

5. Capacitor MOS - real

Capacitor MOS real

- Função trabalho do metal é diferente da função trabalho no silício ou

$$\phi_{MS} = \phi_{\text{Metal}} - \phi_{\text{silício}} \neq 0$$

- Isolante com cargas em seu interior ($Q_{ox} \neq 0$)

Variação de ϕ_{MS} com a dopagem

Metais

$$\phi_{Al} = 4,1 \text{ eV}$$

$$\phi_{si-poli(n)} = E_c = \chi = 4,15 \text{ eV}$$

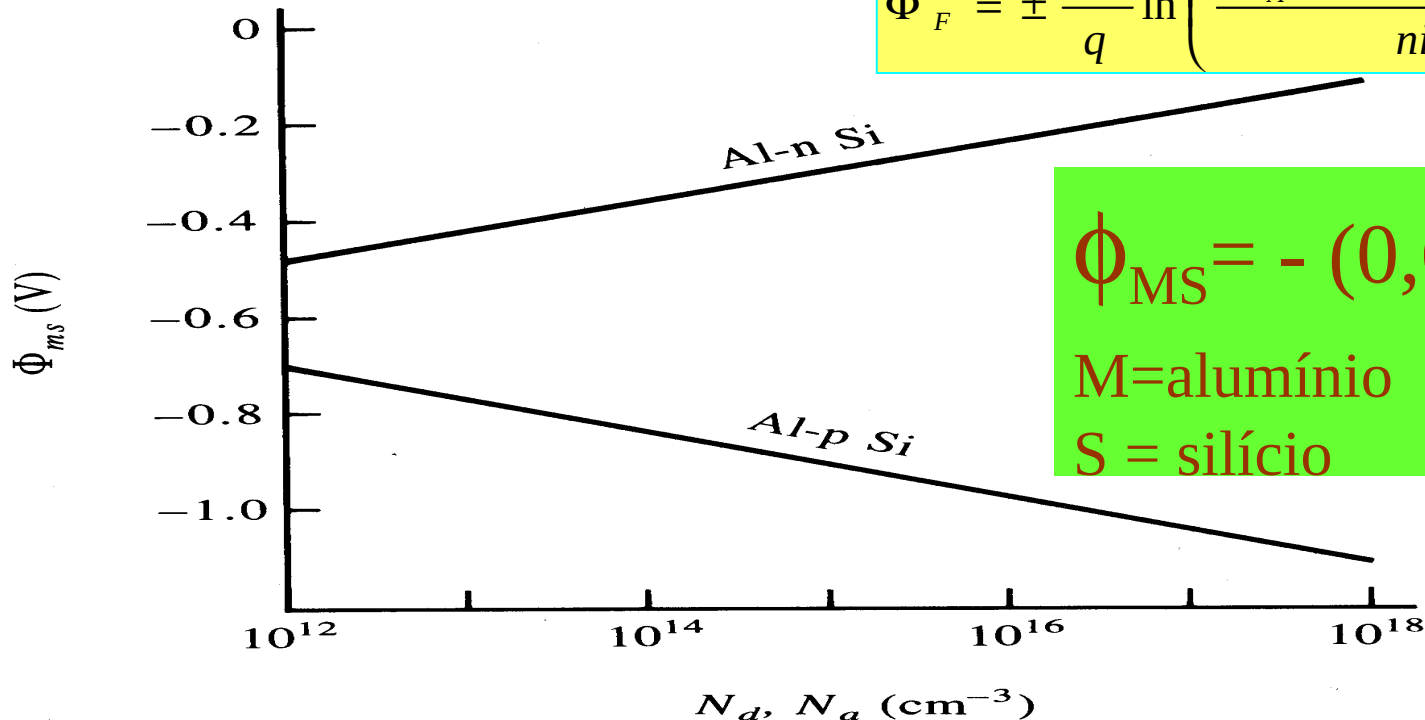
$$\phi_{si-poli(p)} = E_v = \chi + E_g = 5,25 \text{ eV}$$

Silício

$$\phi_{si(p)} = \chi + E_g/2 + \phi_F = 4,7 + \phi_F$$

$$\phi_{si(n)} = \chi + E_g/2 - \phi_F = 4,7 - \phi_F$$

$$\Phi_F = \pm \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{N_A (+) \text{ ou } N_D (-)}{ni} \right)$$



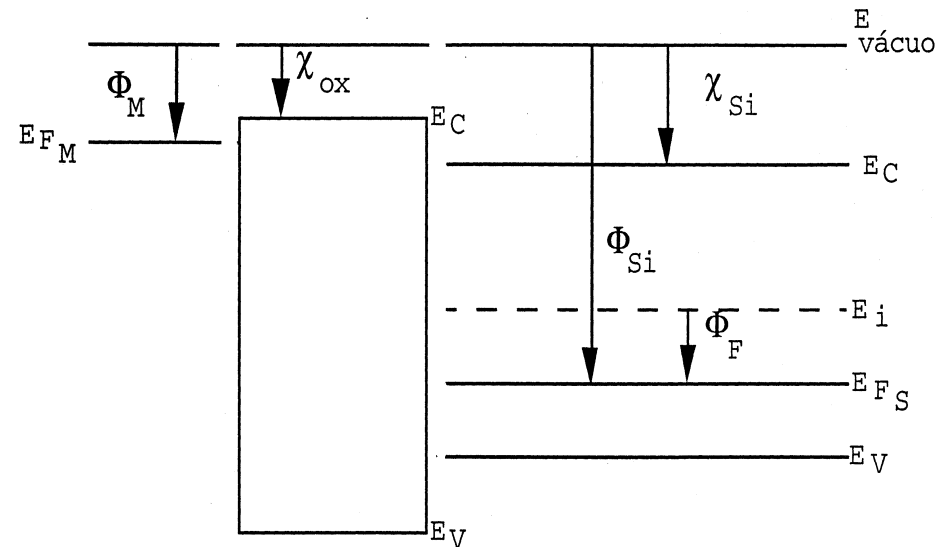
$$\phi_{MS} = - (0,6 + \phi_F)$$

M=alumínio

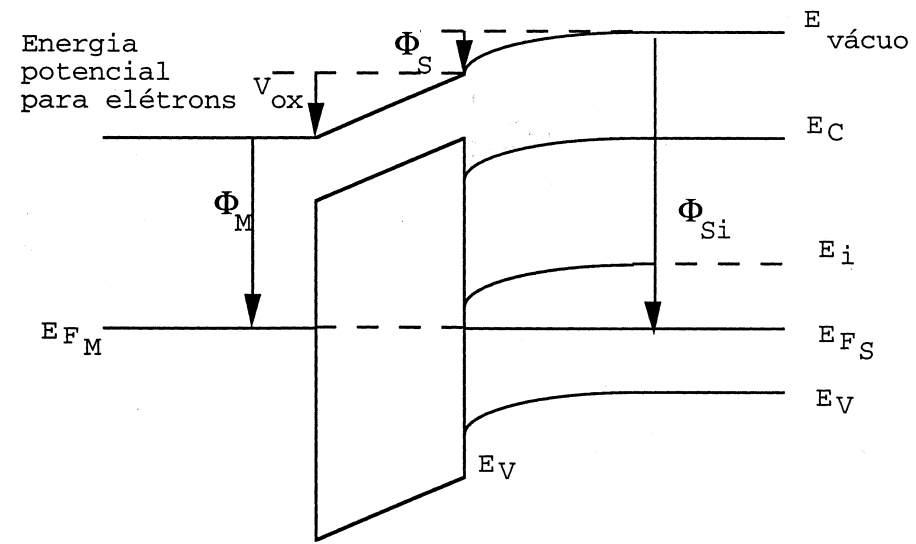
S = silício

Capacitor MOS com $\phi_{MS} \neq 0$ - diagrama de bandas

Antes do contato

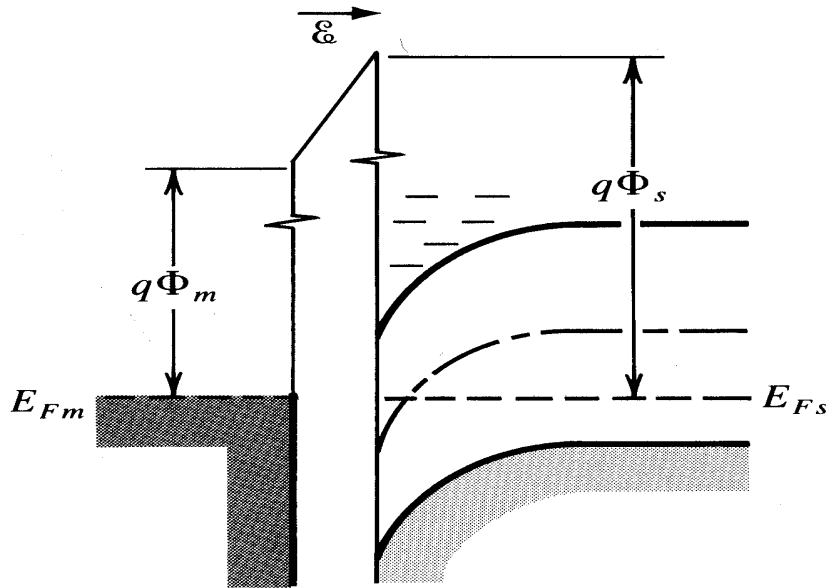


Após o contato

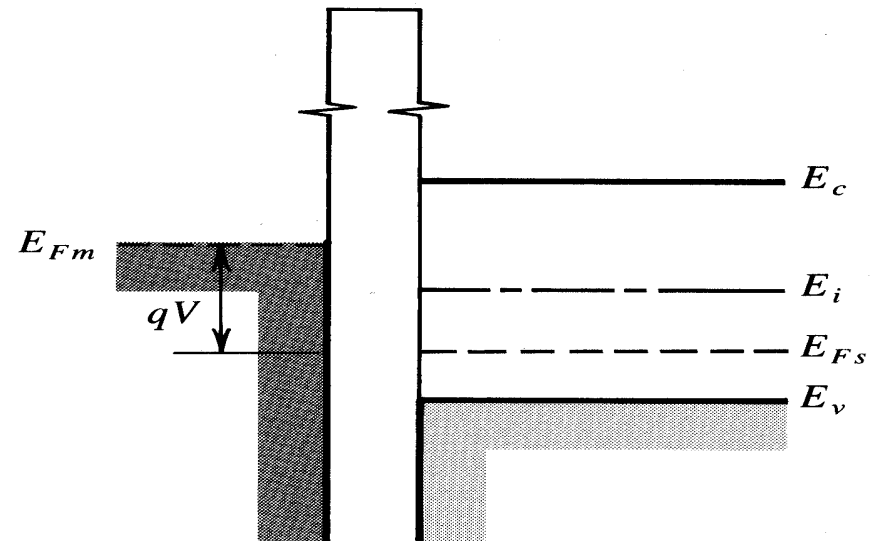


Neste exemplo ($\phi_{MS} < 0$, capacitor tipo P), o metal apresenta elétrons com mais energia que o semicondutor (níveis de Fermi), logo após o contato há uma transferência de elétrons do metal para o semicondutor gerando íons negativos e uma região de depleção ou até mesmo inversão.

Condição de Banda Plana (FB)



(a) Equilibrium
 $V = 0$



(b) Flat band
 $V = V_{FB} = \Phi_{ms}$

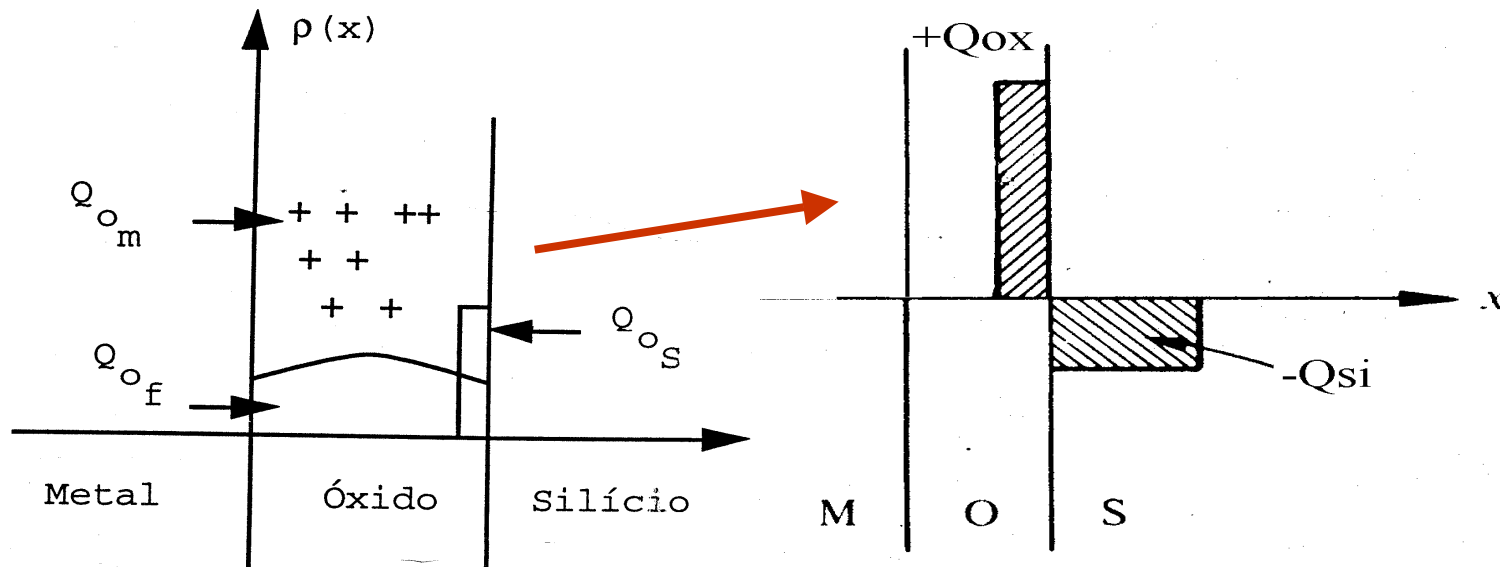
$$V_G = \phi_{MS} + \phi_s + V_{ox}$$

Condição de banda plana:

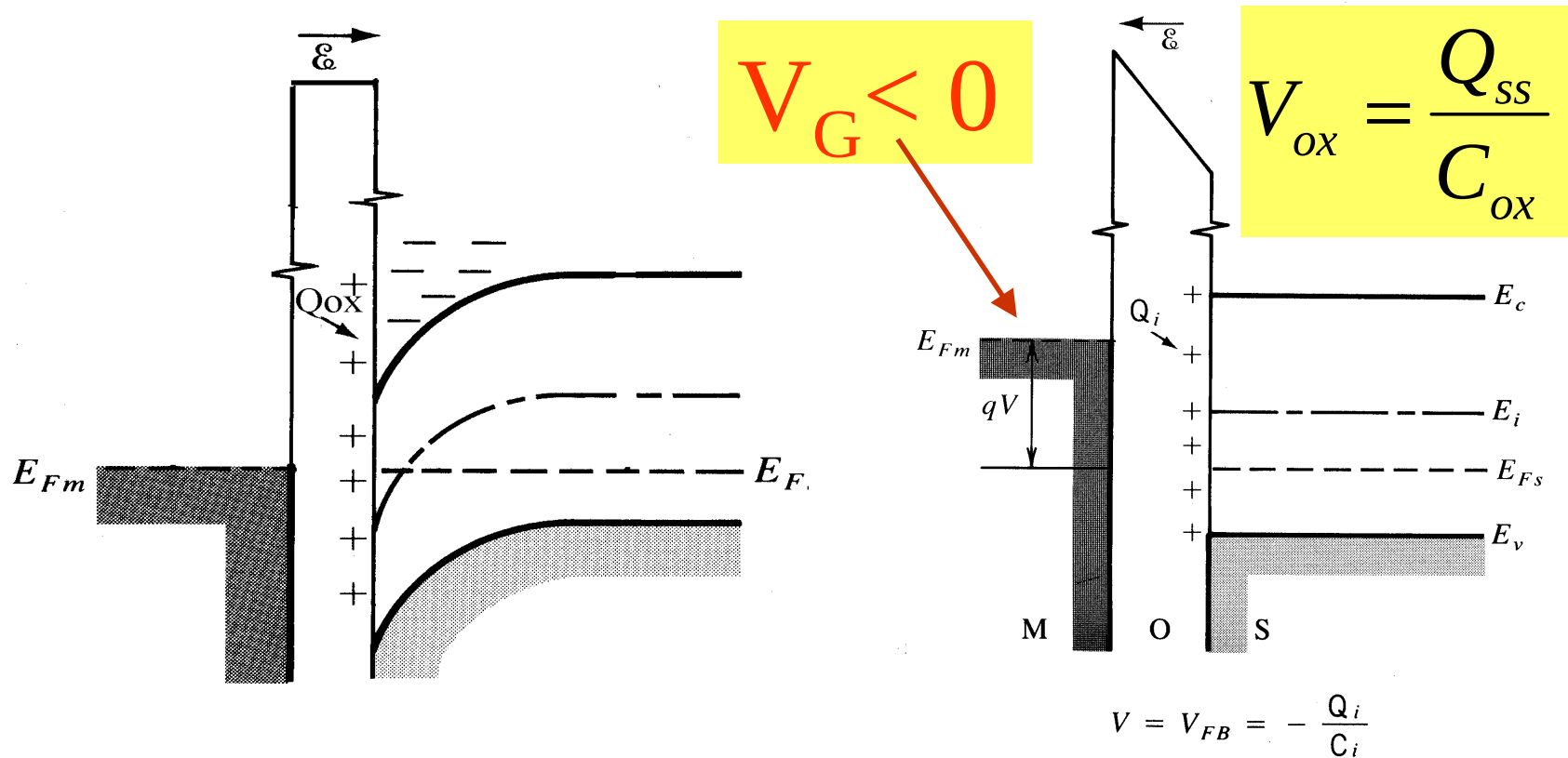
$$\begin{aligned} \phi_s + V_{ox} &= 0 \\ \Rightarrow V_G &= V_{FB} = \phi_{MS} \end{aligned}$$

Capacitor MOS com Isolante com cargas em seu interior ($Q_{ox} \neq 0$)

- Cargas distribuídas aleatoriamente, móveis (Q_{om}), fixas (Q_{of}) e de interface (Q_{os}).
- Resultante de cargas = positiva (Q_{ss}), localizada na interface SiO_2 / Si .



Condição de Banda Plana (FB) no Silício



$$V_G = \phi_{MS} + \phi_s + V_{ox}$$

Condição de banda plana:

$$\Rightarrow V_G = V_{FB} = -(Q_{ss}/C_{ox})$$

Equacionamento geral para o capacitor MOS (P)

$$V_G = \Phi_{MS} + V_{ox} + \phi_s$$

$$\blacksquare 1. V_{ox} = \frac{Q_m}{C_{ox}} = -\frac{(Q_{Si_{depleção}} + Q_{ss})}{C_{ox}} = -\frac{(-qN_A x_d + Q_{ss})}{C_{ox}}$$

$$\blacksquare 2. V_{FB} = \Phi_{MS} - \frac{Q_{ss}}{C_{ox}}$$

Tensão de banda plana

$$\blacksquare 3. \phi(x=0) = \phi_s = +\frac{qN_A x_d^2}{2\epsilon_{Si}} \quad \Rightarrow \quad x_d = \sqrt{\frac{2\epsilon_{Si}\Phi_s}{qN_A}}$$

$$\therefore V_G = \Phi_{MS} - \frac{Q_{ss}}{C_{ox}} + \frac{\sqrt{2qN_A\epsilon_{Si}\phi_s}}{C_{ox}} + \phi_s$$

Determinação do potencial de inversão (V_T - limiar) do capacitor MOS

- Condição de inversão: $\phi_s = 2\phi_F$
- Na equação geral fica:

$$V_T = V_G (\Phi_s = 2\Phi_F) = \overbrace{\Phi_{MS}}^{V_{FB}} - \frac{Q_{ss}}{C_{ox}} \pm \frac{\sqrt{4q\epsilon_{Si} N_{A,D} \Phi_F}}{C_{ox}} + 2\Phi_F$$

■ Substrato P

Substrato N

$$V_T = \Phi_{MS} - \frac{Q_{ss}}{C_{ox}} + \frac{\sqrt{4q\epsilon_{Si} N_A \Phi_F}}{C_{ox}} + 2\Phi_F$$

$$V_T = \Phi_{MS} - \frac{Q_{ss}}{C_{ox}} - \frac{\sqrt{4q\epsilon_{Si} N_D \Phi_F}}{C_{ox}} + 2\Phi_F$$

Regiões de operação dos capacitores MOS - Reais

SUBSTRATO TIPO P

$V_G < V_{FB} \rightarrow$ acumulação
($\phi_S < 0$)

$V_G = V_{FB} \rightarrow$ banda plana
($\phi_S = 0$)

$V_{FB} < V_G < V_T \rightarrow$ depleção
($0 < \phi_S < 2\phi_F$)

$V_G \geq V_T \rightarrow$ inversão
($\phi_S \geq 2\phi_F$)

SUBSTRATO TIPO N

$V_G > V_{FB} \rightarrow$ acumulação
($\phi_S > 0$)

$V_G = V_{FB} \rightarrow$ banda plana
($\phi_S = 0$)

$V_T < V_G < V_{FB} \rightarrow$ depleção
($2\phi_F < \phi_S < 0$)

$V_G \leq V_T \rightarrow$ inversão
($\phi_S \leq 2\phi_F$)