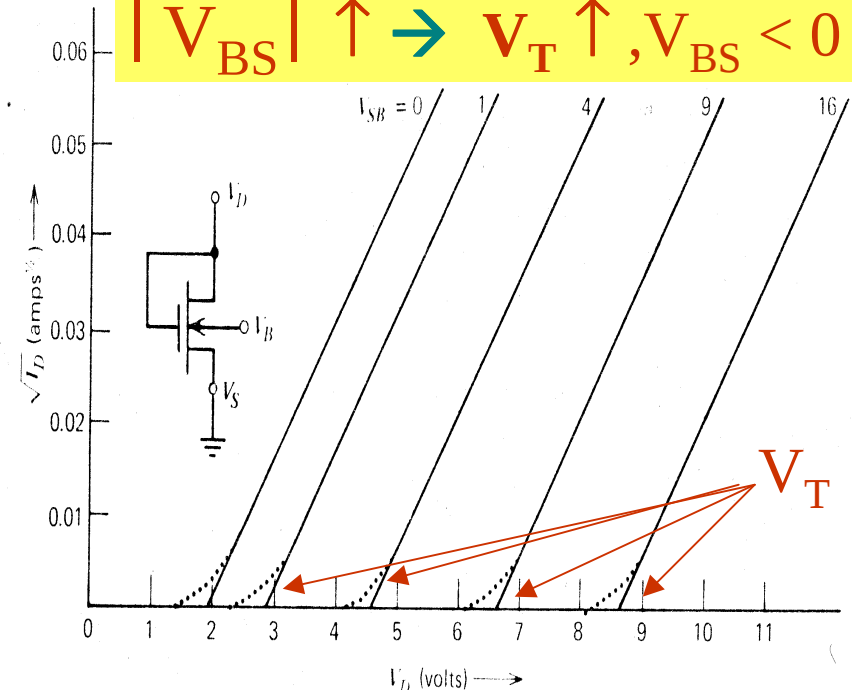
$$Q_{\text{depl. max.}} = \sqrt{2q\epsilon_{Si}Na(2\Phi_F + |V_{BS}|)}$$

Influência total dos dopantes do substrato no valor de V_T



Influência da polarização do substrato V_{BS} no valor de V_T

$$|V_{BS}| \uparrow \rightarrow V_T \uparrow, V_{BS} < 0$$



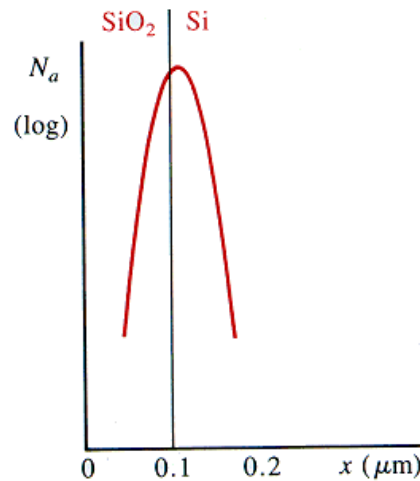
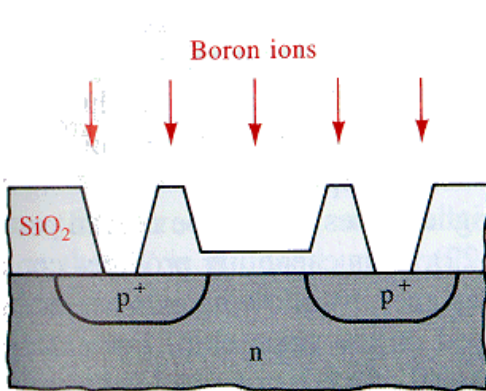
- Influência da Q_{ii} → **carga de implantação iônica (ajuste de V_T)**

A carga de implantação para ajuste de V_T pode ser considerada um valor adicional na expressão matemática de V_T , criando uma tensão que irá aumentar ou diminuir V_T , dependendo do dopante utilizado.

$$V_T = \Phi_{MS} - \frac{Q_{ox}}{C_{ox}} + \frac{Q_{depl_{max}}}{C_{ox}} + 2\Phi_F + \frac{Q_{ii}}{C_{ox}}$$

$$\therefore V_{Tf} = V_{Ti} + \frac{Q_{ii}}{C_{ox}}$$

c / ii s / ii

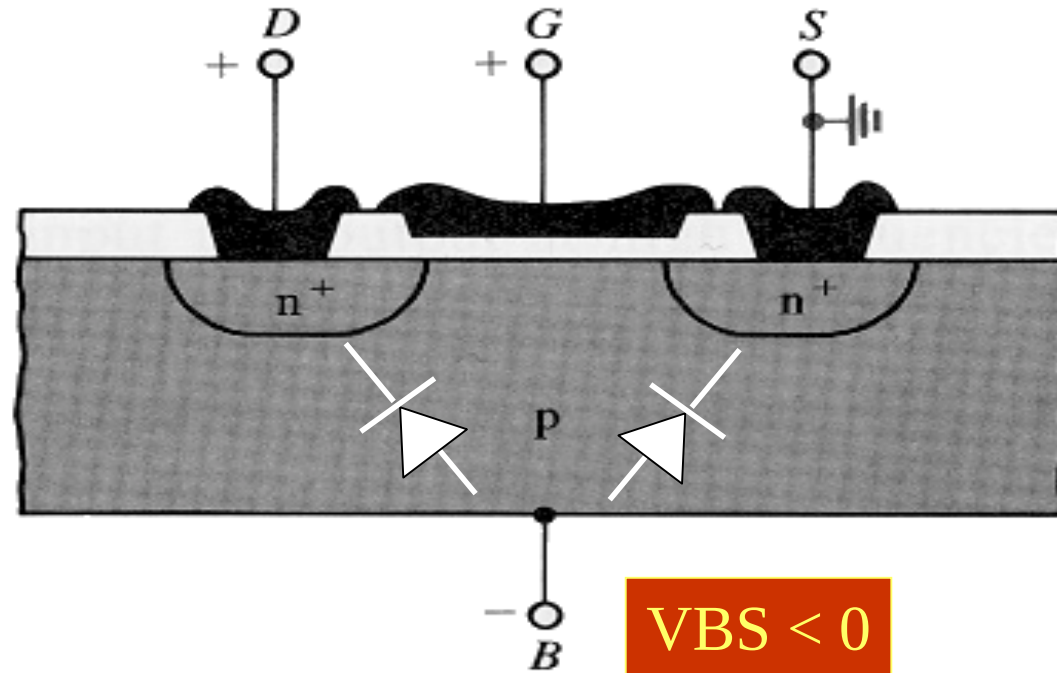


$$Q_{ii} = \pm q Dose$$

+ → **dopante tipo P**

- → **dopante tipo N**

- Polarização do substrato



Para promover a elevação de V_T , aplica-se um potencial ao substrato de modo a elevar a carga de depleção da estrutura MOS. O potencial aplicado ao substrato deve polarizar reversamente as junções substrato-dreno e substrato-fonte. Logo para nMOS $V_{BS} < 0$ e para pMOS $V_{BS} > 0$.

• **Constante de Efeito de Corpo (γ)** : - parâmetro tecnológico que avalia a influência do substrato (corpo do transistor) no funcionamento do transistor.

Como:

$$V_T = \Phi_{MS} - \frac{Q_{ox}}{C_{ox}} + \frac{\sqrt{2q\epsilon_{Si}N_A(2\Phi_F + |V_{BS}|)}}{C_{ox}} + 2\Phi_F$$

$$\gamma = \frac{\sqrt{2q\epsilon_{Si}N_A}}{C_{ox}}$$

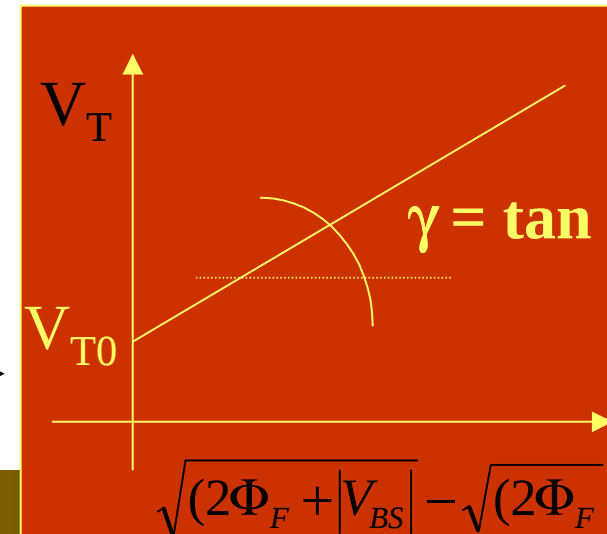
$$\rightarrow V_T = \Phi_{MS} - \frac{Q_{ox}}{C_{ox}} + \gamma \cdot \sqrt{(2\Phi_F + |V_{BS}|)} + 2\Phi_F \quad 1$$

Chamando V_{T0} , o valor de V_T para $V_{BS}=0$, tem-se:

$$\rightarrow V_{T0} = V_T(V_{BS} = 0) = \Phi_{MS} - \frac{Q_{ox}}{C_{ox}} + \gamma \cdot \sqrt{2\Phi_F} + 2\Phi_F \quad 2$$

Combinando as expressões 1 e 2 vem:

$$V_T = V_{T0} + \gamma \cdot \left(\sqrt{(2\Phi_F + |V_{BS}|)} - \sqrt{(2\Phi_F)} \right) \Rightarrow$$

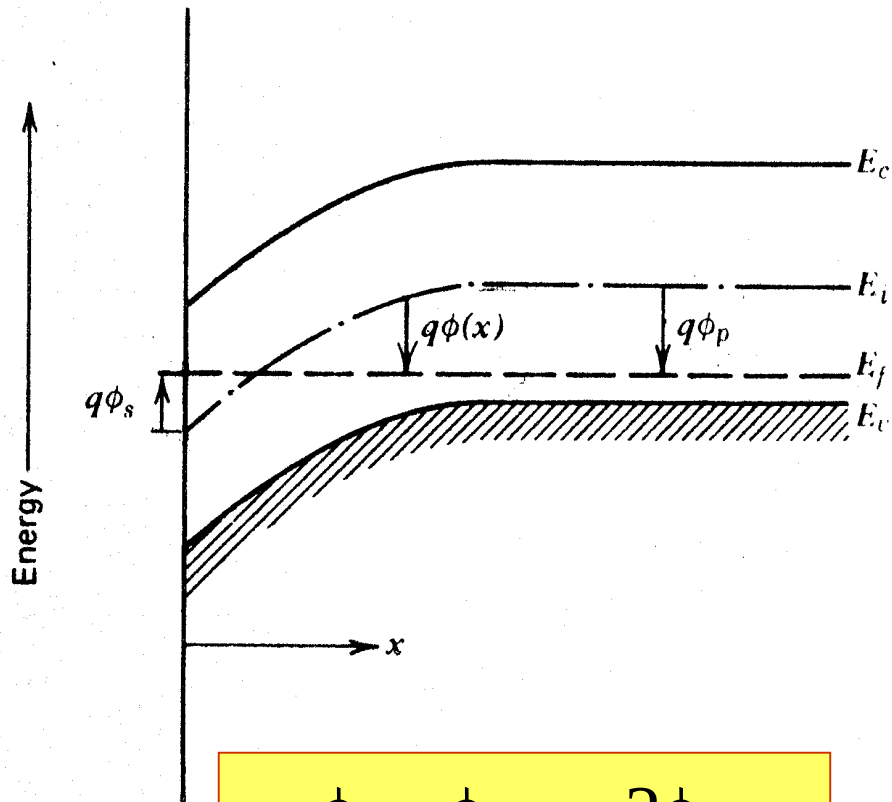


- **Níveis de Quasi-Fermi** : o nível de Fermi do semicondutor (E_F) é, na verdade, composto por duas parcelas :
 - nível de quasi-Fermi dos portadores majoritários (E_{FP} para semicondutor tipo P)
 - nível de quasi-Fermi dos portadores majoritários (E_{FN} para semicondutor tipo N)

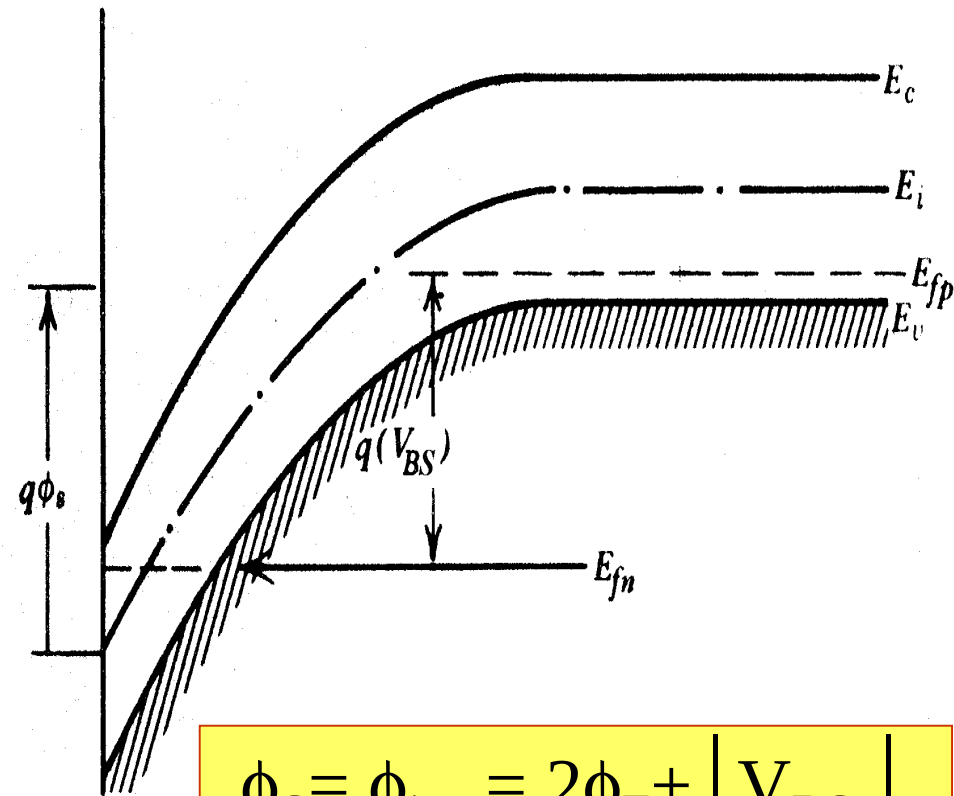
Sem a presença de potencial aplicado ao substrato ($V_{BS}=0$), os níveis de quasi-Fermi dos portadores majoritários e minoritários são coincidentes, resultando em apenas um nível energético.



Apenas o nível de quasi-Fermi dos portadores minoritários é afetado pela aplicação de um potencial externo. Logo sofrerá um deslocamento de potencial igual ao potencial aplicado externamente.



$$\phi_S = \phi_{inv.} = 2\phi_F$$



$$\phi_S = \phi_{inv.} = 2\phi_F + |V_{BS}|$$