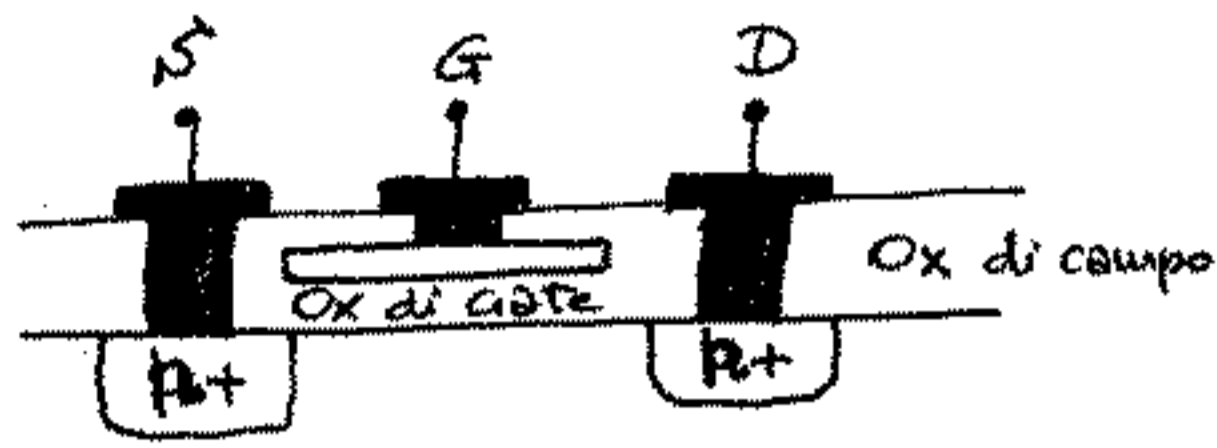


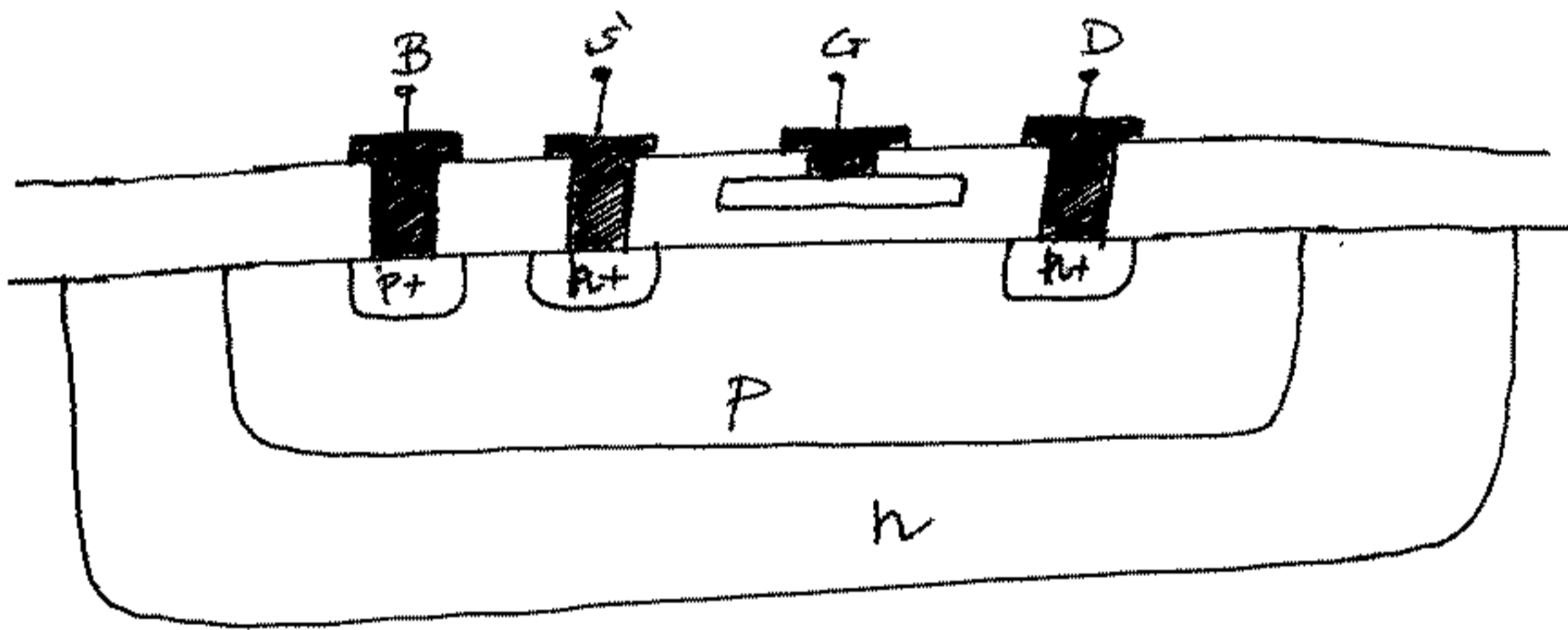
# Transistore MOS

Struttura semplificata di un transistore MOS (a canale n)



senza contatto di substrato

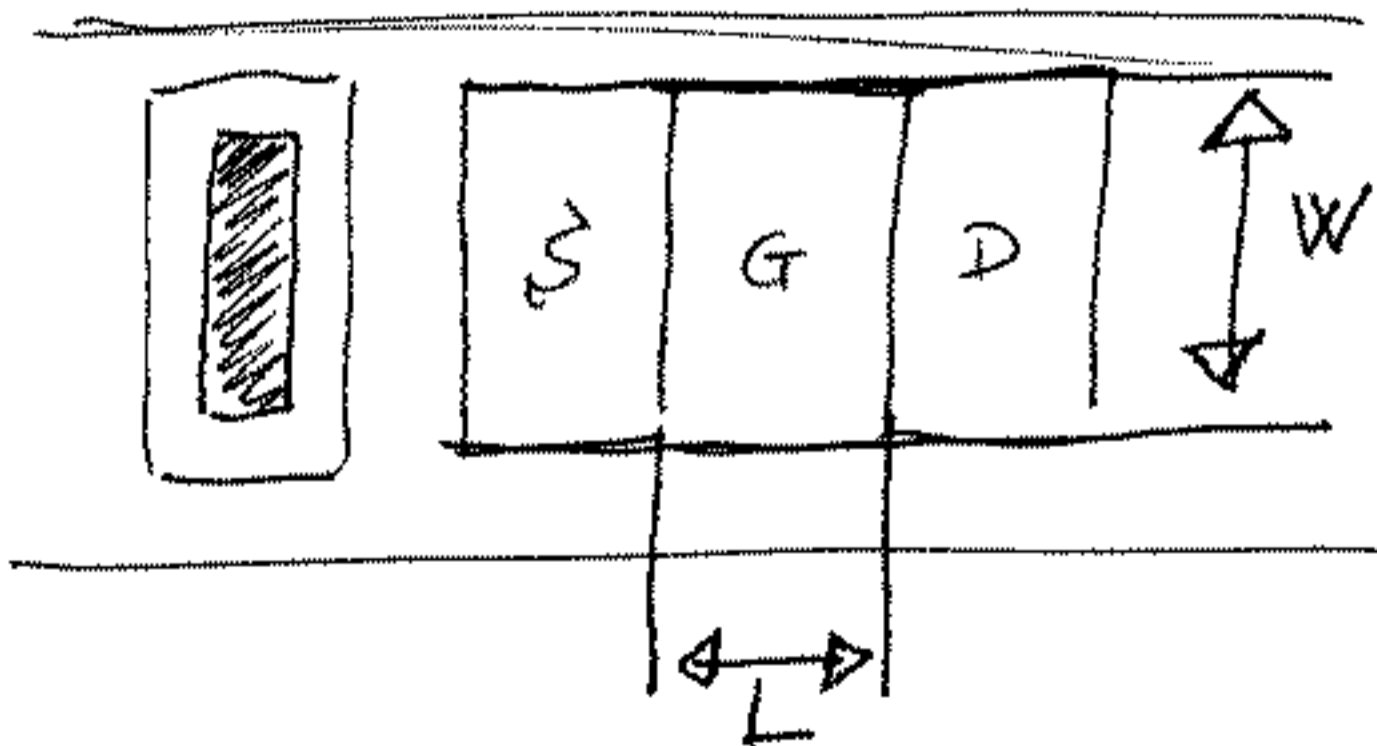
Substrato P

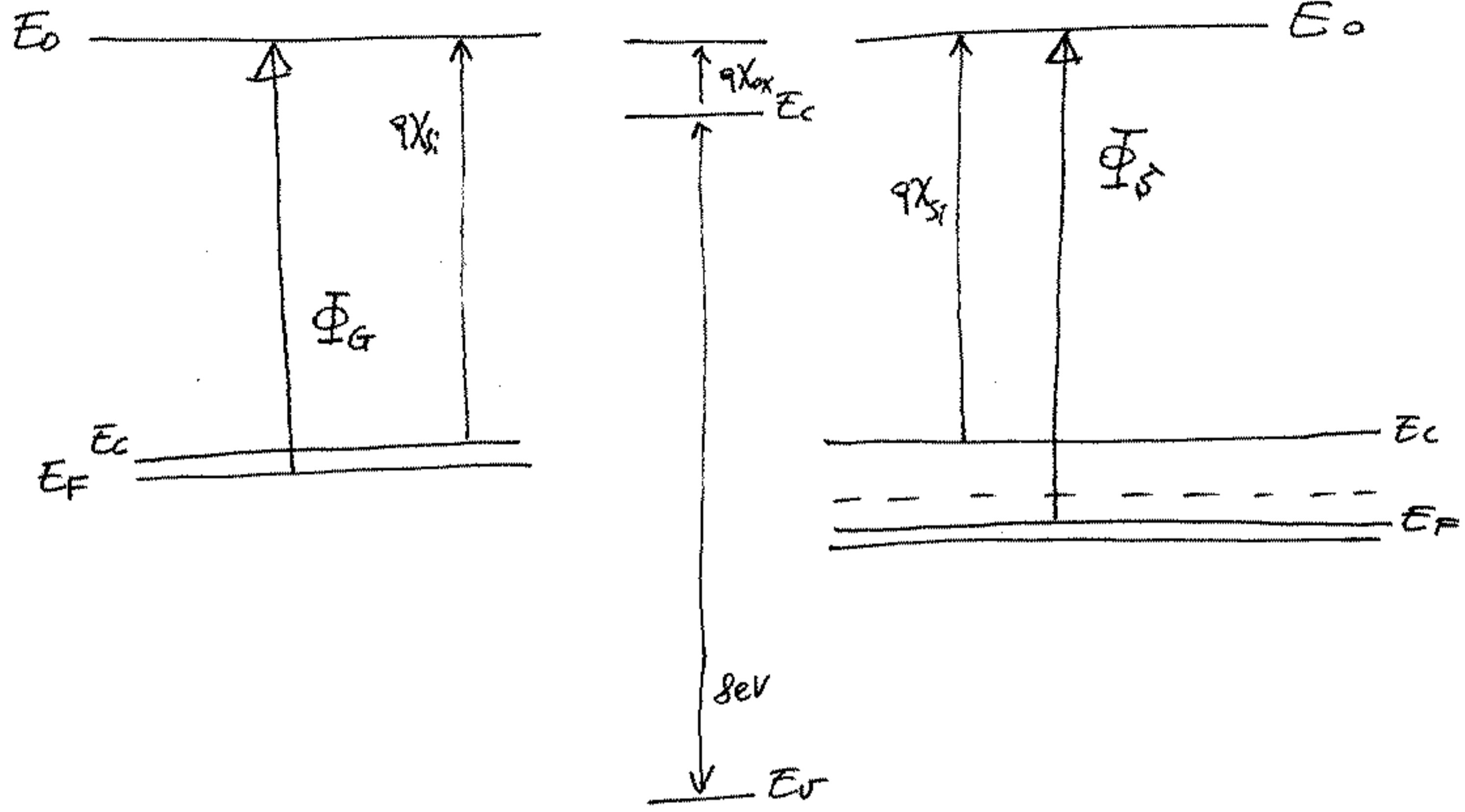


con contatto di substrato

sezione

Substrato P





$V_{FB} < 0;$

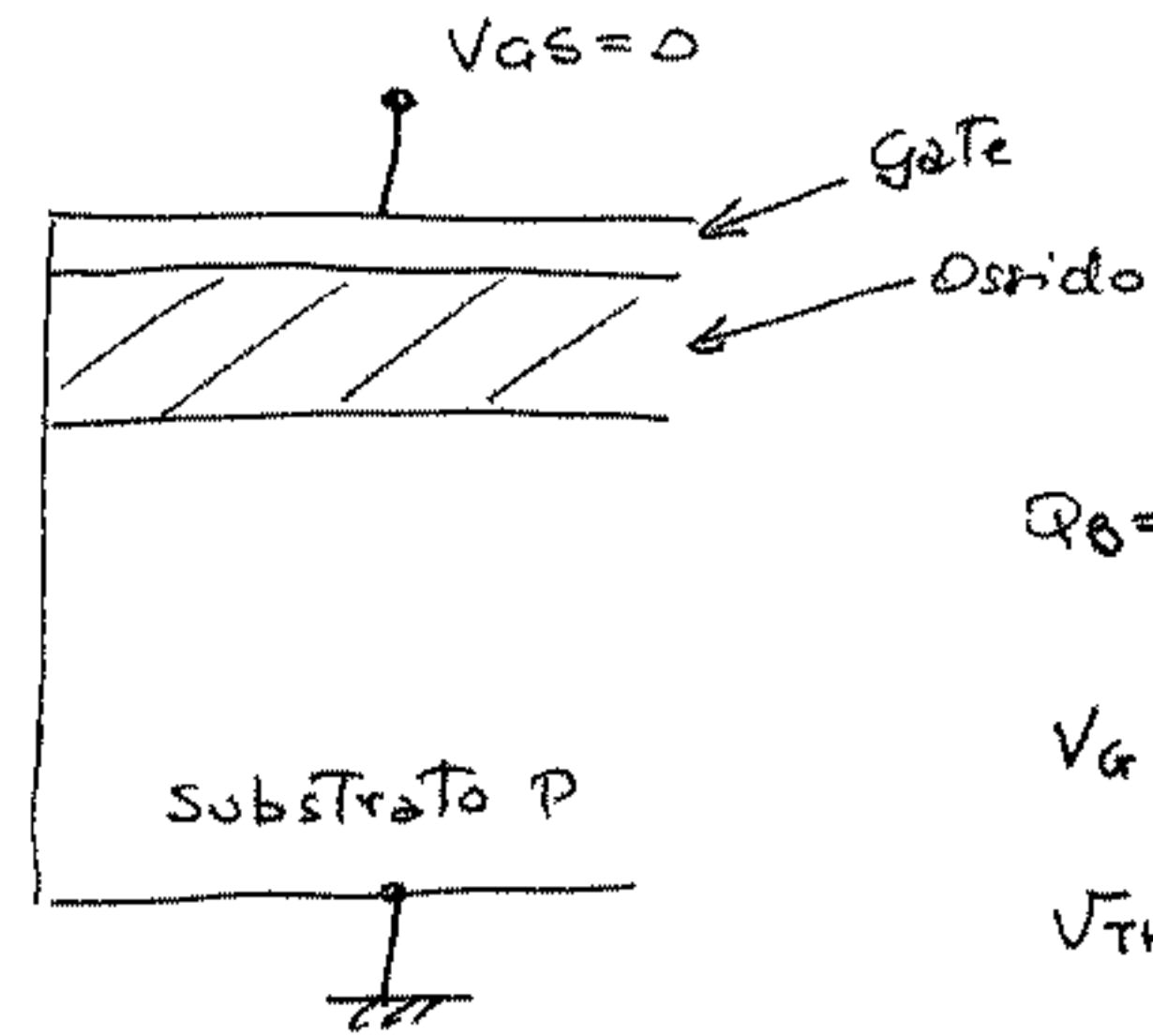
$V_{FB} = (\Phi_G - \Phi_S) - \frac{1}{C_{ox}} (Q_f + Q_{ox});$   $Q_f = \text{cariche superficiali fisse}$   
 $Q_{ox} = \text{cariche intrappolate nel substrato}$

$V_{TH} = V_{FB} + 2\phi_F + \frac{1}{C_{ox}} \sqrt{2q\epsilon_s N_A (2\phi_F)} \Rightarrow V_{TH} < 0;$

$V'_{TH} = V_{TH} \pm \frac{qD_I}{C_{ox}};$  Impianto di canale

Forti Inversione:  $Q_n = -C_{ox} (V_G - V_{TH});$

# Tensione di soglia



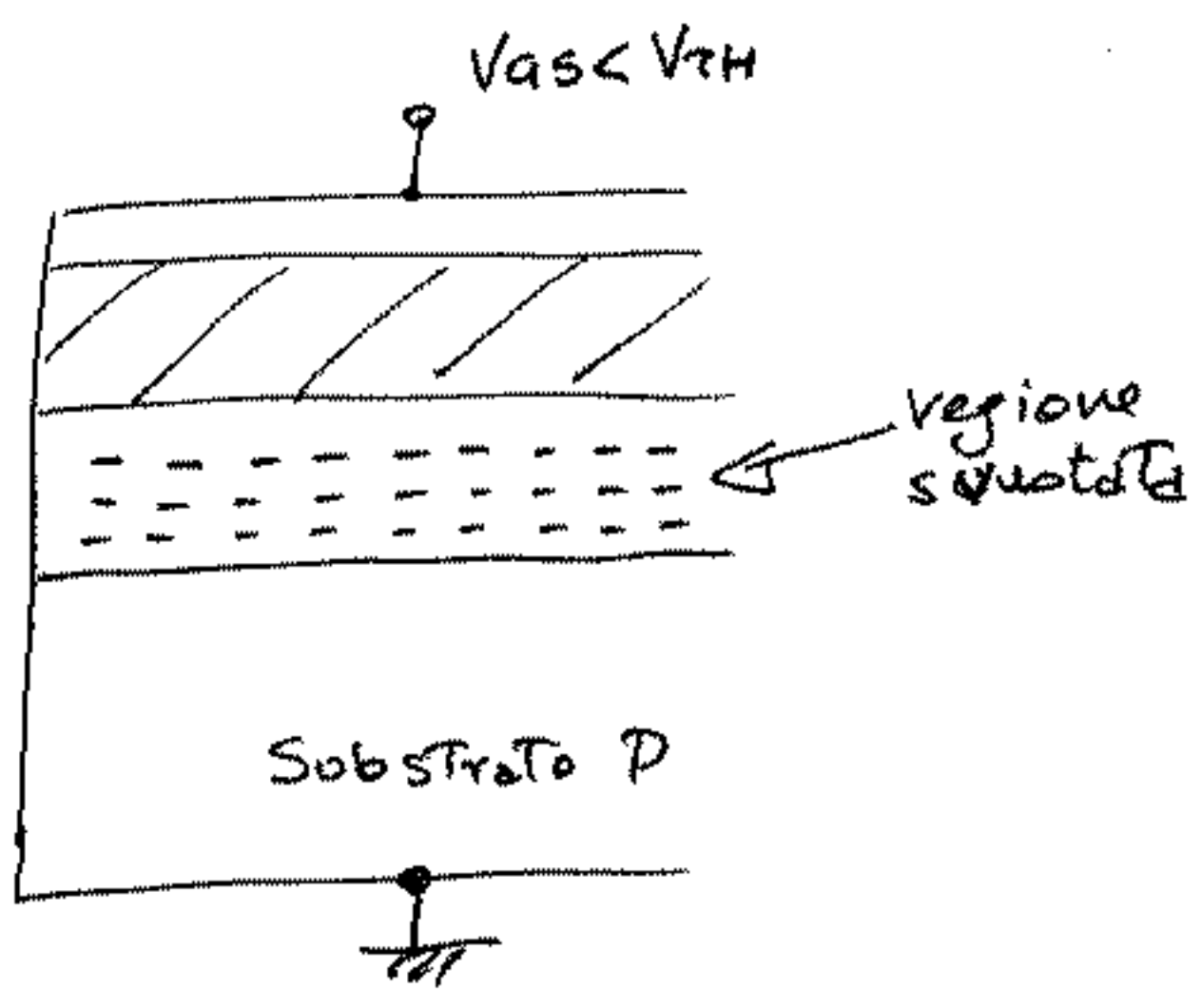
$$Q_S = Q_n + Q_B;$$

$$Q_B = -\sqrt{2\epsilon_s q N_A (2|\phi_F|)};$$

$V_G = V_{TH}$ ; limite dell'inversione  $Q_n \approx 0$ ;

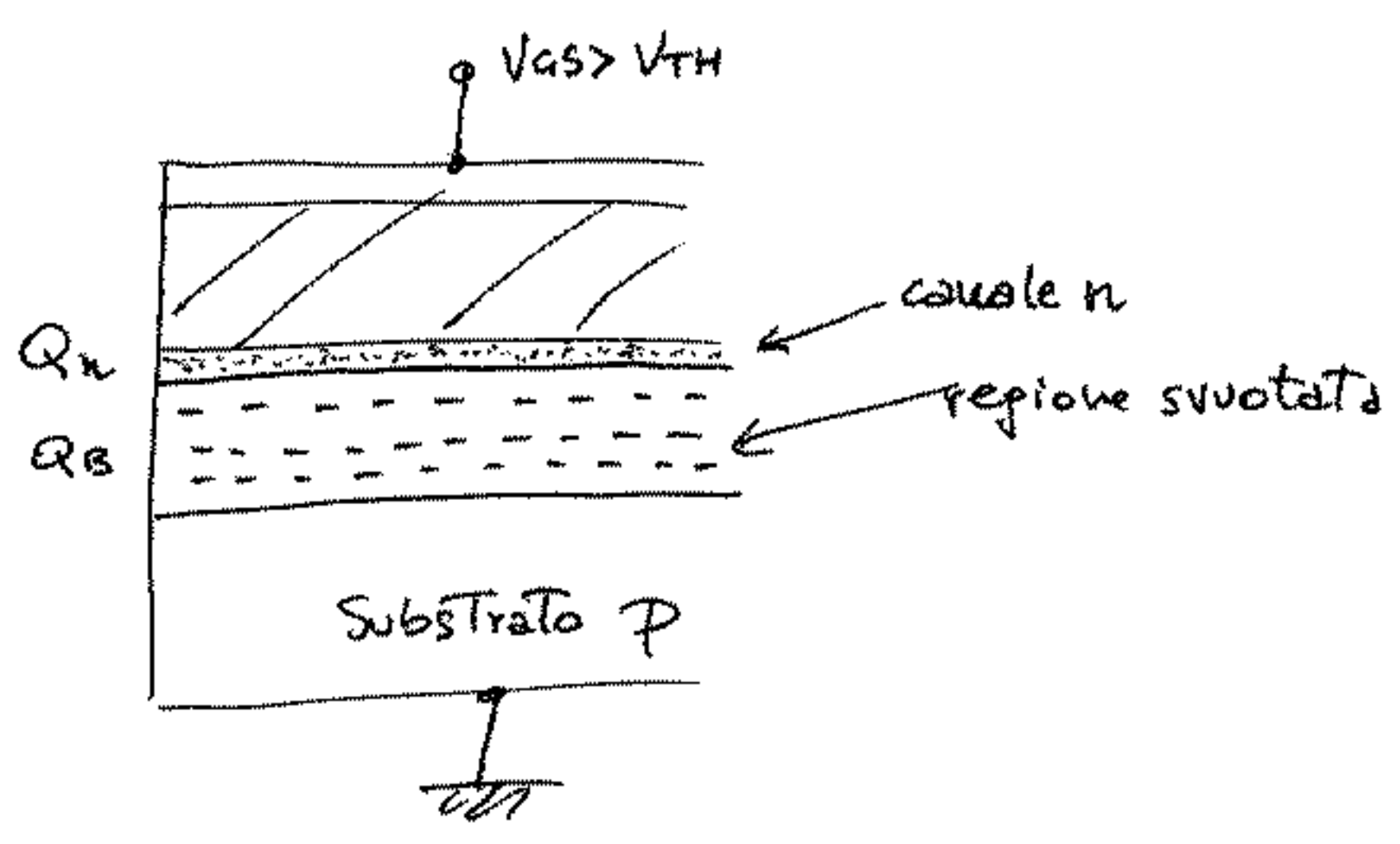
$$V_{TH} = \underbrace{2|\phi_F|}_{V_{Si}} + \underbrace{\frac{\sqrt{2\epsilon_s q N_A (2|\phi_F|)}}{C_{ox}}}_{V_{ox}};$$

↑ questa espressione ignora il fatto che G e B sono fatti di mat. diversi

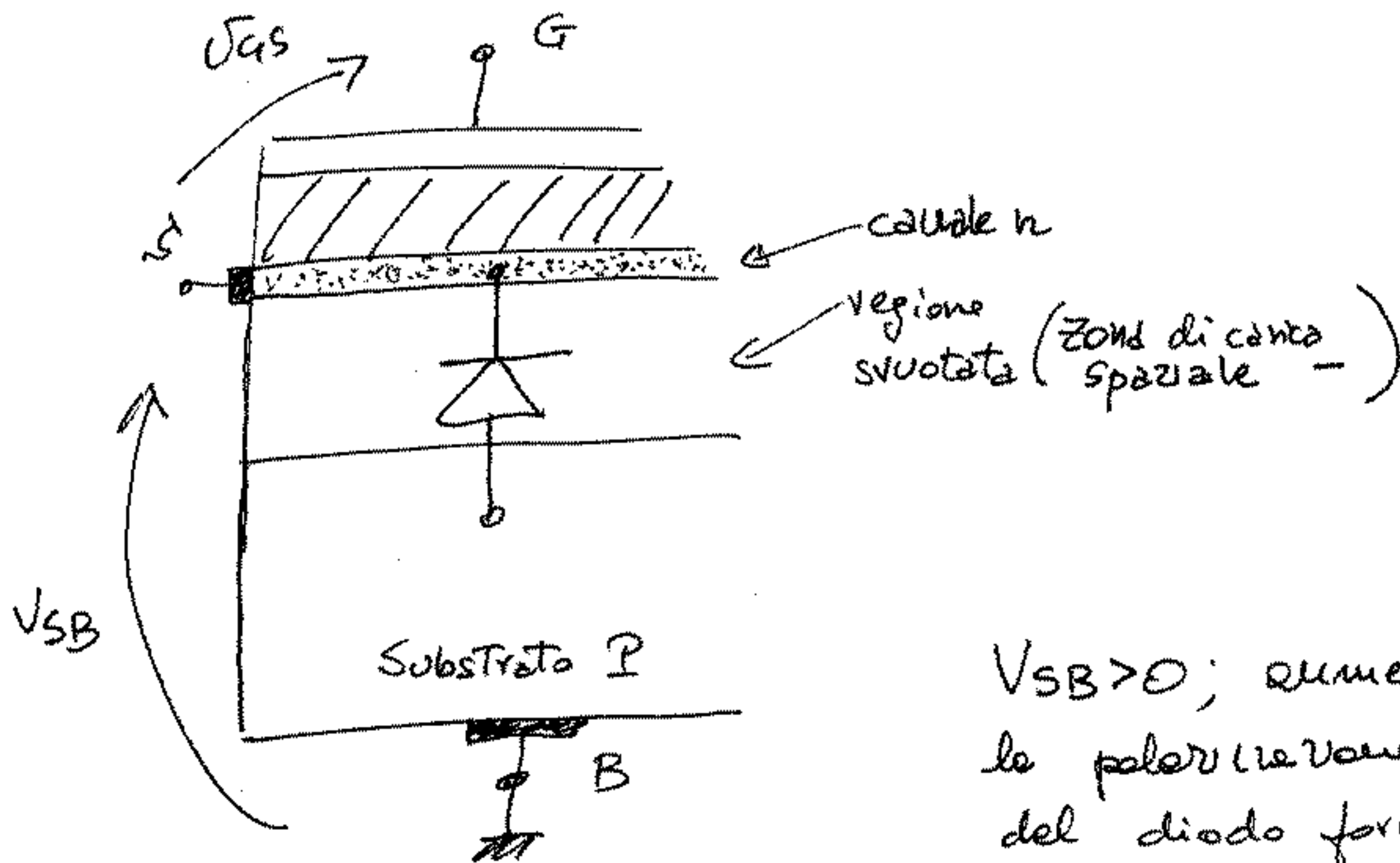


$$V_{FB} = \phi_G - \phi_S - \frac{1}{C_{ox}} (Q_f + Q_{ox});$$

$$(\phi_G - \phi_S) = -\frac{kT}{q} \ln\left(\frac{N_A N_{poly}}{n_i^2}\right);$$



# Effetto Body



$V_{SB} > 0$ ; aumenta la polarizzazione inversa del diodo formato da canale-bulk  $\Rightarrow$  aumenta la regione svuotata  $\Rightarrow$  diminuisce la carica libera nel canale.

$$Q_B = \sqrt{2q\epsilon_s N_A (2|\phi_F| - V_{BS})};$$

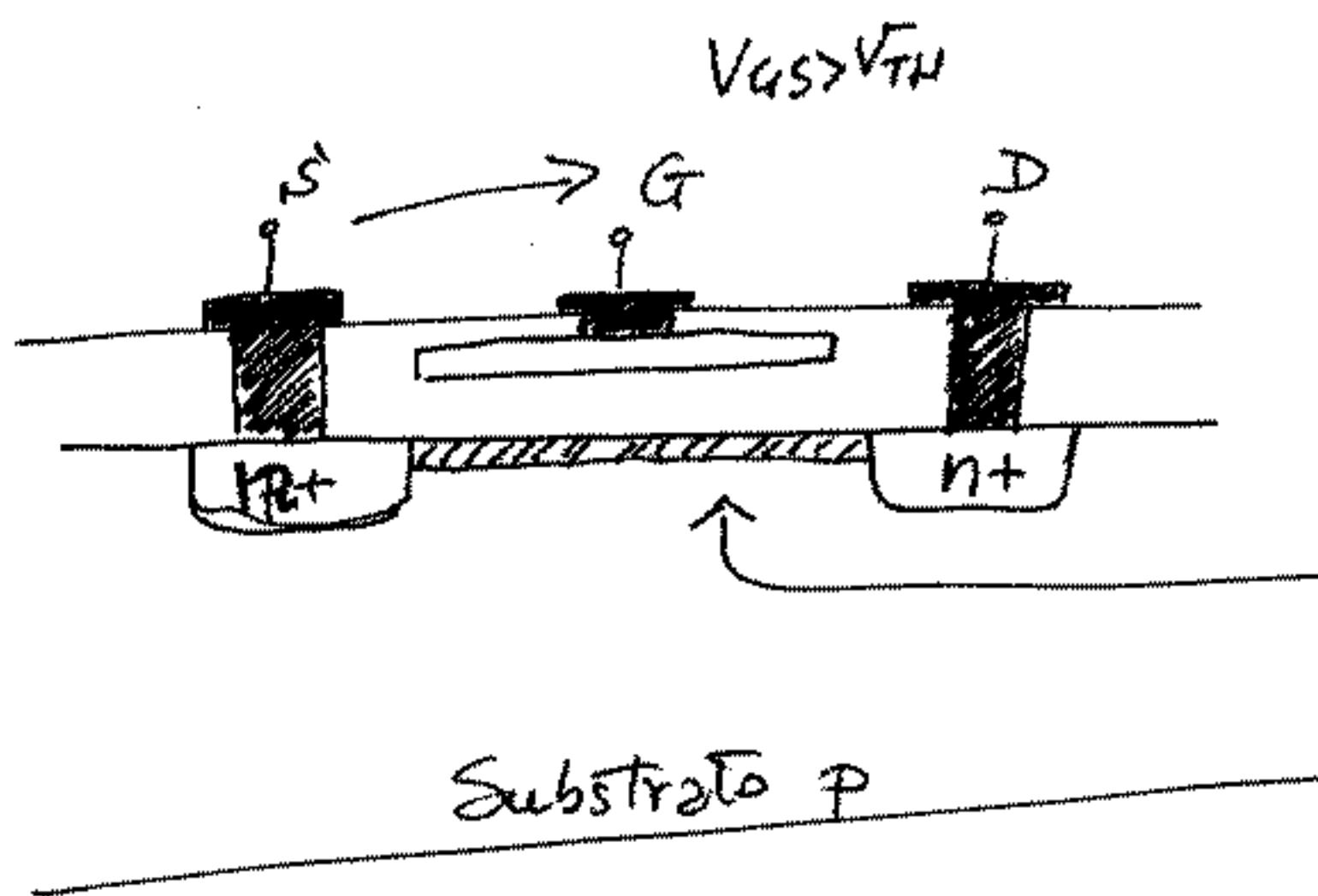
$$V_{TH} = V_{FB} + 2|\phi_F| + \frac{\sqrt{2q\epsilon_s N_A (2|\phi_F| - V_{BS})}}{C_{ox}} + \frac{qD_I}{C_{ox}}$$

$$= V_{T0} + \gamma \left( \sqrt{2|\phi_F| - V_{BS}} - \sqrt{2|\phi_F|} \right);$$

$$V_{T0} = V_{FB} + 2|\phi_F| + \frac{1}{C_{ox}} \sqrt{2q\epsilon_s N_A |2\phi_F|};$$

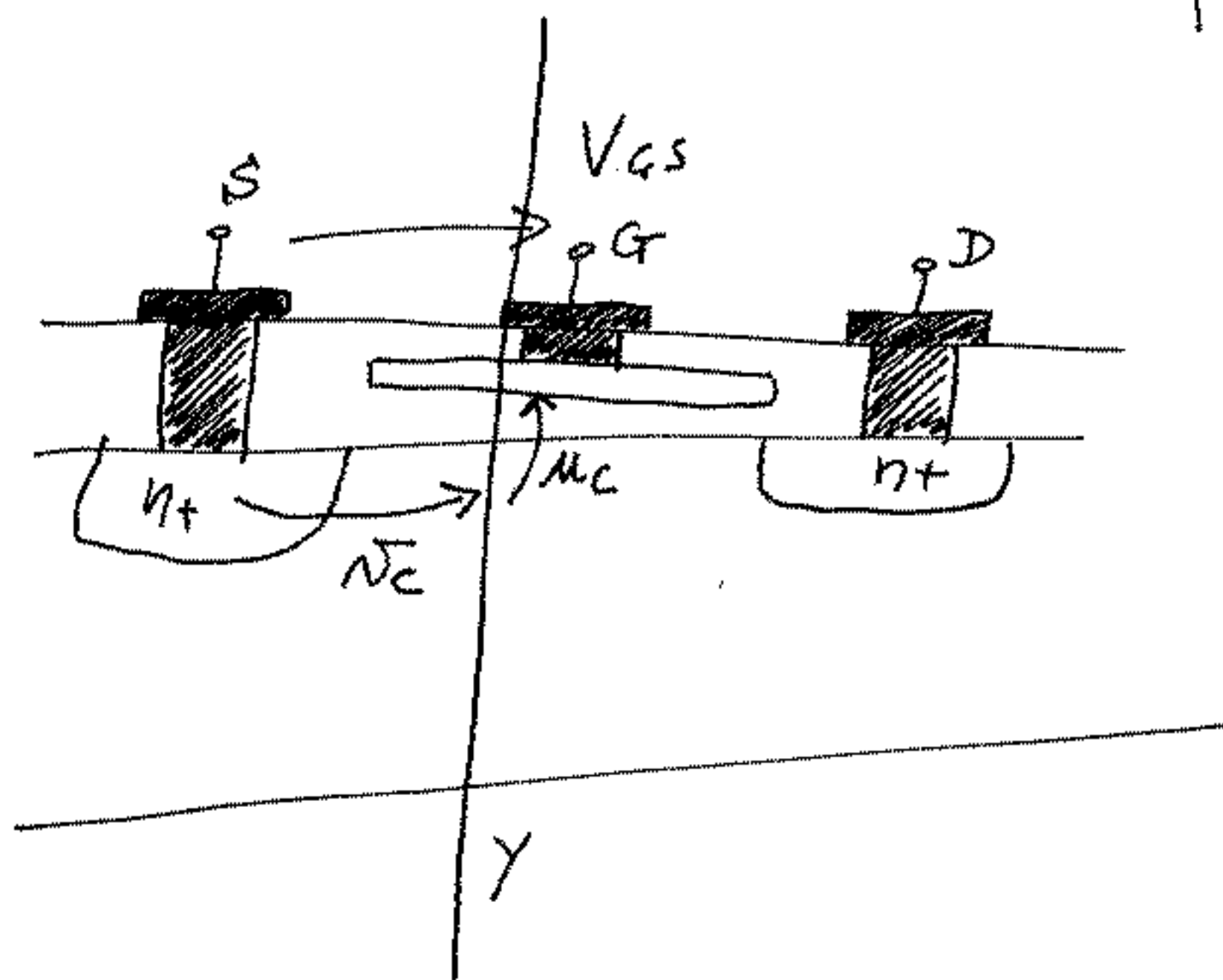
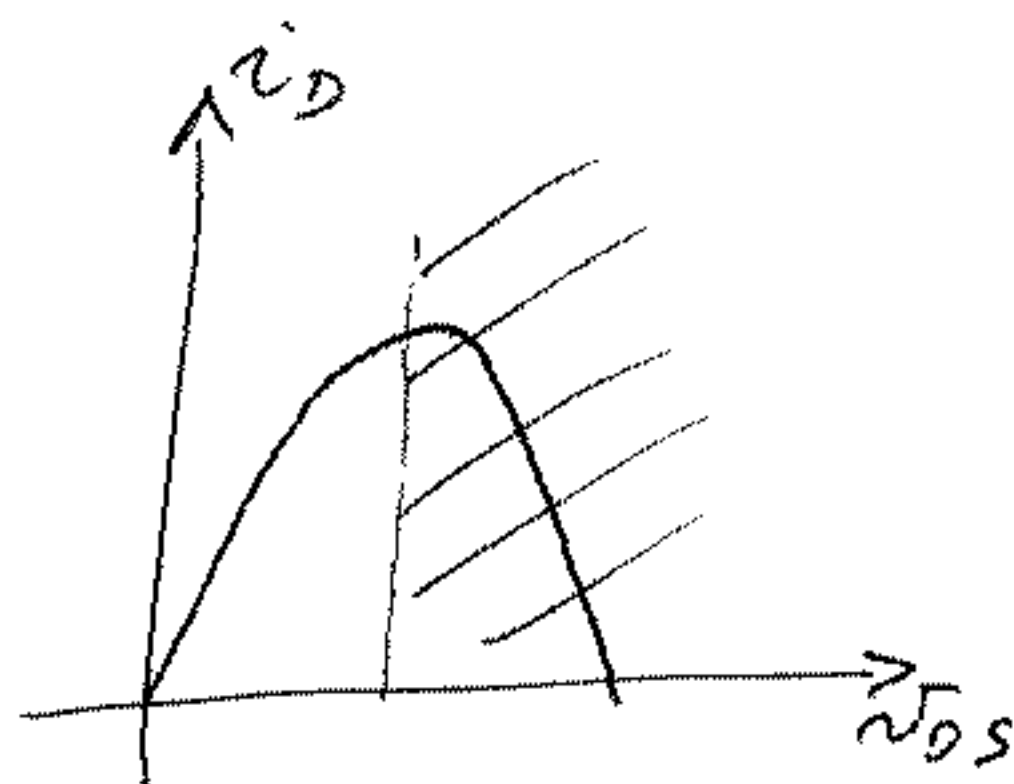
$$\gamma = \frac{1}{C_{ox}} \sqrt{2q\epsilon_s N_A};$$

# Caratteristica corrente-tensione



canale n  
a  $V_{GS}$  cost.  
Si comporta  
come un elemento  
resistivo

$$i_D = \beta \left[ (V_{GS} - V_{TH})V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right];$$



$$N_C(y) + M_C(y) = V_{GS};$$

$$N_C(0) = 0;$$

$$M_C(0) = V_{GS};$$

$$N_C(L) = V_{DS};$$

$$M_C(L) = V_{GS} - V_{DS};$$

Con  $V_{DS} > 0$ ;  $M_C$  diminuisce all'aumentare di  $y$ .

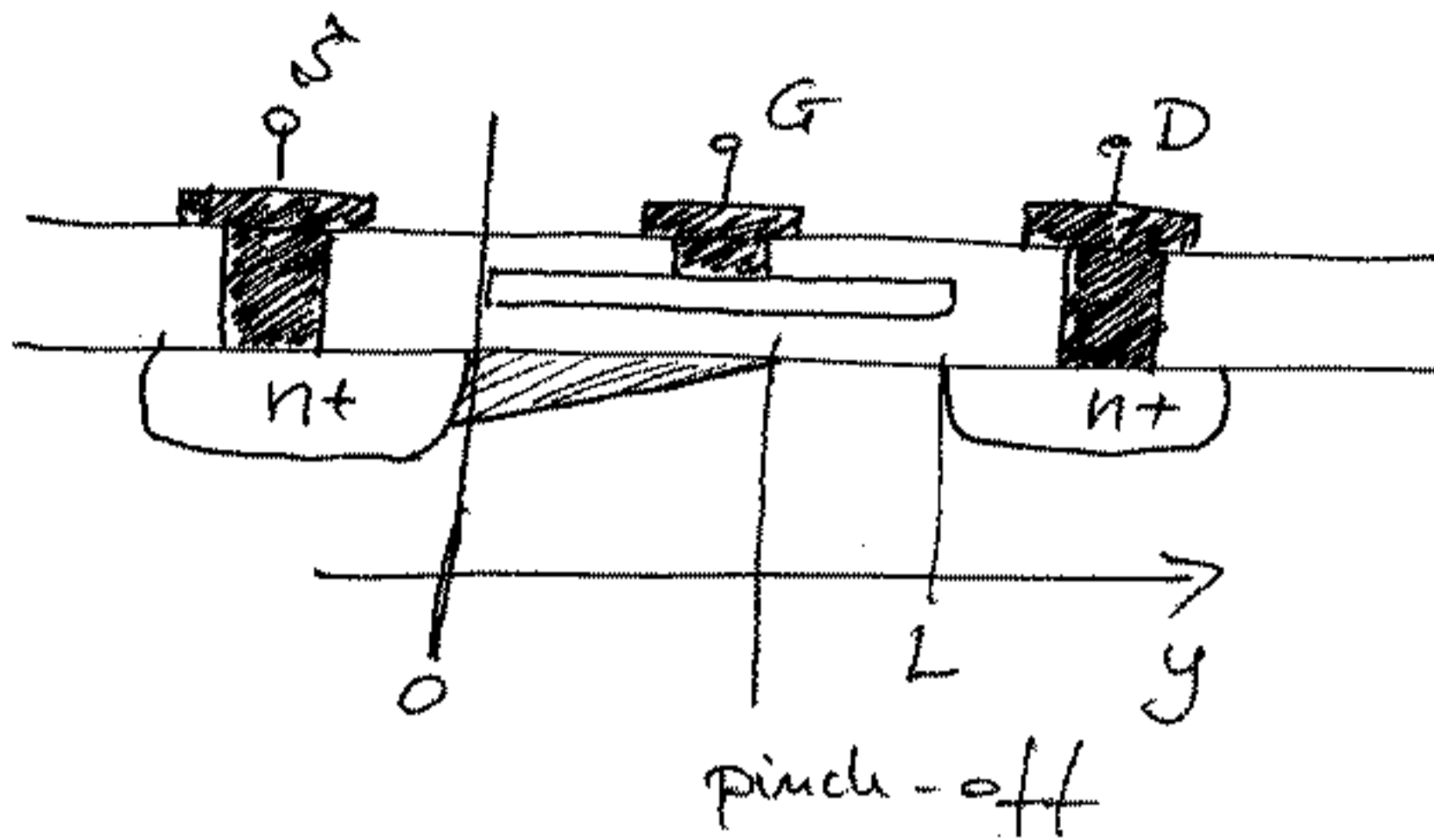
Quindi il canale diminuisce all'aumentare di  $y$ .

Quando il canale si riduce a zero al drain ho raggiunto la cond. di saturazione.

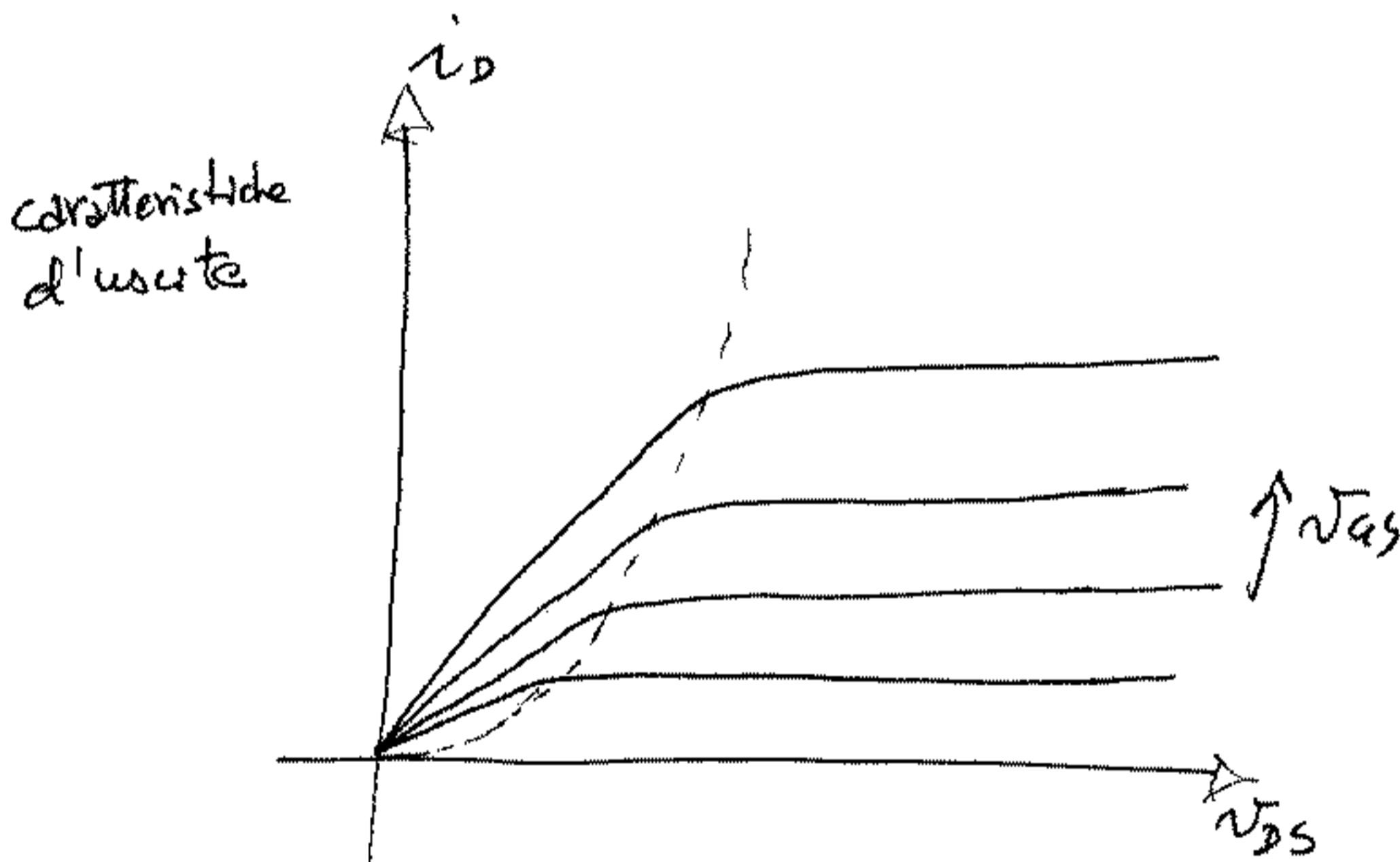
La corrente non aumenta più all'aumentare della  $V_{DS}$ .

$$Q_n = -C_{ox} [V_{GS} - V_{TH} - V(y)]$$

# Modulazione della lunghezza del canale



Il punto di pinch-off all'aumentare di  $V_{DS}$  si sposta verso il source.



TRIODO

$$i_D = \beta \left[ (V_{GS} - V_{TH}) V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right]$$

$$V_{DS} < V_{GS} - V_{TH}$$

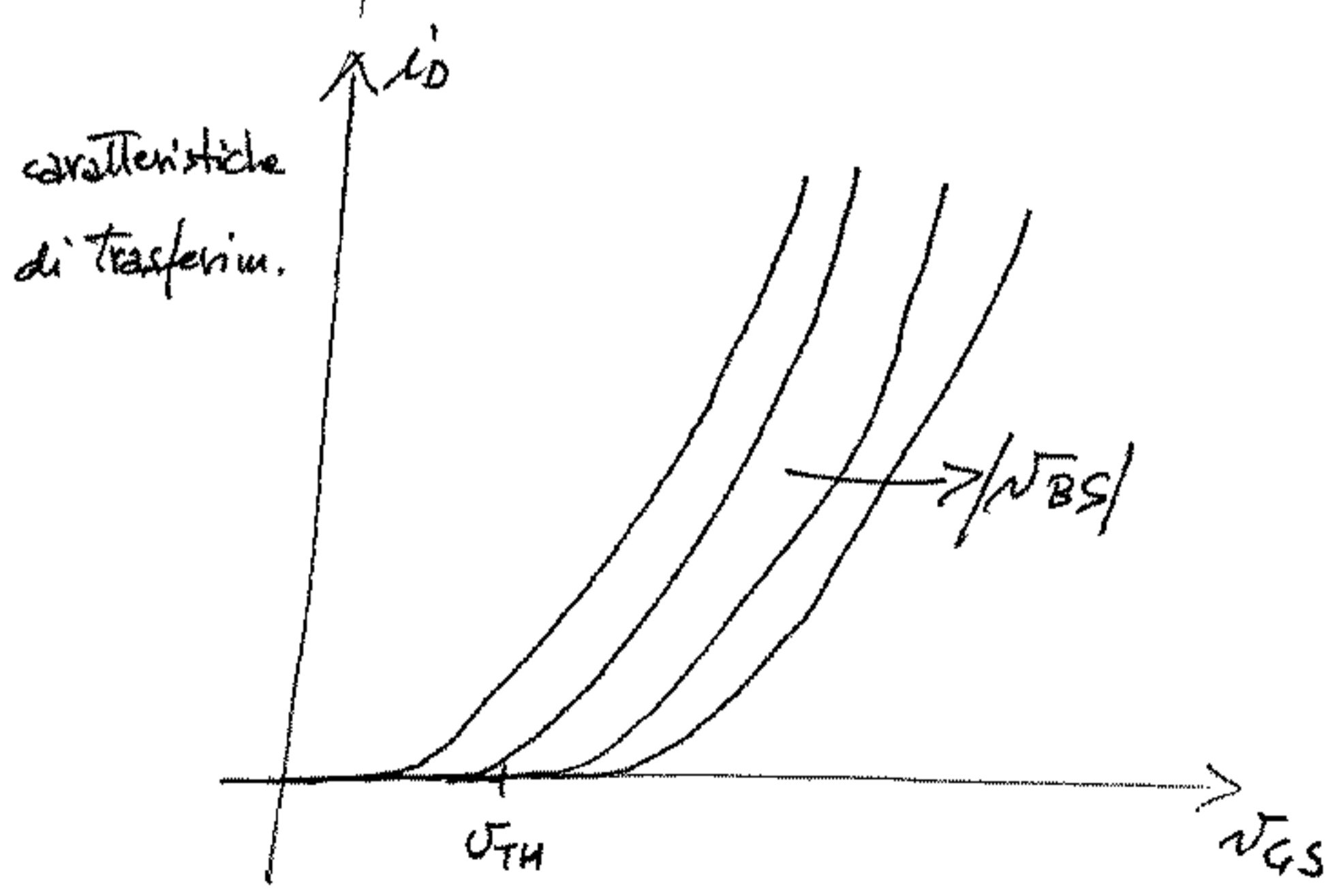
SATURAZ.

$$i_D = \frac{\beta}{2} (V_{GS} - V_{TH})^2 (1 + \lambda V_{DS})$$

$$V_{DS} > V_{GS} - V_{TH}$$

$$V_{TH} = V_{T0} + \gamma \left( \sqrt{2q_F - V_{GS}} - \sqrt{2q_F} \right)$$

effetto Body

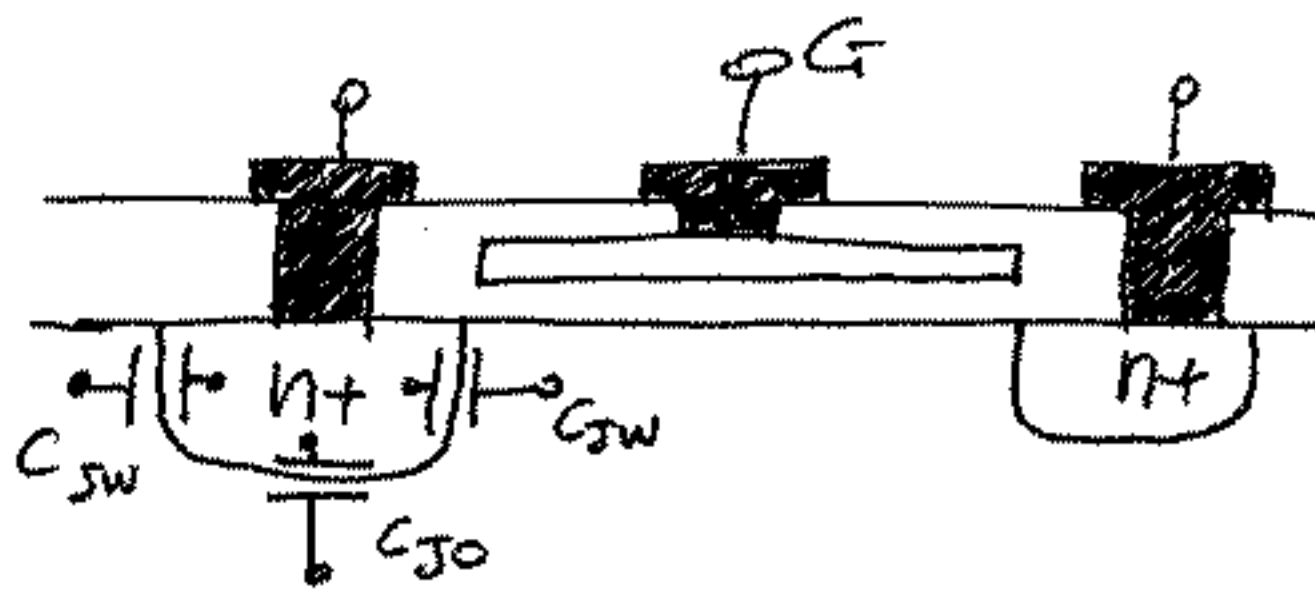


# Capacità del dispositivo

modelli quasi-stazionari: lo spostamento da un p.to di funzionamento all'altro avviene attr. il passaggio per una serie di stati equivalenti a quelli che verrebbero assunti in reg. stazionario con le stesse cond. di polarizzazione.

=> spost. cariche mobili avviene in tempi trascurabili rispetto a quelli necessari per il passaggio attr. gli stati.

$$C_J(V) = A C_{J0} \left( \frac{1}{1 + V/\phi_i} \right)^{m/2}; \quad \text{capacità di una giunzione}$$

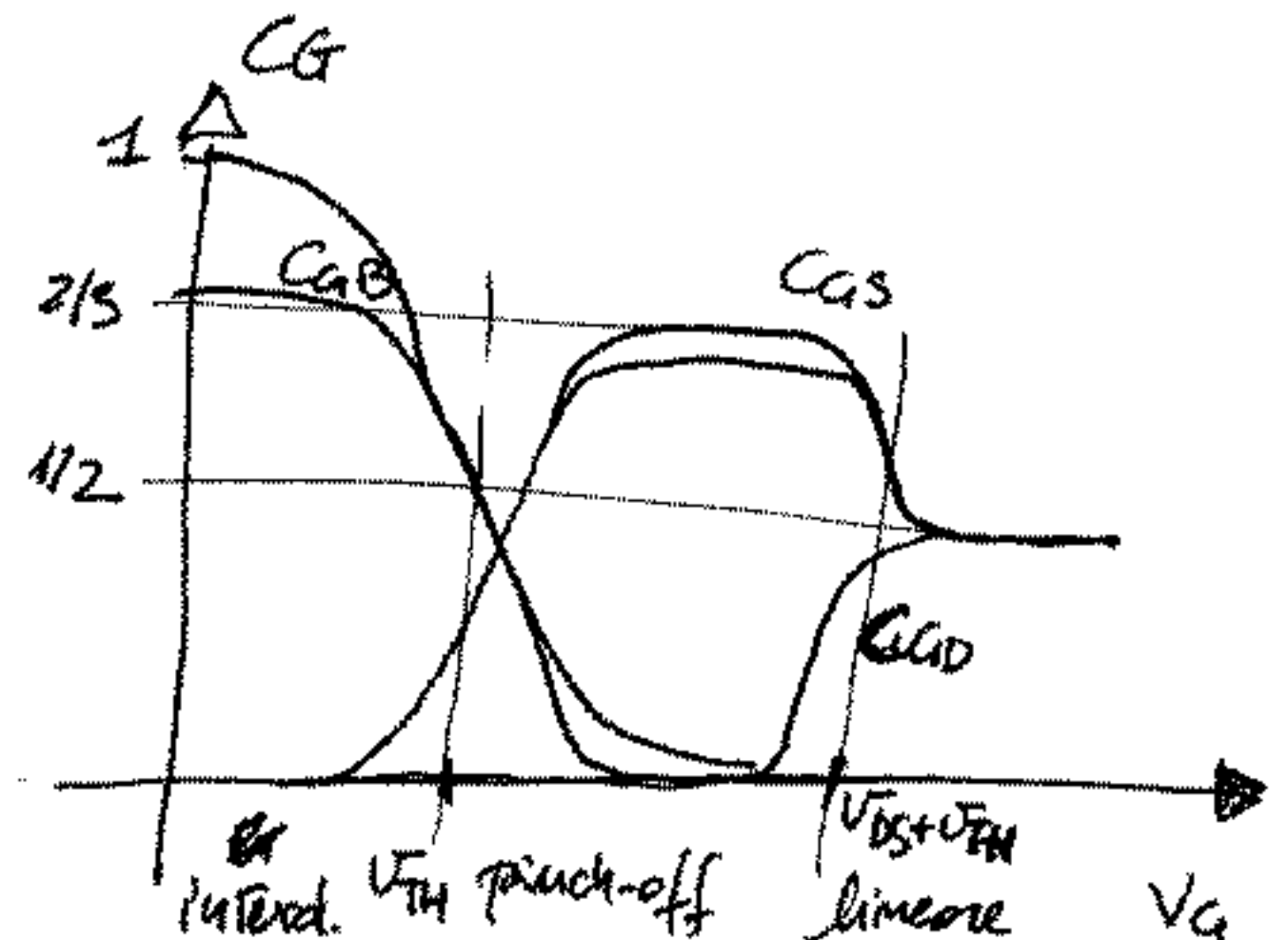
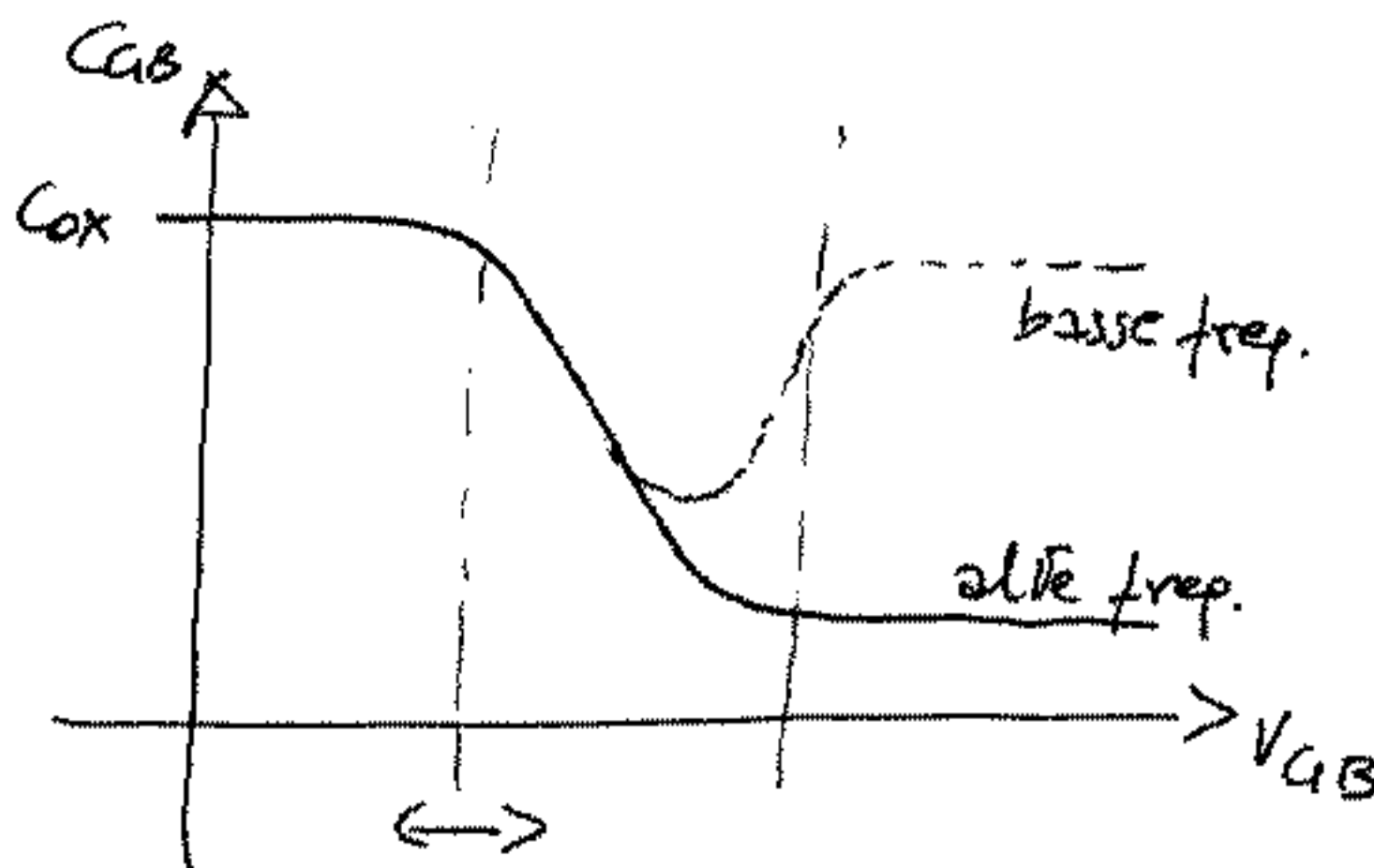


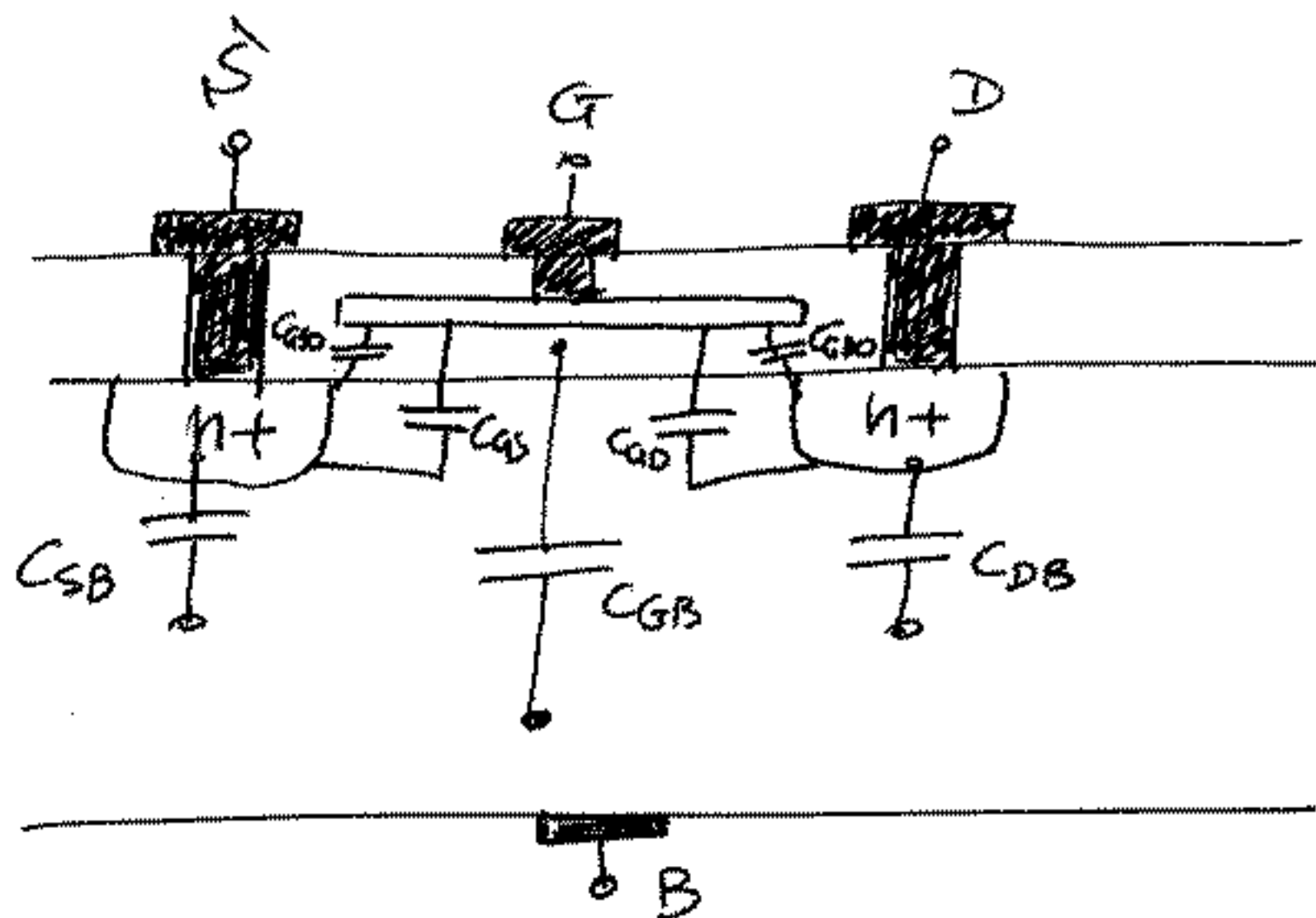
$$C_{SB} = (C_{J0} A_{S(D)} + C_{JSW} P_{S(D)}) \left( \frac{1}{1 + V_{SB(D)}/\phi_i} \right)^{m/2};$$

$$C_{J0} = \frac{\text{capacità}}{\text{unità di area}}$$

$$C_{JSW} = \frac{\text{capacità}}{\text{unità di lunghezza}}$$

$$C_{ox} = A \frac{\epsilon_{ox}}{t_{ox}};$$





Capacitè di overlap

$$C_{gs0} = C_{gd0} = W \cdot dL \frac{\epsilon_{ox}}{t_{ox}} ; \quad C_{gb0} = L \cdot dW \frac{\epsilon_{ox}}{t_{ox}} ;$$

Modello <sup>medio</sup> della capacitè  $C_{SB}, C_{DB}$ .

ZERO BIAS:

$$C_{tot} = A \cdot C_{j0} ; \quad C_{jsw} = C_{j0sw} \cdot X_J ; \quad X_J = \text{Source (Drain) depth.}$$

$\uparrow$   $F/m^2$  ;                       $\uparrow$   $F/m$  ;                      Profondità del Source

$$C_{side} = C_{jsw} \cdot P ; \quad P = \text{perimetro.}$$

$$C_{SB0} = C_{tot} + C_{side} = W \cdot L \cdot C_{j0} + 2(W+L) C_{jsw}$$

BIAS

$$C_{SB}(V) = \frac{C_{j0} \cdot A}{\left(1 + \frac{V}{\phi_i}\right)^{1/2}} + \frac{C_{jsw} \cdot P}{\left(1 + \frac{V}{\phi_{jsw}}\right)^{1/3}} ; \quad M_J = 1/2 ;$$

$$M_{jsw} = 1/3 ;$$

$$C_{av} = \frac{1}{(V_2 - V_1)} \int_{V_1}^{V_2} C_{SB}(V) dV =$$

$$= \frac{2 \phi_i \cdot C_{j0} A}{(V_2 - V_1)} \left[ \left(1 + \frac{V_2}{\phi_i}\right)^{1/2} - \left(1 + \frac{V_1}{\phi_i}\right)^{1/2} \right] + \frac{3 \phi_{jsw} \cdot C_{jsw} \cdot P}{2 (V_2 - V_1)} \left[ \left(1 + \frac{V_2}{\phi_{jsw}}\right)^{2/3} - \left(1 + \frac{V_1}{\phi_{jsw}}\right)^{2/3} \right]$$