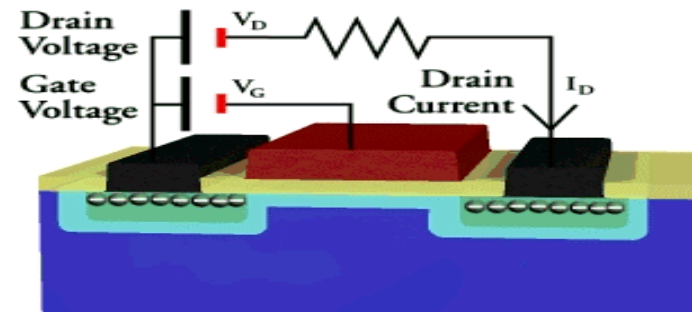


The background is a solid dark blue color. Overlaid on this background are several dark blue, semi-transparent gear shapes of various sizes, some of which are interlocking. Two vertical white lines are positioned on the left and right sides of the slide, extending from the top to the bottom.

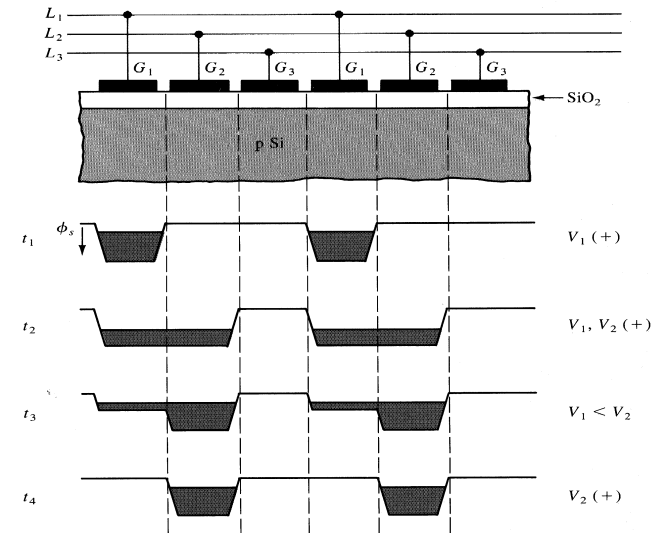
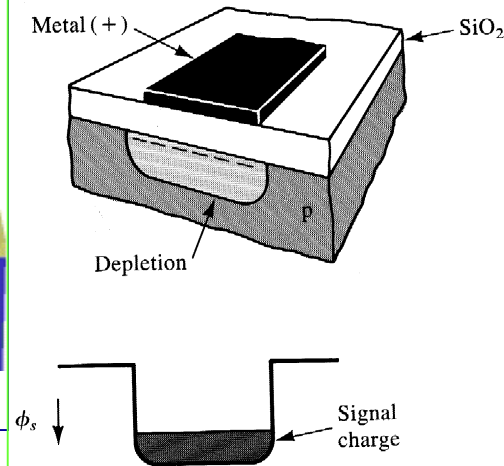
3. Capacitor MOS

Aplicações dos capacitores MOS

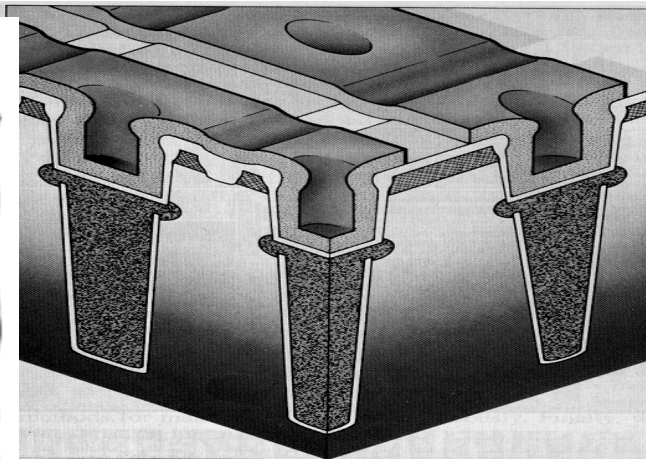
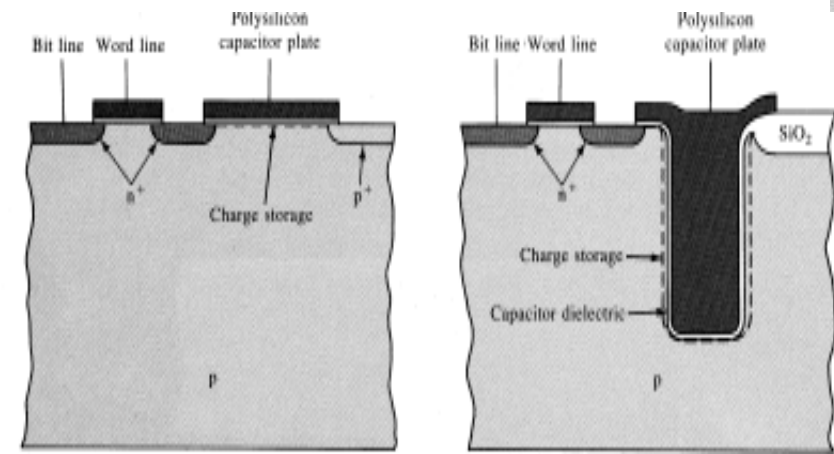
TRANSISTOR MOS



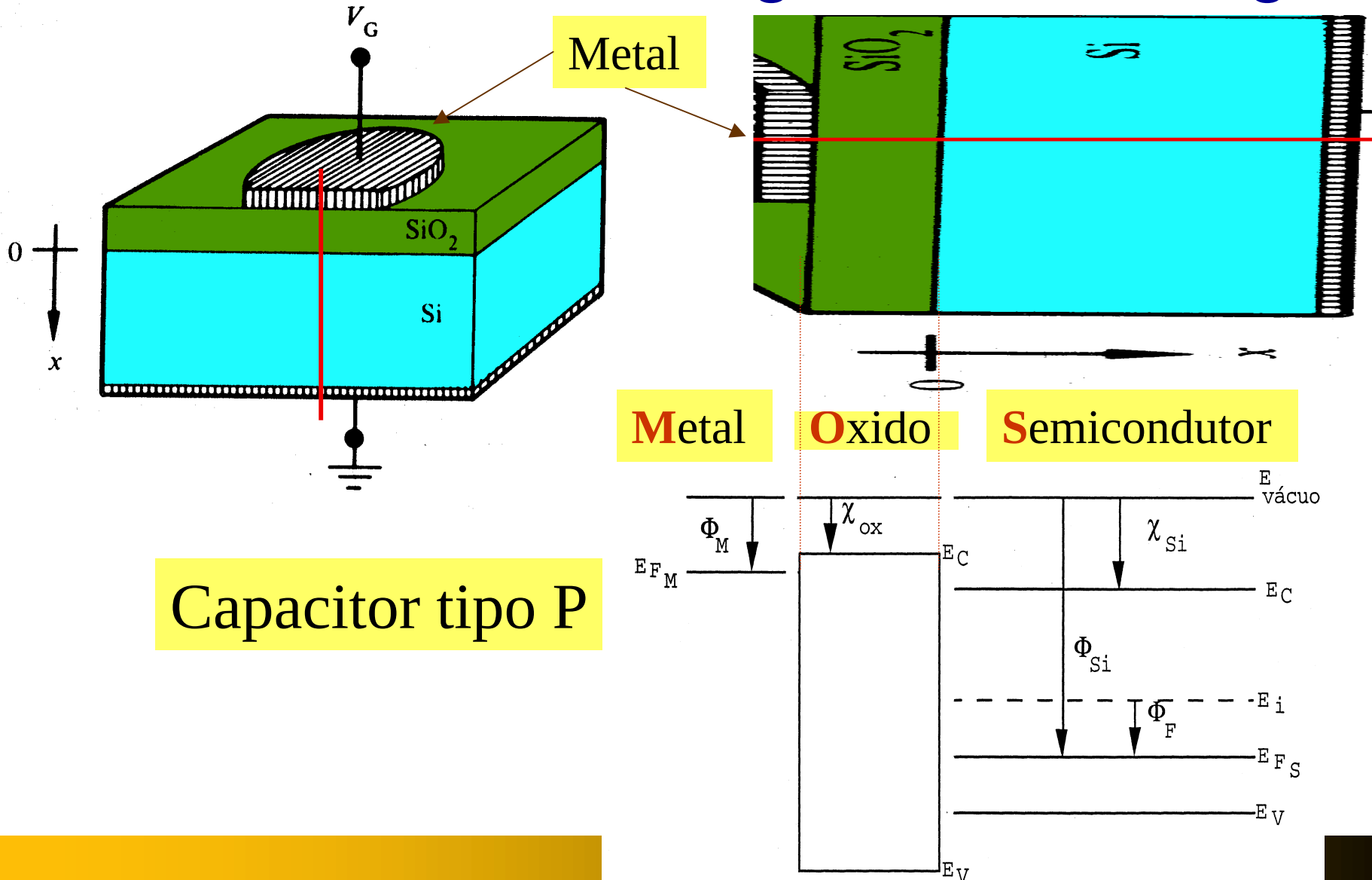
CCD's



DRAM



Estrutura MOS e diagrama de energia



Capacitor tipo P



3.1 Capacitor MOS Ideal

Capacitor MOS ideal

- Função trabalho do metal é igual à função trabalho no silício ou

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

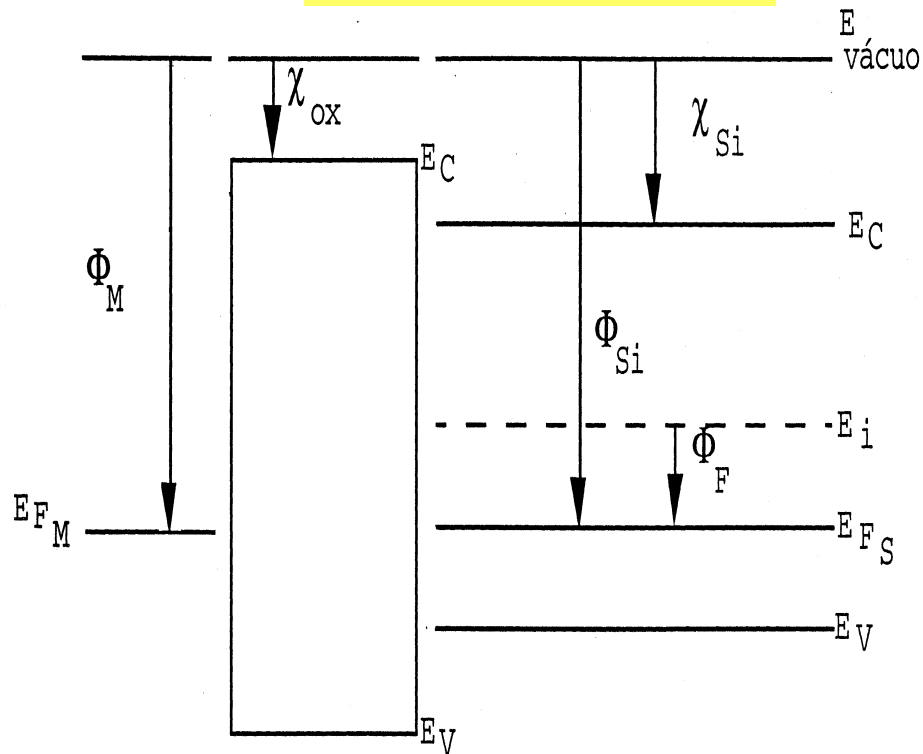
- Isolante ideal - sem cargas em seu interior ($Q_{ox} = 0$)

3.1.1 Capacitor MOS Ideal

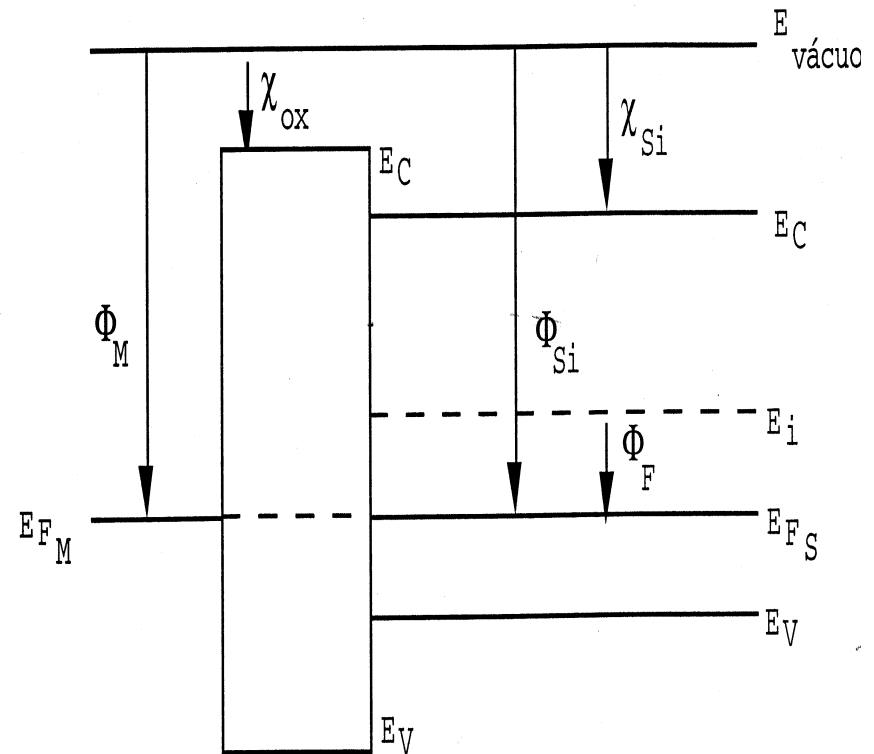
Tipo P $\rightarrow$ substrato Si(p)

Diagrama de bandas antes e após contato (equilíbrio termodinâmico)

Antes do contato



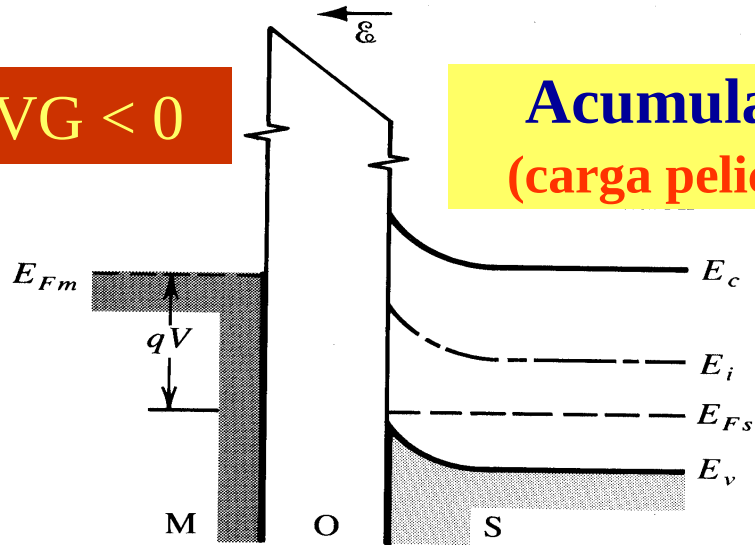
Após o contato



Condições de polarização - Capacitor tipo P

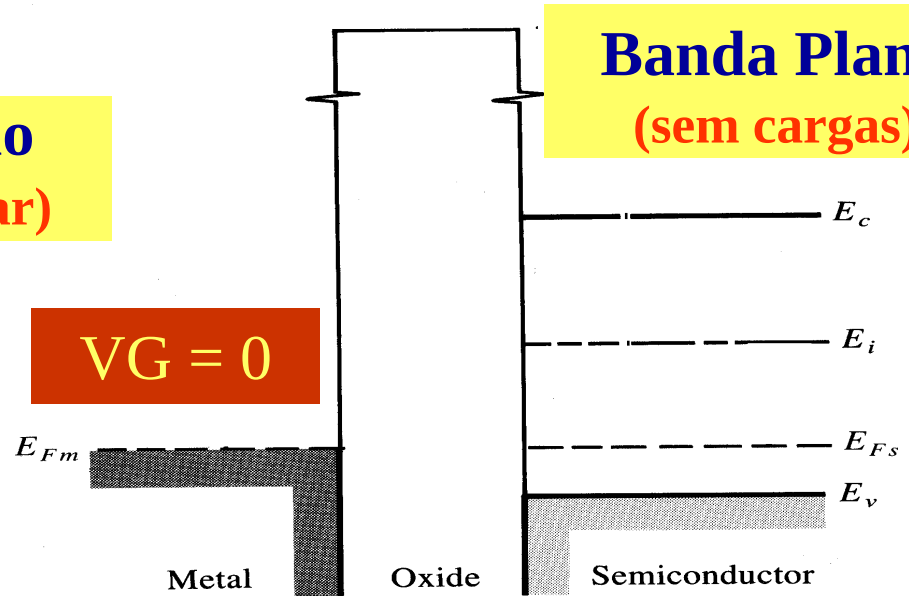
$$V_G < 0$$

Acumulação
(carga pelicular)



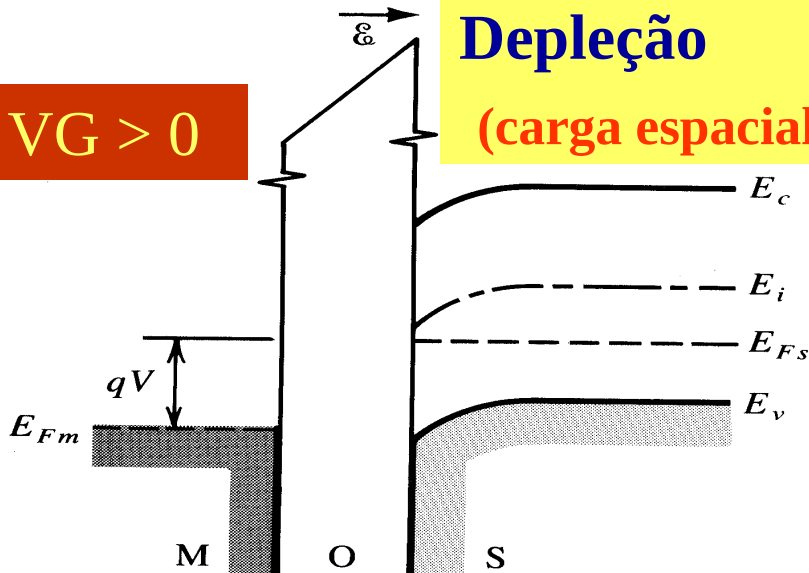
$$V_G = 0$$

Banda Plana
(sem cargas)



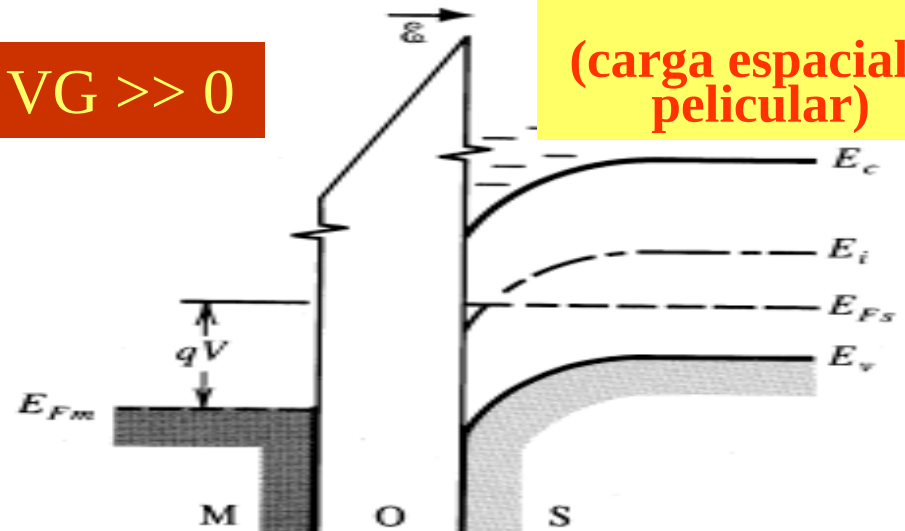
$$V_G > 0$$

Depleção
(carga espacial)

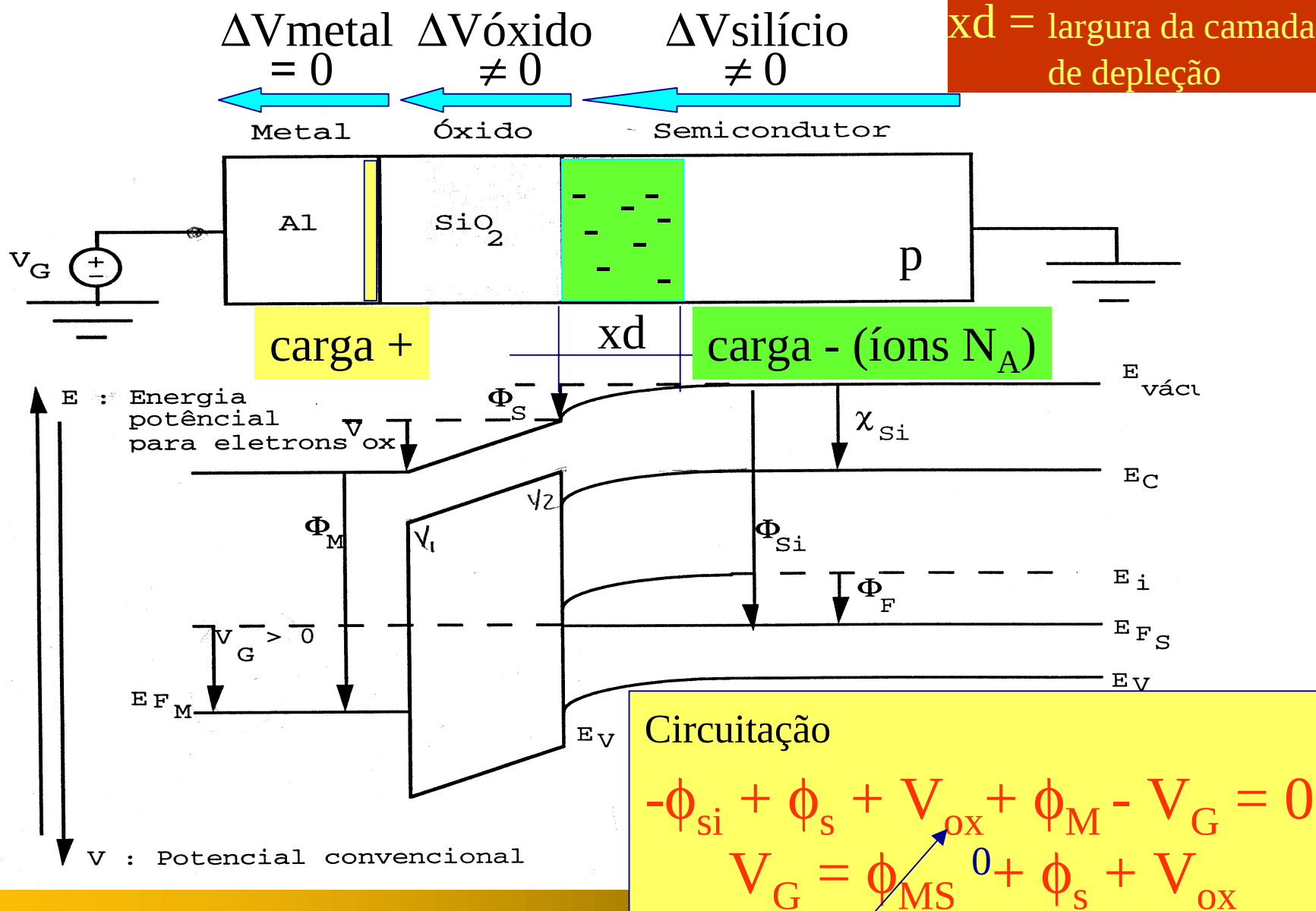


$$V_G \gg 0$$

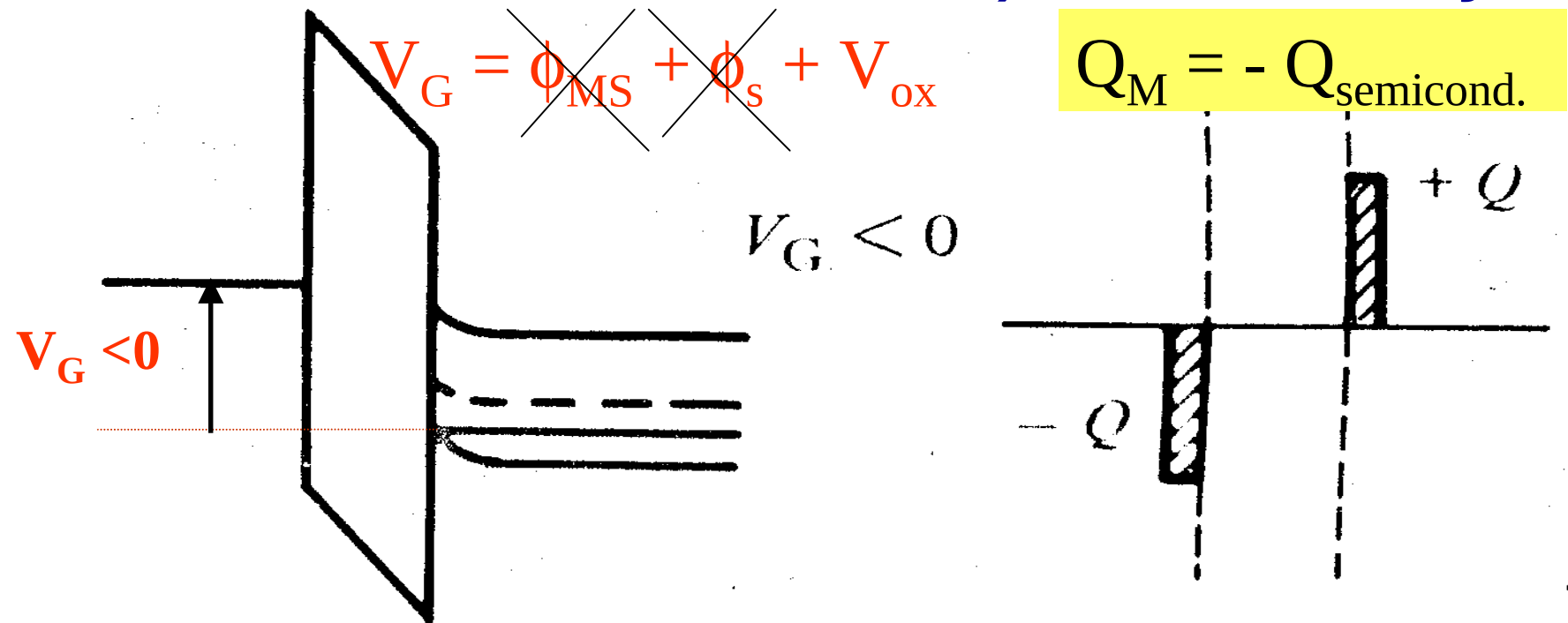
Inversão
(carga espacial + pelicular)



Polarização do capacitor ($V_G > 0$) - fora do equilíbrio



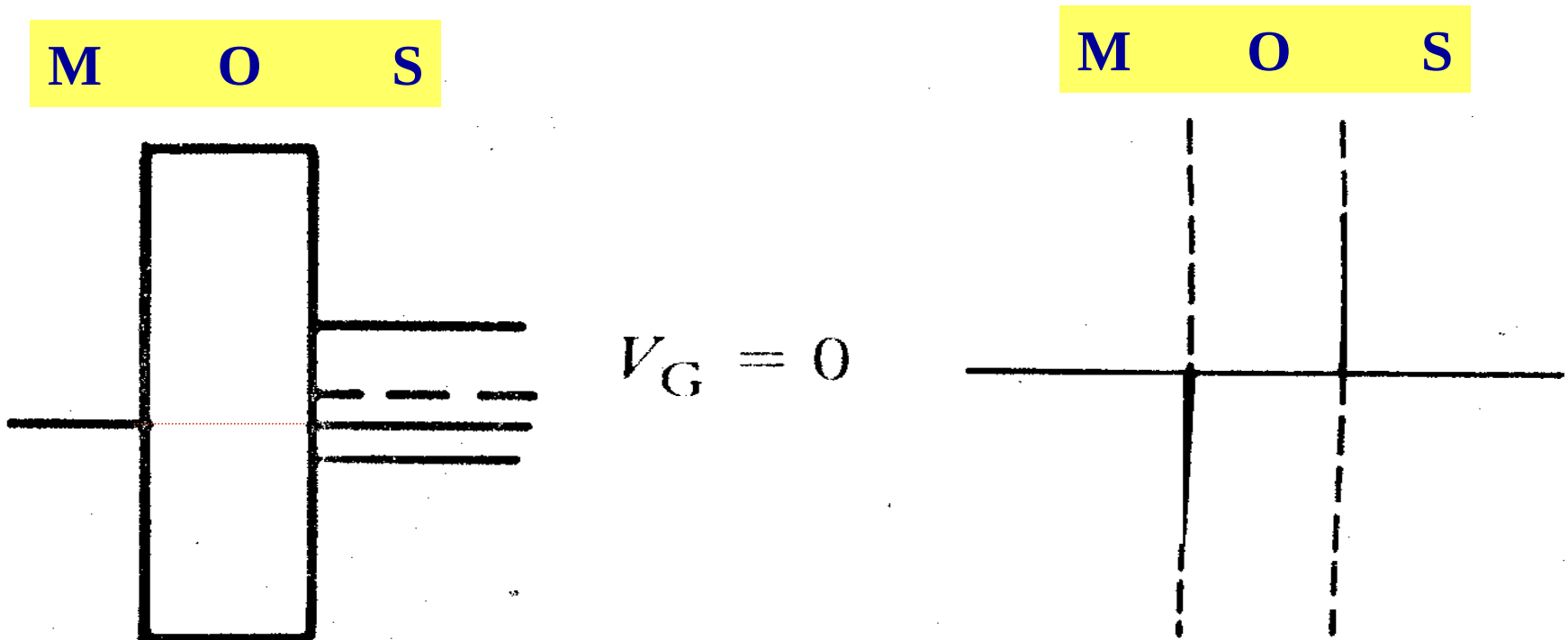
Capacitor tipo P (ideal) - acumulação



Ao se aplicar um potencial NEGATIVO na estrutura, surgem cargas negativas e peliculares no metal (Q_M) e no semicondutor cargas peliculares positivas ($Q_{\text{semic.}}$).

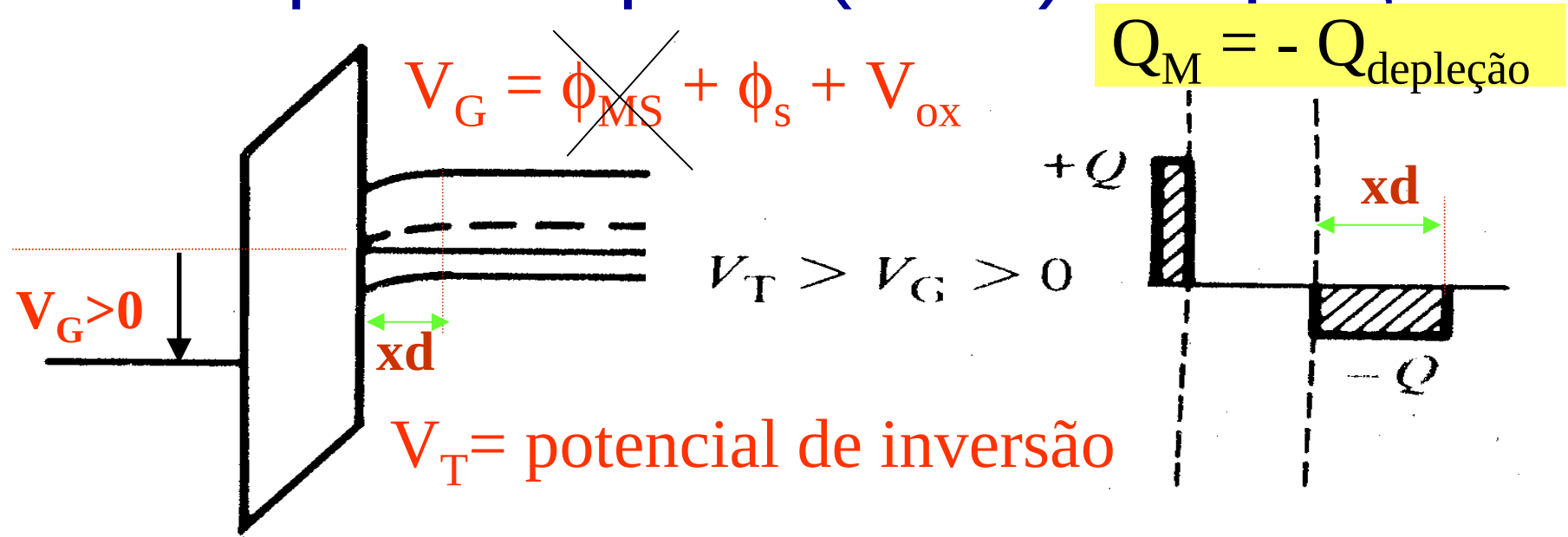
O diagrama de bandas apresenta o potencial no óxido e a acumulação dos majoritários no silício.

Capacitor tipo P (ideal) - banda plana



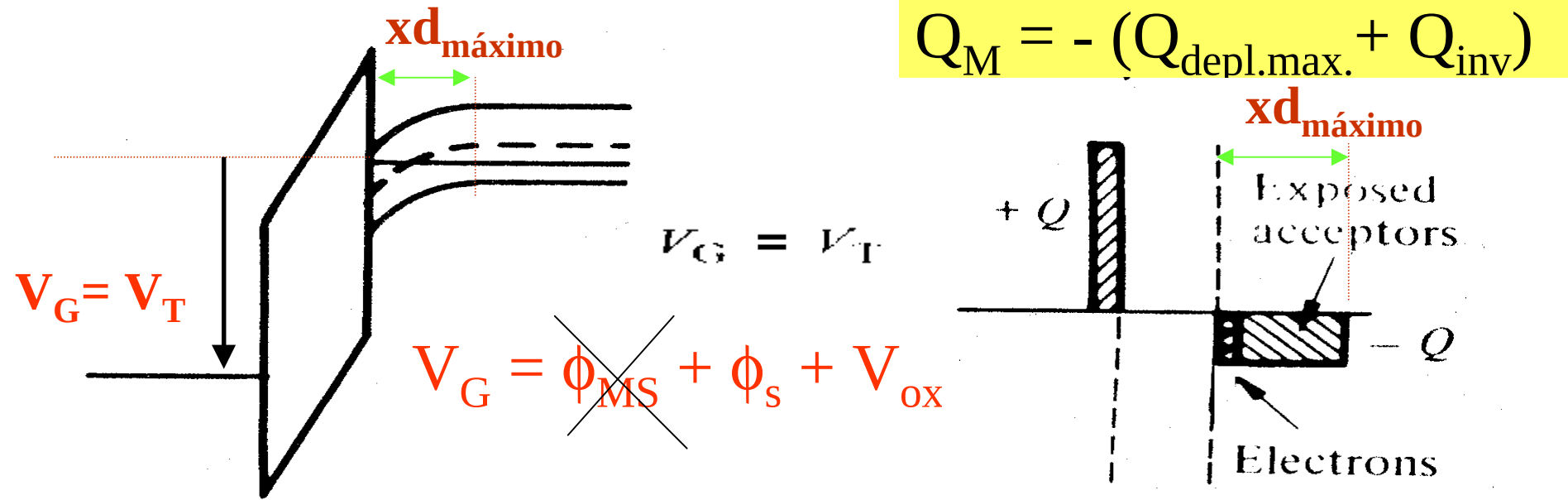
Como a estrutura está em equilíbrio termodinâmico, nenhuma carga é formada e o diagrama de bandas não apresenta encurvamentos (potenciais elétricos)

Capacitor tipo P (ideal) - depleção



Ao se aplicar um potencial POSITIVO na estrutura, surgem cargas positivas e peliculares no metal (Q_M) e no semiconductor cargas negativas devida aos íons (depleção $Q_{\text{depl.}}$), logo não mais peliculares e sim em profundidade. O diagrama de bandas apresenta o potencial no óxido e o potencial devido aos íons negativos.

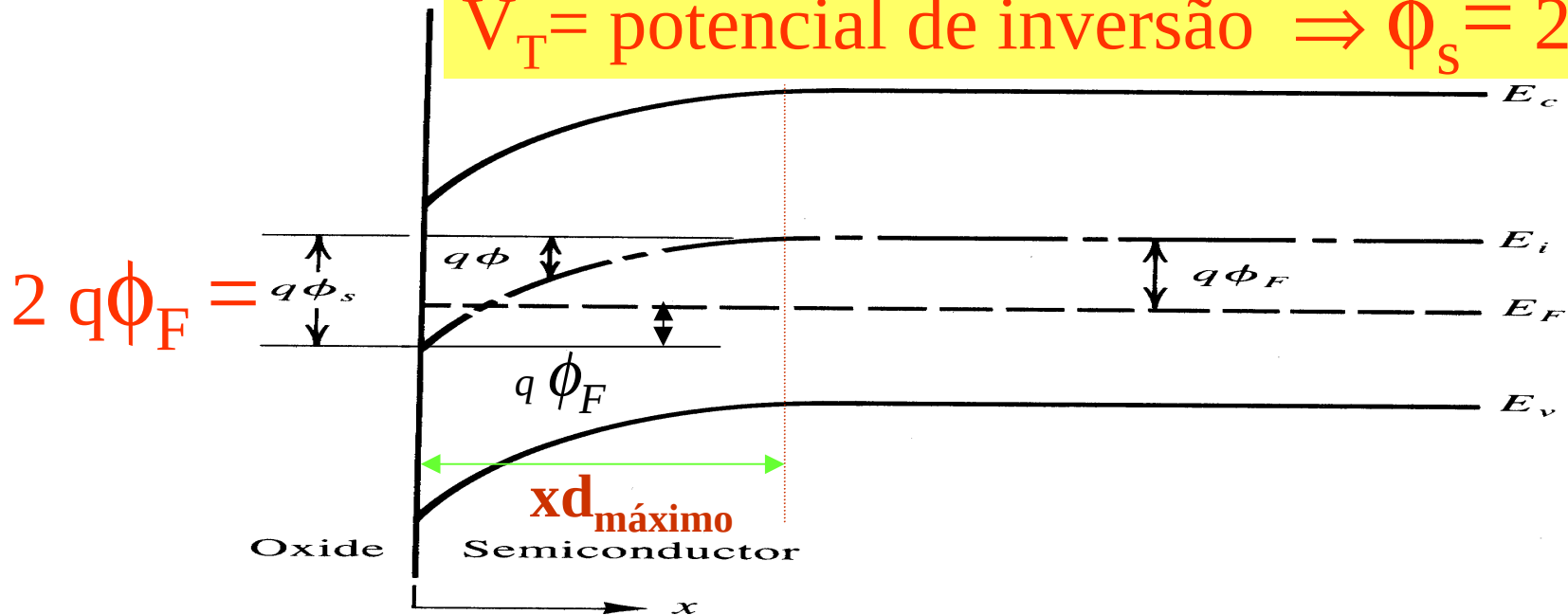
Capacitor tipo P (ideal) - limiar de inversão (1)



Ao se aplicar um potencial POSITIVO na estrutura, igual ao valor de inversão (V_T), o aumento de cargas positivas no metal é contrabalançado pela carga máxima de depleção ($Q_{\text{depl(max.)}}$) e novas cargas peliculares dos portadores minoritários - inversão - ($Q_{\text{inv.}}$).

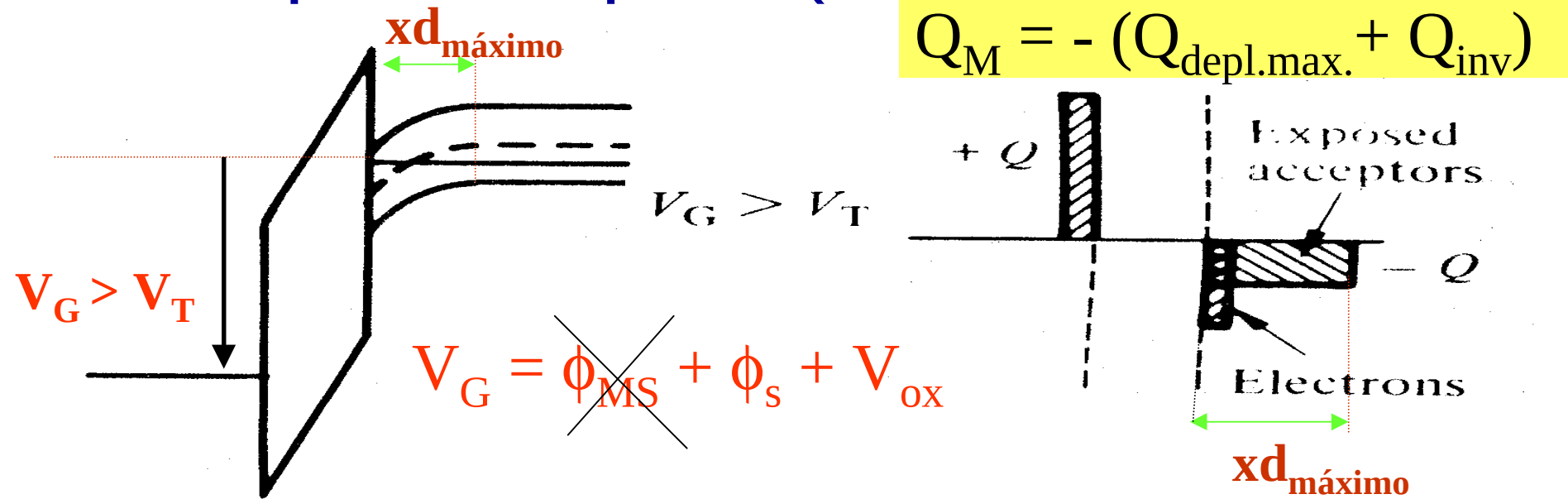
Capacitor tipo P (ideal) - limiar de inversão (2)

$$V_T = \text{potencial de inversão} \Rightarrow \phi_s = 2 \phi_F$$



Analizando o diagrama de energia no semicondutor, verifica-se que a condição de inversão é definida quando o potencial na superfície do silício (ϕ_s) apresenta o valor $\phi_s = 2 \phi_F$. Observa-se claramente que na superfície há uma inversão de portadores representado por ϕ_F .

Capacitor tipo P (ideal) - inversão



Ao se aplicar um potencial POSITIVO na estrutura, acima do valor de inversão (V_T), o aumento de cargas positivas no metal é contrabalançado pela carga máxima de depleção ($Q_{\text{depl(max.)}}$) e pelo aumento das cargas peliculares dos portadores minoritários - inversão - ($Q_{\text{inv.}}$).

Regiões de operação do capacitor tipo P Ideal

$V_G < 0 \rightarrow$ acumulação

$(\phi_S < 0)$

$V_G = 0 \rightarrow$ banda plana

$(\phi_S = 0)$

$0 < V_G < V_T \rightarrow$ depleção

$(0 < \phi_S < 2\phi_F)$

$V_G \geq V_T \rightarrow$ inversão

$(\phi_S \geq 2\phi_F)$

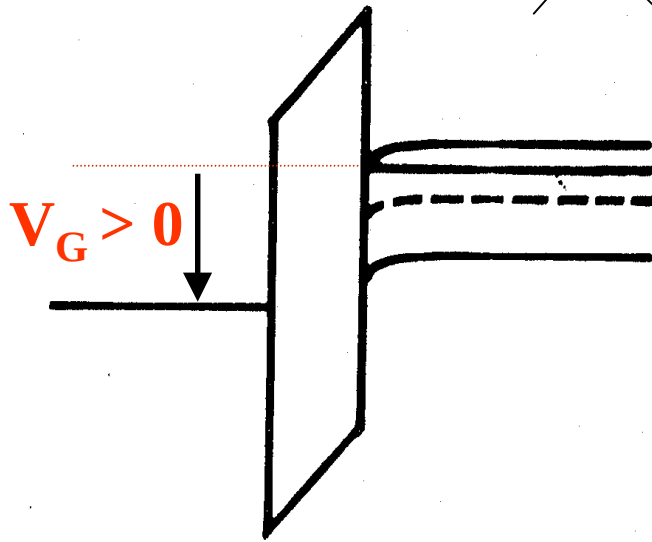
3.1.2 Capacitor MOS Ideal

Tipo N $\rightarrow$ substrato Si(n)

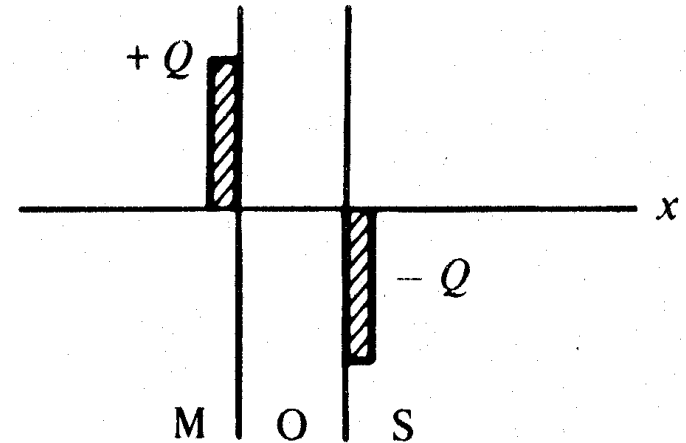
Capacitor tipo N (ideal) - acumulação

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

$$Q_M = -Q_{\text{semicond.}}$$



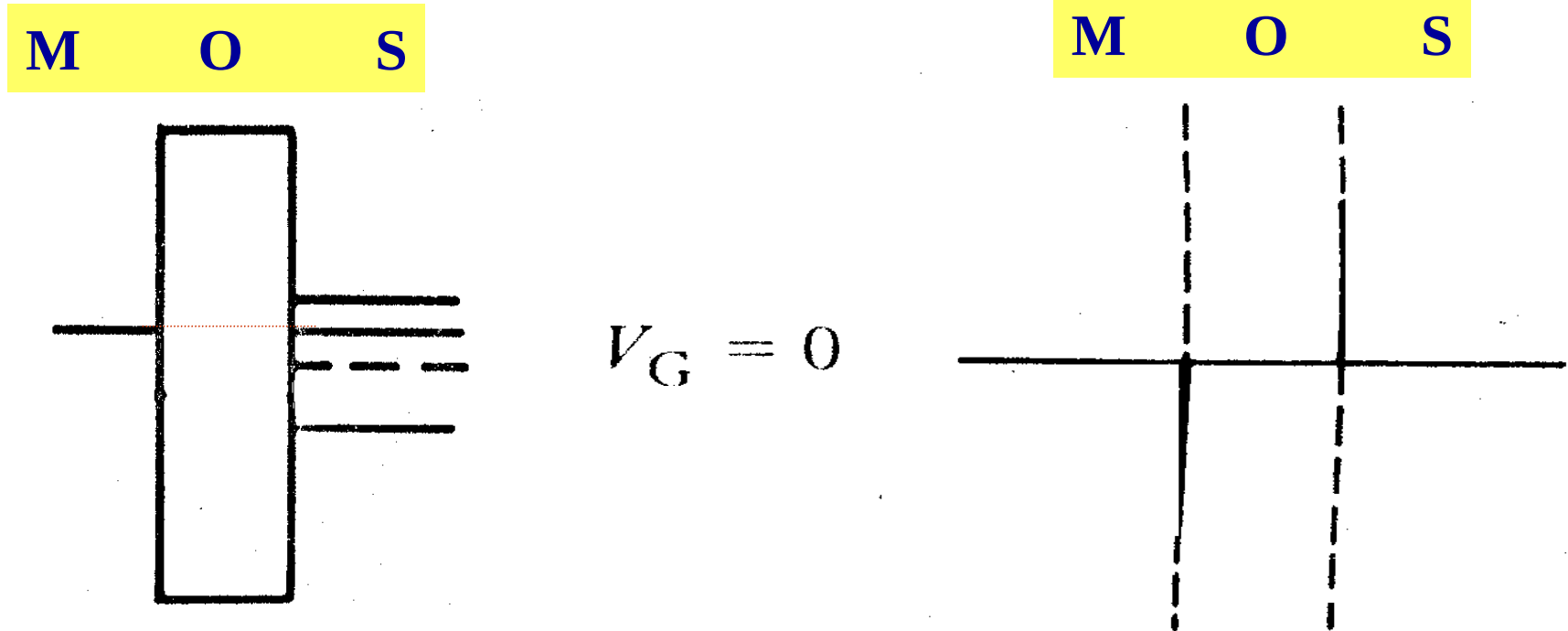
Accumulation
($V_G > 0$)



Ao se aplicar um potencial POSITIVO na estrutura, surgem cargas positivas e peliculares no metal (Q_M) e no semiconductor cargas peliculares negativas ($Q_{\text{semic.}}$).

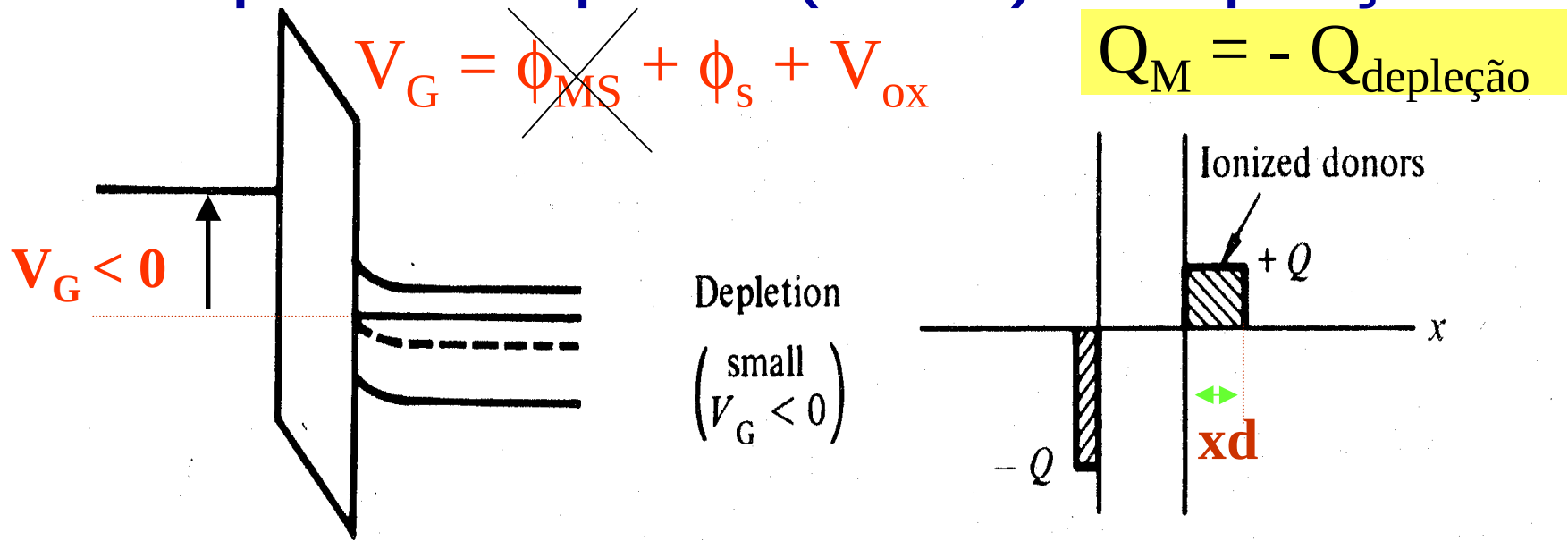
O diagrama de bandas apresenta o potencial no capacitor e a acumulação dos majoritários no silício.

Capacitor tipo N (ideal) - banda plana



Como a estrutura está em equilíbrio termodinâmico, nenhuma carga é formada e o diagrama de bandas não apresenta encurvamentos (potenciais elétricos)

Capacitor tipo N (ideal) - depleção



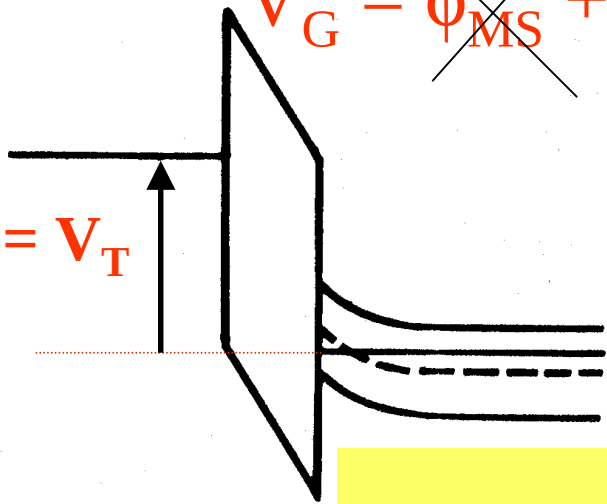
Ao se aplicar um potencial NEGATIVO na estrutura, surgem cargas negativas e peliculares no metal (Q_M) e no semiconductor cargas positivas devida aos íons (depleção $Q_{\text{depl.}}$), logo não mais peliculares e sim em profundidade. O diagrama de bandas apresenta o potencial no capacitor e o potencial devido aos íons positivos.

Capacitor tipo N (ideal) - limiar de inversão

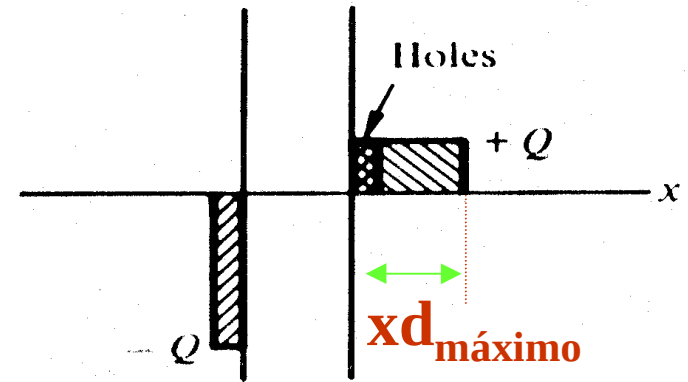
$$V_G = \cancel{\phi_{MS}} + \phi_s + V_{ox}$$

$$Q_M = - (Q_{depl.max.} + Q_{inv})$$

$$V_G = V_T$$



Onset of
inversion
($V_G = V_T$)

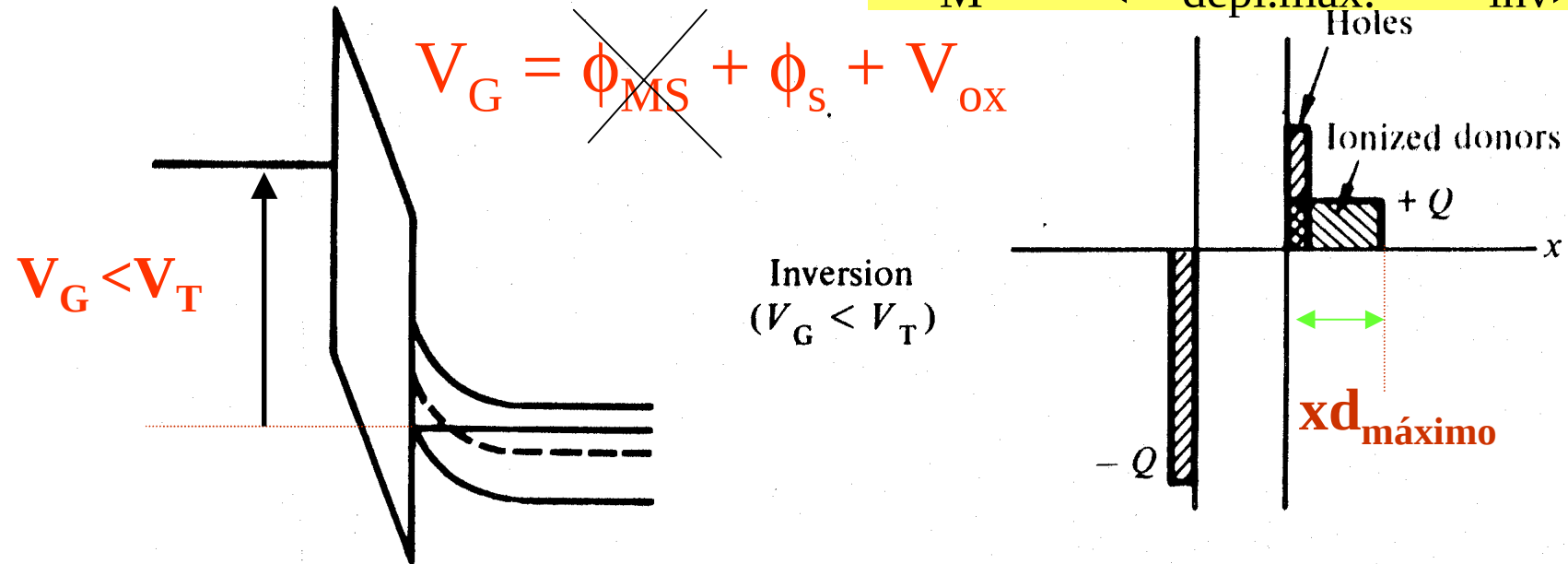


$$V_T = \text{potencial de inversão} \Rightarrow \phi_s = 2 \phi_F$$

Ao se aplicar um potencial NEGATIVO na estrutura, igual ao valor de inversão (V_T), o aumento de cargas negativas no metal é contrabalançado pela carga máxima de depleção ($Q_{depl(max.)}$) e novas cargas peliculares dos portadores minoritários - inversão - ($Q_{inv.}$).

Capacitor tipo N (ideal) - inversão

$$Q_M = - (Q_{\text{depl.max.}} + Q_{\text{inv}})$$



Ao se aplicar um potencial Negativo na estrutura, acima do valor de inversão (V_T), o aumento de cargas negativas no metal é contrabalançado pela carga máxima de depleção ($Q_{\text{depl(max.)}}$) e pelo aumento das cargas peliculares dos portadores minoritários - inversão - ($Q_{\text{inv.}}$).

Regiões de operação do capacitor tipo N Ideal

$V_G > 0 \rightarrow$ acumulação

$(\phi_S > 0)$

$V_G = 0 \rightarrow$ banda plana

$(\phi_S = 0)$

$V_T < V_G < 0 \rightarrow$ depleção

$(2\phi_F < \phi_S < 0)$

$V_G \leq V_T \rightarrow$ inversão

$(\phi_S \leq 2\phi_F)$

Regiões de operação dos capacitores MOS - Ideais

SUBSTRATO TIPO P

$V_G < 0 \rightarrow$ acumulação
($\phi_S < 0$)

$V_G = 0 \rightarrow$ banda plana
($\phi_S = 0$)

$0 < V_G < V_T \rightarrow$ depleção
($0 < \phi_S < 2\phi_F$)

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

SUBSTRATO TIPO N

$V_G > 0 \rightarrow$ acumulação
($\phi_S > 0$)

$V_G = 0 \rightarrow$ banda plana
($\phi_S = 0$)

$V_T < V_G < 0 \rightarrow$ depleção
($2\phi_F < \phi_S < 0$)

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