

Capacita' MOS in condizioni di non equilibrio:  
Applicazione di potenziali esterni alla giunzione  
→ Livello di Fermi non costante

Situazione simile a quella delle giunzioni *pn* o Schottky,  
ma con una fondamentale differenza:  
l'ossido *impedisce* il passaggio di corrente

→ La giunzione MOS non e' un diodo come gli altri,  
piuttosto una *capacita'* sui generis:  
controllo esterno, via gate, della concentrazione di cariche  
libere in un canale *p* o *n* consente l'operazione di un dispositivo  
a 3 terminali, il MOSFET, che ha proprieta' generali simili  
a quelle di un BJT, ma che e' molto piu' vantaggioso sotto quasi  
tutti i profili

**Regime di svuotamento:**

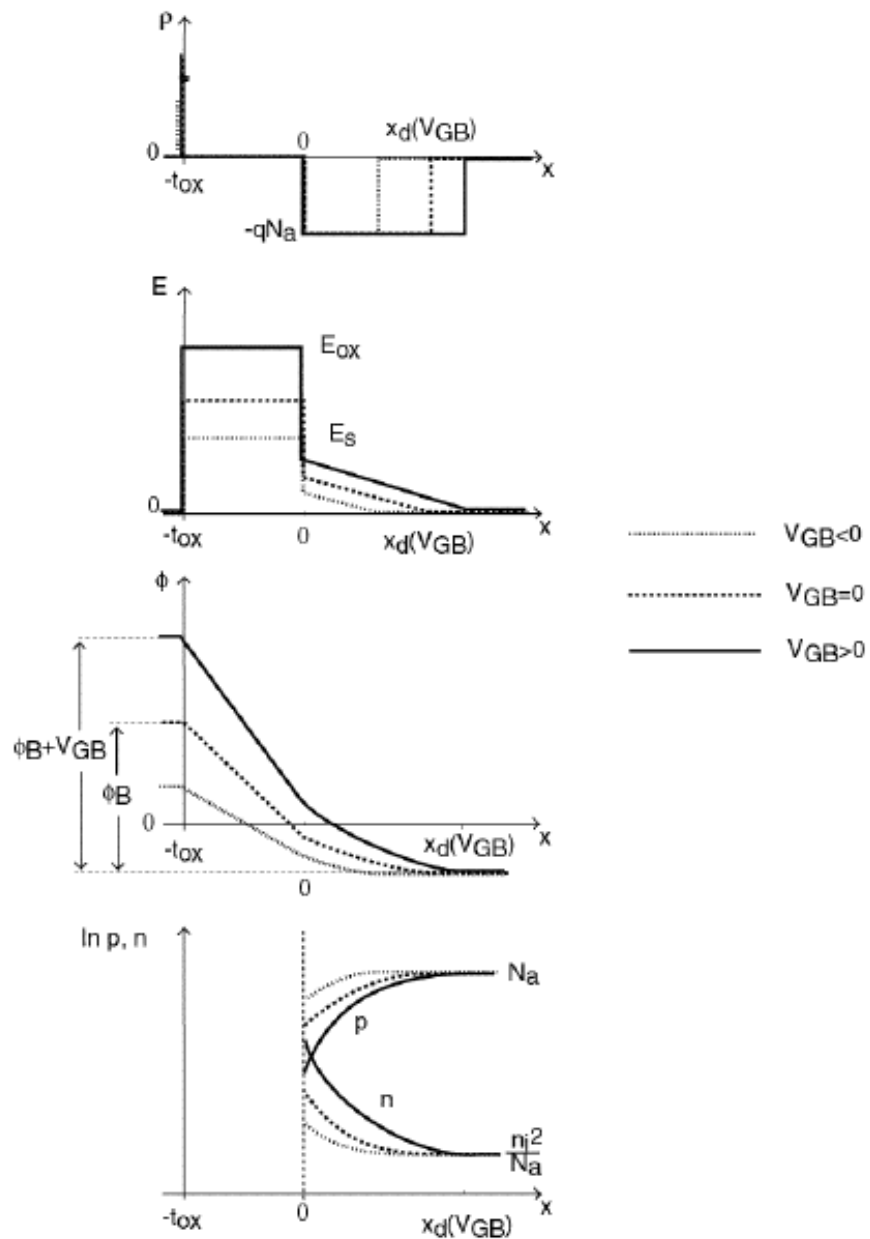
$V_G < 0 \rightarrow$  Attrazione lacune cresce

$\rightarrow$  Strato di svuotamento si restringe

$V_G > 0 \rightarrow$  Attrazione lacune diminuisce

$\rightarrow$  Strato di svuotamento si allarga

Conseguenze su campo, potenziale, concentrazioni:

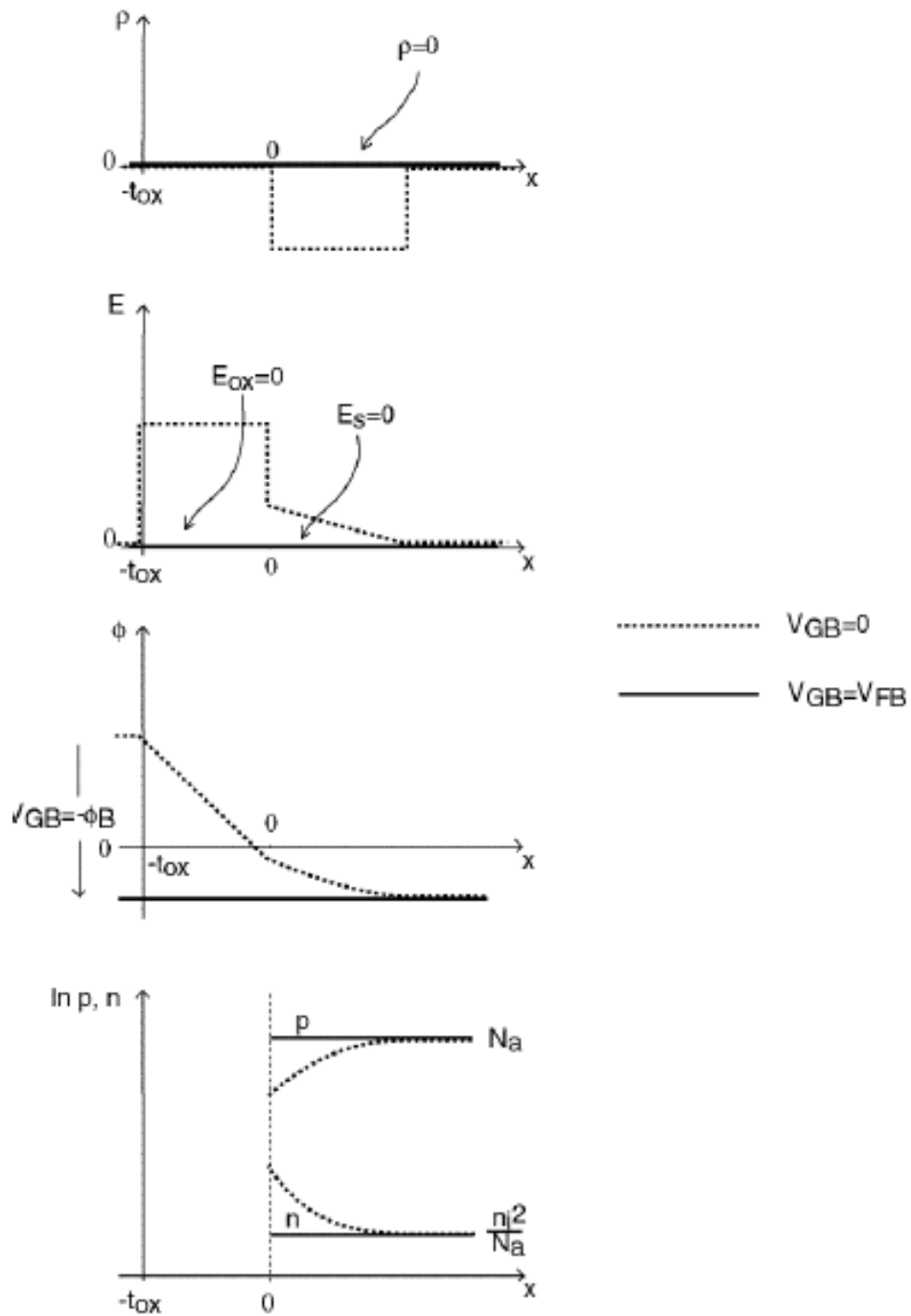


Tensione - va caratteristica  $V_{FB}$  :

Strato di svuotamento scomparso

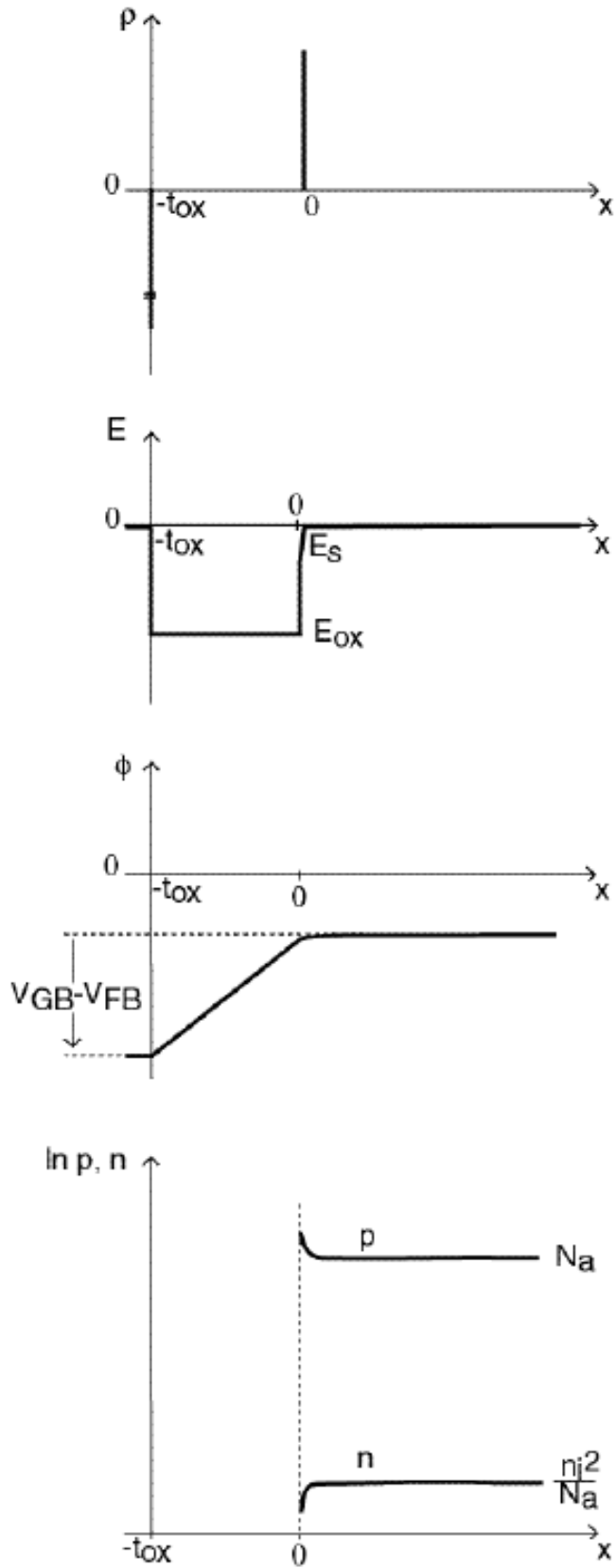
→ Banda piatta ≡ Flatband

$$V_{FB} = -\phi_B$$



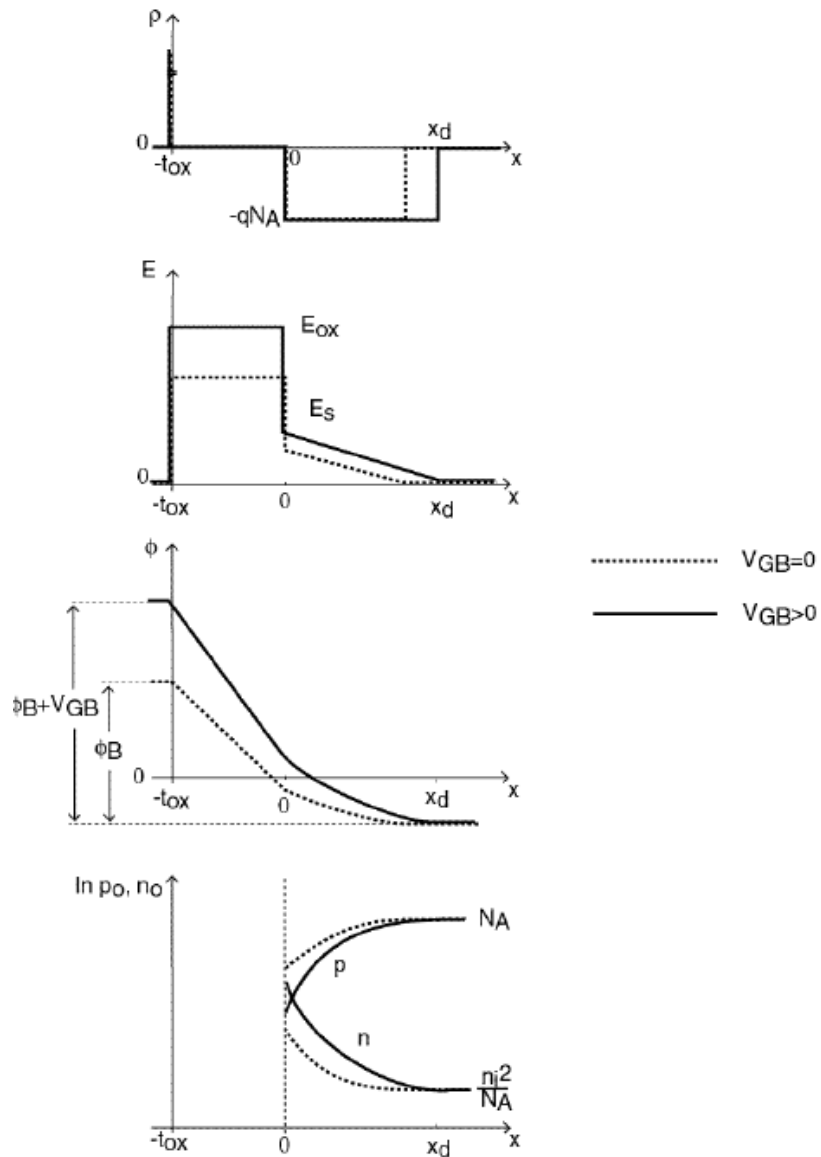
Regime di **accumulazione**:  $V_G < V_{FB} < 0$

→ Accumulazione di *lacune* all'interfaccia S - Ossido



Applicazione di una tensione +va sul gate:  $0 < V_G < V_T$

Espansione dello strato di svuotamento all'aumentare di  $V_G$



Situazione di quasi equilibrio:

Si applicano i risultati dello stato di equilibrio con  $\phi_B \rightarrow \phi_B + V_G$

Nessun passaggio di corrente attraverso lo strato di svuotamento:

Ossido = Isolante

$$\rightarrow J = 0 \rightarrow j_{drift} = -j_{diff}$$

Espansione non illimitata:

Nuovo fenomeno quando  $V > V_T$

Tensione caratteristica di soglia  $V_T$  t.c.  $n(0) = N_A$

$\rightarrow$  Concentrazione elettroni = Densità di carica spaziale +va

Calcolo di  $V_T$ :

$$n(0) = n_i e^{q\phi(0)/kT}$$

$$\rightarrow \phi(0) \Big|_{V_G=V_T} = \frac{kT}{q} \ln \frac{n(0)}{n_i} \Big|_{V_G=V_T} = \frac{kT}{q} \ln \frac{N_A}{n_i} = -\phi_p$$

Ddp. ai capi del semiconduttore quando  $V_G = V_T$ :

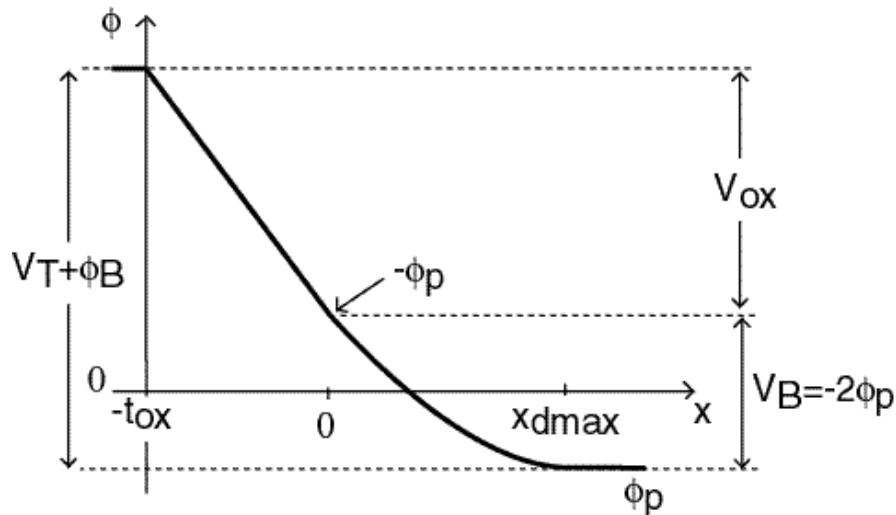
$$\rightarrow V_B(V_T) = -\phi_p - \phi_p = -2\phi_p$$

Ddp. ai capi dell'ossido per  $V_G = V_T$ :

$$V_B(V_G = V_T) = \frac{qN_A x_d^2}{2\epsilon_s} = -2\phi_p$$

$$\rightarrow x_d(V_T) = x_{d \max} = \sqrt{\frac{2\epsilon_s (-2\phi_p)}{qN_A}}$$

$$\rightarrow V_{ox}(V_T) = E_{ox}(V_T) t_{ox} = \frac{qN_A x_d(V_T)}{\epsilon_{ox}} = \frac{1}{C_{ox}} \sqrt{2\epsilon_s qN_A (-2\phi_p)}$$



Sommando tutto:

$$V_T + \phi_B = V_B(V_T) + V_{ox}(V_T)$$

$$\rightarrow V_T + \phi_B = -2\phi_p + \frac{1}{C_{ox}} \sqrt{2\varepsilon_s q N_A (-2\phi_p)}$$

$$\rightarrow V_T = -\phi_B - 2\phi_p + \frac{1}{C_{ox}} \sqrt{2\varepsilon_s q N_A (-2\phi_p)}$$

$$\rightarrow V_T = V_{FB} - 2\phi_p + \frac{1}{C_{ox}} \sqrt{2\varepsilon_s q N_A (-2\phi_p)}$$

$V_T$  aumenta con l'aumento del drogaggio

$V_T$  diminuisce con l'aumento della capacita'

$\rightarrow V_T$  diminuisce con la diminuzione dello spessore dell'ossido

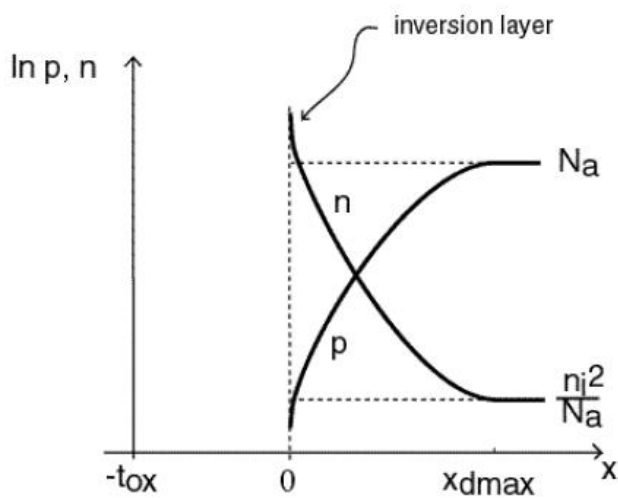
Valore di  $V_T$  rilevante per determinare i livelli logici nelle applicazioni digitali dei MOS

Questione molto importante relativamente al consumo di energia e alla dissipazione di potenza

Sopra tensione di soglia:

Regime di **inversione**

→ Accumulazione di *elettroni* all'interfaccia S-Ossido



Giunzione in condizioni  $V_G > V_T$  :

Concentrazione di elettroni nello strato di inversione controllata da  $V_G$

→ Concentrazione di cariche mobili controllata da tensione sul gate!



Riassunto:

