

CMOS Digital VLSI Design

Prof. Habil. Dr. Ing. Decebal Popescu

Abrevieri folosite

- CMOS = Complementary Metal Oxide Semiconductor
- MOSFET = Metal Oxides Semiconductor Field Effect Transistor
- MOSFET = blocul de bază folosit în construcția dispozitivelor CMOS
- Comportamentul dispozitivelor CMOS în construcția de ALU
 - Sumator folosind CMOS
 - Multiplexor folosind CMOS
 - Memorii, etc.

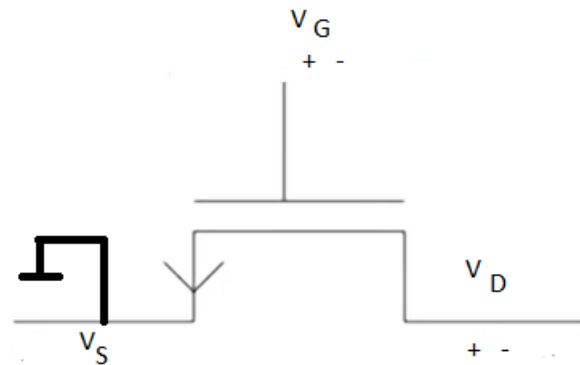
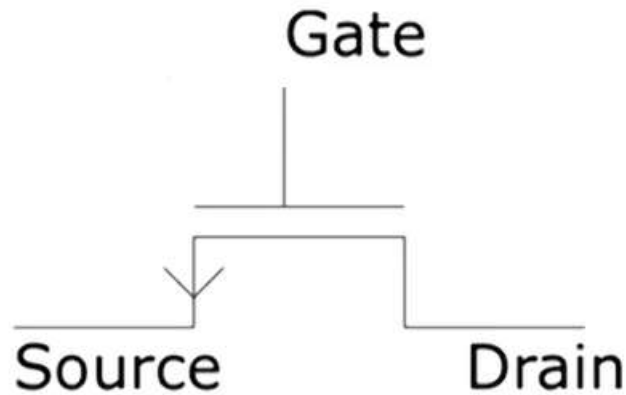
Modulul 1

Noțiuni de bază pentru tranzistorul MOS

Ce vom studia în modulul 1 ?

- MOSFET ca și switch
- Structura MOSFET-ului
- Tipuri de MOSFET
- Tensiunea de prag a unui MOSFET (threshold voltage)
- Caracteristicile curent – tensiune ($I - V$)
- Caracteristicile de transfer și panta sub-threshold
- Ecuațiile de bază

MOSFET ca și switch



- MOSFET-ul poate fi considerat ca un switch care operează cu un anumit **biasing**
- Aplicând o anumită tensiune pe **Gate** pot manipula fluxul de curent de la S la D
- Fluxul de electroni este dirijat de intensitatea câmpului electric prezent în dispozitiv
- Biasing = câte tensiune se aplică pe G, S și D.
Aplicarea tensiunilor dorite pe cele 3 terminale ale MOSFET-ului astfel încât Dispozitivul comută din starea ON în OFF și viceversa

$$V_{DS} = V_D - V_S$$

$$V_{GS} = V_G - V_S = V_G - 0 = V_G$$

MOSFET ca și switch

- Pentru ce valoare a tensiunii **Gate**, dispozitivul va comuta în starea ON (threshold voltage) ?
- Odată ce dispozitivul comută în starea ON \Rightarrow vom avea flux de curent de la S la D.
- Conform legii lui Ohm apare o rezistență (R_{ON}) ce poate fi determinată și ea poate varia.
- Deci, pot aplica un anumit bias pentru modificarea lui $R_{ON} \Rightarrow$ **pot modifica fluxul de curent din dispozitiv.**
- Întârzierea $\tau = RC$. Dacă rezistența și capacitanța dispozitivului sunt mari \Rightarrow întârzierea este și ea mare

Structura MOSFET-ului

Stratul Poly = poly siliciu sau metal. Metal deoarece acest material are o capabilitate bună de a transporta curent – Rezistivitate foarte mică și conductivitate mare \Rightarrow disipare mică de putere

n^+ = o regiune mare de electroni dopați n^+

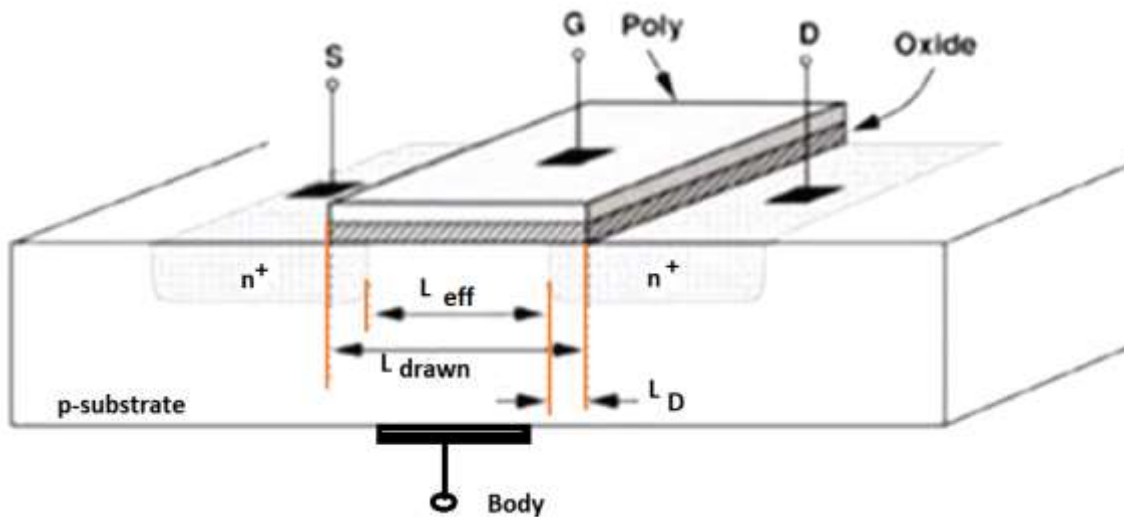
Stratul Oxide = t_{ox} \rightarrow SiO_2 = dioxid de siliciu

L_{drawn} = lungimea porții

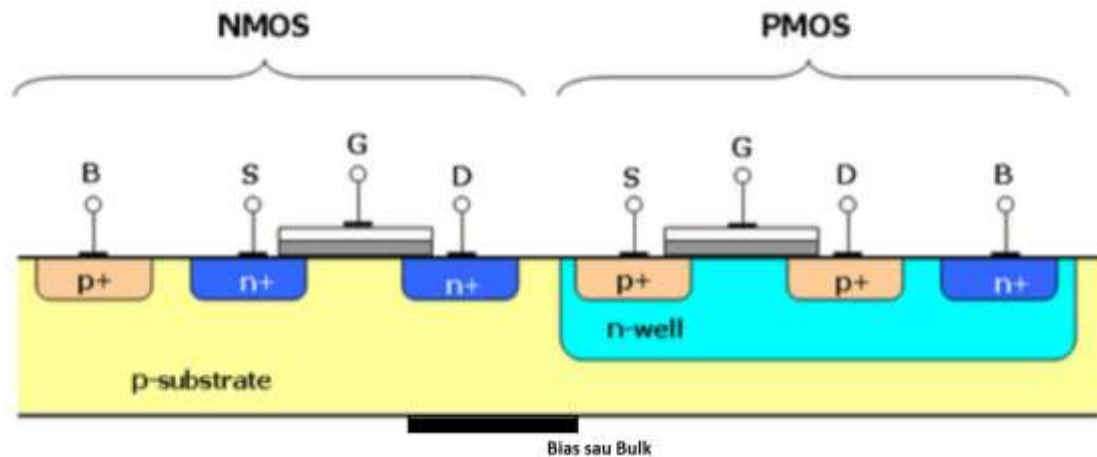
Pătratele negre sunt contacte (din metal). Stratul de top întotdeauna din metal.

Side Diffusion Length = deplasarea în timp a regiunilor de tip n

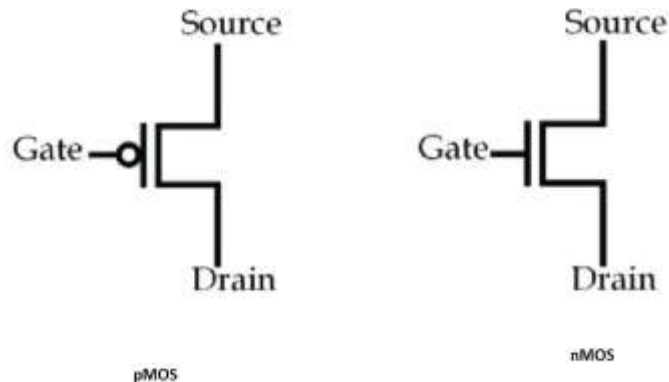
$L_{eff} = L_{drawn} - 2L_D$ unde L_D este L_{DS} și L_{DD}



Procesul n well



Sursa: Google Images

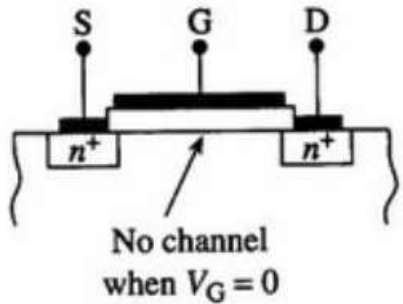


- Substratul **Bias** trebuie conectat cu partea cea mai negativă a sistemului (nMOS) și la cea mai pozitivă (pMOS)
- nMOS și pMOS sunt de regulă în același wafer în care un dispozitiv poate fi plasat în substratul local denumit well.
- $V_{SB} = V_S - V_B$

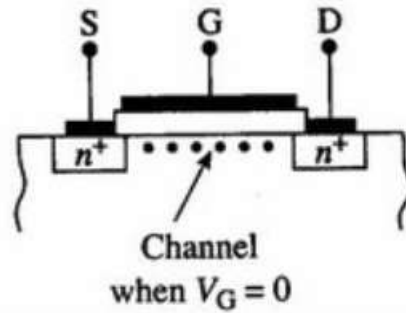
Cum funcționează un MOSFET ?

R. F. Pierret, Semiconductor Device Fundamentals, Fig. 15.15

Enhancement Mode



Depletion Mode



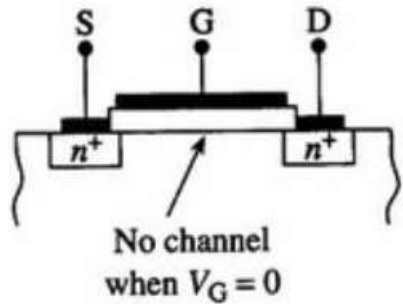
Sursa: Google Images

- Dacă nu aplicăm nici un bias vom avea o regiune de depletion egală și foarte subțire.
- Dimensiunea regiunilor este aceeași iar concentrația dopajelor este fixă =»
- o regiune mare pentru găuri este disponibilă =»
- nu există electroni în această regiune =»
- nu există o cale directă între S și D pentru a se muta electronii de la S la D =»
 $V_G = 0; V_D = 0; V_S = 0; V_B = 0$ =»
- nu există deplasare de electroni =»
- mod de operare **CUT OFF**

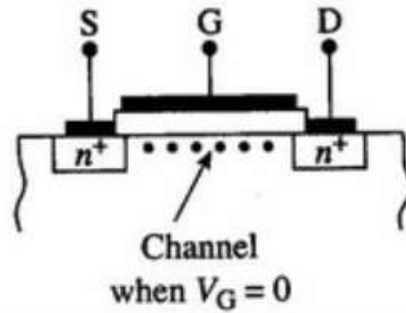
Cum funcționează un MOSFET ?

R. F. Pierret, Semiconductor Device Fundamentals, Fig. 15.15

Enhancement Mode



Depletion Mode



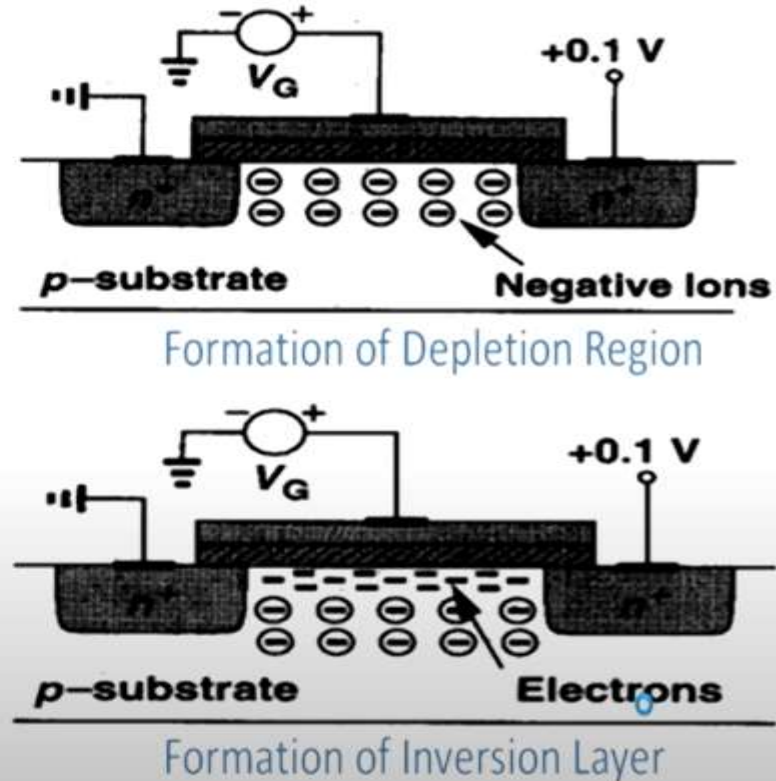
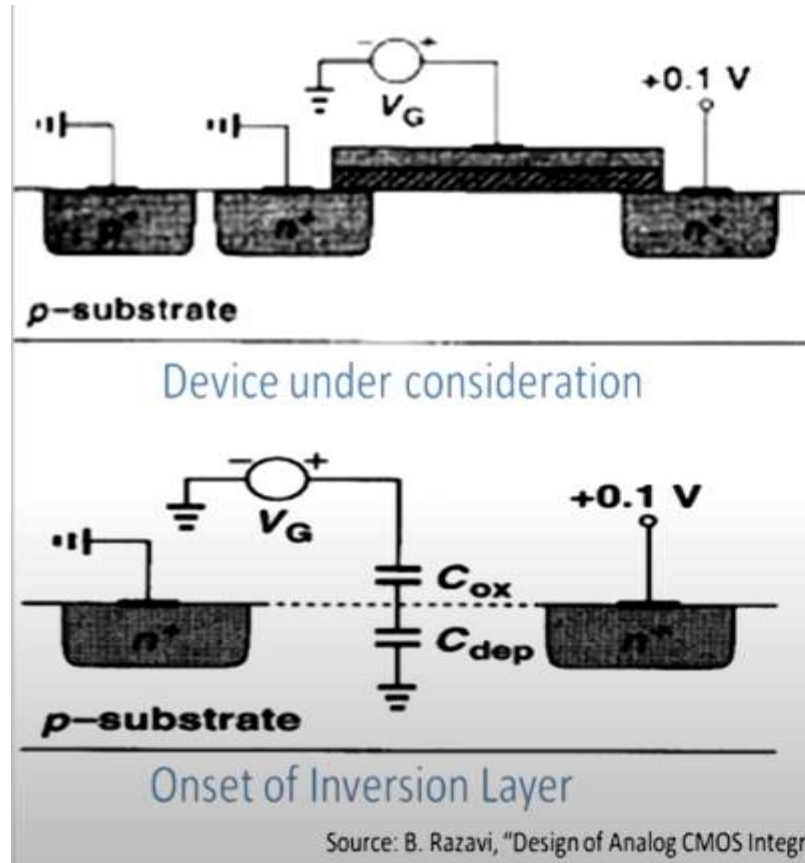
Sursa: R.F. Pierret, „Semiconductor Device Fundamental”
Addison Wesley Longman

La pMOS: $V_G < 0$; $V_D < 0$; $n - sub$; p^+ ; p^+

$$V_G = \uparrow; V_D = 0; V_S = 0; V_B = 0 \Rightarrow$$

- Găurile se vor deplasa în jos \Rightarrow
- Apariția unei regiuni de depletion disponibilă între cele 2 straturi n^+ \Rightarrow
- În interiorul acestei regiuni apar electroni din substratul de tip p dar și din regiunea n^+ a lui V_S .
- Dacă mărim valoarea lui $V_D = 0.1, 0.2 \text{ etc}$ atunci electronii se vor deplasa de la S la D \Rightarrow
- apare curent

Moduri existente



Dacă se scade t_{ox} atunci V_G va veni foarte aproape de canal =»

crește câmpul electric =»

crește valoarea lui C_{ox} =»

număr mare de sarcini electrice în canal

t_{ox} joacă un rol vital în determinarea punctului în care dispozitivul nostru va trece din starea ON în starea OFF (în comutarea dispozitivului)

$$V_{TH} = \Phi_{MS} + 2\Phi_F + \frac{Q_{dep}}{C_{ox}}$$

Threshold voltage = V_G la care canalul este format sau la care canalul este inversat

$$C_{ox} = \frac{\epsilon_{ox}}{t_{ox}}; \text{ unde } \epsilon_{ox} = 3.9 \epsilon_0 = 3.9 \times 8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$$