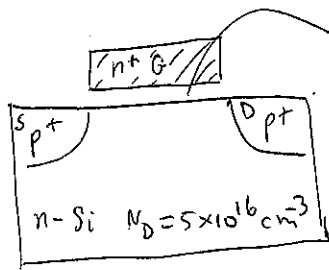


6.10



$t_{ox} = 100 \text{ \AA}$  and  $C_i = 3.45 \times 10^{-7} \text{ F/cm}^2$   
 (1.6 x 10^-19 C/electron)  
 $Q_i = 2 \times 10^{11} \text{ qC/cm}^2$

Plot  $C-V$  characteristics for  $C_{min}, C_{max}$  at  $V_G = 0V, V_T$

$C_{max} = C_i = 3.45 \times 10^{-7} \text{ F/cm}^2$  (strong inversion)  
 $C_{min}$  at  $V_G = 0V$   
 $\frac{1}{C_{min}} = \frac{1}{C_i} + \frac{1}{C_{dmin}}$  where  $C_{dmin} = \frac{\epsilon_{Si} \epsilon_0}{W_{max}}$

$C_i = \frac{\epsilon_i}{d} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_{Si}}{d} = \frac{3.9 \times 8.85 \times 10^{-14} \text{ F/cm}}{10^{-6} \text{ cm}} = 3.45 \times 10^{-7} \text{ F/cm}^2$

where  $W_{max} = \sqrt{\frac{2\epsilon_{Si} \phi_s}{qN_D}}$  (6-30) where  $\phi_s = 2\phi_F = \frac{2kT}{q} \ln \frac{N_D}{n_i}$  (6-15)

where (1)  $\phi_s = 2 \times 0.026 \ln \frac{5 \times 10^{16}}{10^{10}} = 0.8 \text{ V}$  (inversion level)

(2) where  $W_m = \left( \frac{2 \times 11.8 \times 8.85 \times 10^{-14} \text{ F/cm} \cdot 0.8 \text{ V}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ C} \cdot 5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}} \right)^{1/2} = 1.44 \times 10^{-5} \text{ cm}$   
 (oxide thickness is 2)

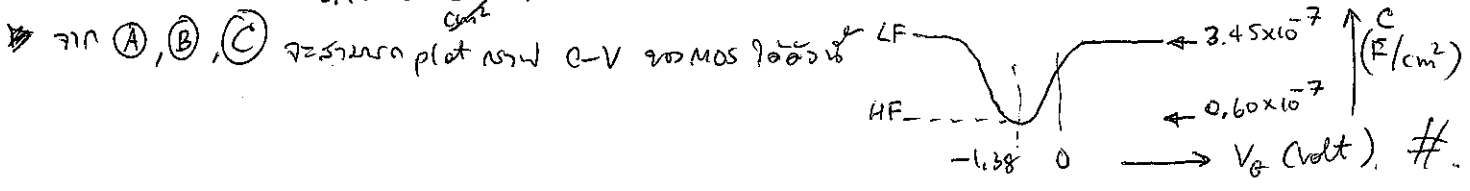
(3) where  $C_{dmin} = \frac{11.8 \times 8.85 \times 10^{-14} \text{ F/cm}}{1.44 \times 10^{-5} \text{ cm}} = 7.23 \times 10^{-8} \text{ F/cm}^2$

(4) where  $\frac{1}{C_{min}} = \frac{1}{3.45 \times 10^{-7}} + \frac{1}{7.23 \times 10^{-8}} \rightarrow C_{min} \approx 6 \times 10^{-8} \text{ F/cm}^2$  (B)

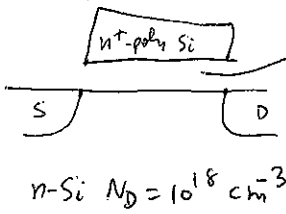
$V_T = \phi_{ms} - \frac{Q_i}{C_i} - \frac{Q_d}{C_i} + 2\phi_F$  (6-38) where  $Q_d = +qN_D \cdot W_m = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C} \cdot \frac{5 \times 10^{16}}{\text{cm}^3} \cdot 1.44 \times 10^{-5} \text{ cm}$   
 $\therefore Q_d = 1.15 \times 10^{-7} \text{ C/cm}^2$

where  $\phi_{ms} - N_D$  (for  $n^+poly - n-Si$ ) is 4.1 where  $N_D = 5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3} \rightarrow \phi_{ms} = -0.15 \text{ V}$

$\therefore V_T = -0.15 - \frac{2 \times 10^{11} \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}}{3.45 \times 10^{-7} \text{ F/cm}^2} - \frac{1.15 \times 10^{-7} \text{ C/cm}^2}{3.45 \times 10^{-7} \text{ F/cm}^2} - 0.8 = -1.38 \text{ V}$  (C)



6.12



$t_{ox} = 50 \text{ \AA} = 50 \times 10^{-8} \text{ cm}$ ,  $C_i = \epsilon_0 \epsilon_{SiO_2} / d$   
 $\rightarrow C_i = \frac{3.9 \times 8.85 \times 10^{-14} \text{ F}}{50 \times 10^{-8} \text{ cm}} = 6.9 \times 10^{-7} \text{ F/cm}^2$

$n\text{-Si } N_D = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$

$Q_i = 2 \times 10^{10} \frac{q \cdot C}{\text{cm}^2}$

(4)  $V_T = \phi_{ms} - \frac{Q_i}{C_i} - \frac{Q_d}{C_i} + 2\phi_F$

(3)  $Q_d = +q \cdot N_D \cdot W_m$

(2)  $W_m = \sqrt{\frac{2\epsilon_s \phi_s}{q N_D}}$

(1)  $|\phi_s| = 2\phi_F = \frac{2kT}{q} \ln \frac{N_D}{n_i}$

from (1)  $r=10^{-1}$   $|\phi_s| = 2 \times 0.026 \ln \frac{10^{18}}{10^{10}} = 0.958 \text{ V}$

(2)  $r=10^{-1}$   $W_m = \left\{ \frac{2 \times 11.8 \times 8.85 \times 10^{-14} \text{ F} \cdot 0.958 \text{ cm}^3}{1.6 \times 10^{-19} \text{ C}} \right\}^{1/2} = 3.54 \times 10^{-6} \text{ cm}$

increasing  $r$

(3)  $r=10^{-1}$   $Q_d = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C} \cdot \frac{10^{18}}{\text{cm}^3} \cdot 3.54 \times 10^{-6} \text{ cm} = 5.66 \times 10^{-7} \text{ C/cm}^2$

increasing  $r$

(4)  $r=10^{-1}$   $V_T = -0.1 - \frac{2 \times 10^{10} \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ C/cm}^2}{6.9 \times 10^{-7} \text{ F/cm}^2} - \frac{5.66 \times 10^{-7}}{6.9 \times 10^{-7}} - 0.958 = -1.88 \text{ V}$  #

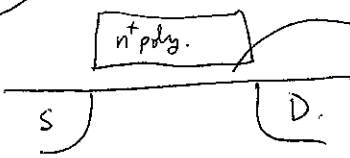
the Enhancement MOSFET for  $V_G \leq -1.88 \text{ V}$  will create an inversion layer or p-channel.

for enhancement  $V_T$  is  $0 \text{ V}$  so  $\Delta V_T = 1.88 \text{ V}$  is the threshold voltage.

$\Delta Q = C \Delta V_T$  dose  $F_B = \frac{\Delta Q}{q}$

$\therefore F_B = \frac{\Delta Q}{q} = \frac{C \Delta V_T}{q} = \frac{6.9 \times 10^{-7} \text{ (F/cm}^2\text{)} (1.88 \text{ V})}{1.6 \times 10^{-19} \text{ C/ion}} = 8.1 \times 10^{12} \text{ ions/cm}^2$  #

6.19-6.20



$t_{ox} = 100 \text{ \AA} \rightarrow C_i = 3.45 \times 10^{-7} \text{ F/cm}^2$  (value for  $\epsilon_0 \epsilon_r$ )  
 $Q_i = 5 \times 10^{10} \frac{q}{\text{cm}^2}$

p-Si  $N_A = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$

ขั้นตอนที่ 1 หา  $V_T$  โดยให้  $I_D = 0$  และ  $V_G = 0$  (threshold voltage) หรือ  $V_G = V_T$   
 ขั้นตอนที่ 2 หา  $W_m$  (depletion width) จากสมการ Poisson's equation

$$V_T = \phi_{ms} - \frac{Q_i}{C_i} - \frac{Q_d}{C_i} + 2\phi_F \quad \text{เมื่อ } Q_d = -qN_A \cdot W_m$$

$$\text{เมื่อ } W_m = \left( \frac{2\epsilon_s \phi_s}{qN_A} \right)^{1/2} \quad \text{เมื่อ } \phi_s = 2\phi_F = \frac{2kT}{q} \ln \frac{N_A}{n_i}$$

ขั้นตอนที่ 3 หา  $V_T$  โดยใช้สมการที่ 1 และ 2  
 ขั้นตอนที่ 4 หา  $W_m$  โดยใช้สมการที่ 2 และ 3

ขั้นตอนที่ 1  $\phi_s = 0.026 \ln \frac{10^{18}}{10^{10}} = 0.958 \text{ V}$  (ค่าบวก)

ขั้นตอนที่ 2  $W_m = 3.54 \times 10^{-6} \text{ cm}$  (ค่าบวก)

ขั้นตอนที่ 3  $Q_d = -5.66 \times 10^{-7} \text{ C/cm}^2$  (ค่าลบ)

ขั้นตอนที่ 4  $V_T = -1.1 - \frac{5 \times 10^{10} \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ C/cm}^2}{3.45 \times 10^{-7} \text{ F/cm}^2} - \left( \frac{-5.66 \times 10^{-7}}{3.45 \times 10^{-7}} \right) + 0.958 \text{ V}$   
 (ค่าลบ  $N_A = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )

$V_T = 1.48 \text{ V}$

ขั้นตอนที่ 5 หา  $k_n$  โดยใช้สมการ  $k_n = \mu_n C_i \frac{Z}{L}$

$k_n = \mu_n \cdot C_i \cdot \frac{Z}{L} = 200 \frac{\text{cm}^2}{\text{V}\cdot\text{s}} \cdot 3.45 \times 10^{-7} \frac{\text{F}}{\text{cm}^2} \cdot \frac{50 \mu\text{m}}{2 \mu\text{m}} = 1.725 \text{ mA/V}^2$

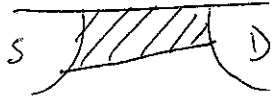
ขั้นตอนที่ 6 หา  $V_G$  โดยใช้สมการ  $I_D = k_n (V_G - V_T)^2$  (ค่าบวก  $V_G > V_T$ )

1.500) වැඩසටහන.  $V_G = 5V$ ,  $V_D = 0.1V$

↑  
 source:  $V_{GS} = 5V > V_T$  (1.48V) ∴ 2<sup>nd</sup> inversion layer

↑  
 drain:  $V_{GD} = V_G - V_D = 5 - 0.1 = 4.9V > V_T$  ∴ 2<sup>nd</sup> inversion layer

ආරාමය channel තිබේ බැවින් වැඩසටහන



inversion layer තිබේන S → D ∴ MOSFET operates linear region

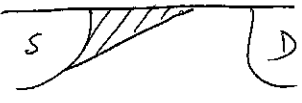
$$I_D = k_N \left\{ (V_G - V_T)V_D - \frac{V_D^2}{2} \right\} = 1.725 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2} \left\{ (5 - 1.48)0.1 - \frac{0.1^2}{2} \right\} = 0.6 \text{ mA} \quad \text{A}$$

1.500) වැඩසටහන.  $V_G = 3V$ ,  $V_D = 5V$

↑  
 source:  $V_{GS} = 3V > V_T$  ∴ 2<sup>nd</sup> inv. layer

↑  
 drain:  $V_{GD} = V_G - V_D = 3 - 5 = -0.2V < V_T$  ∴ 2<sup>nd</sup> inv. layer

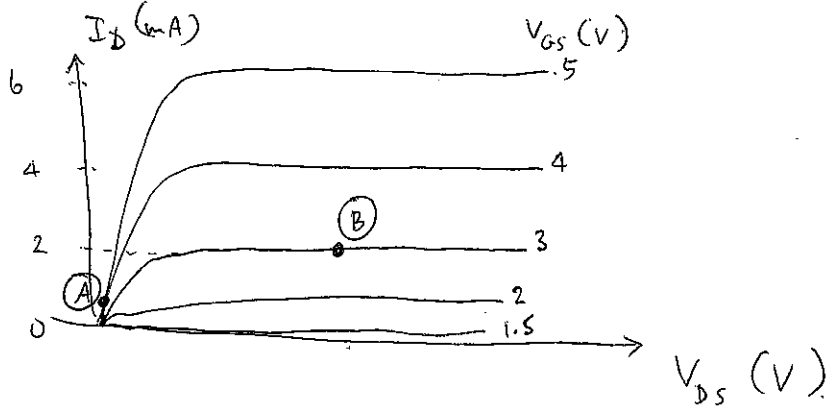
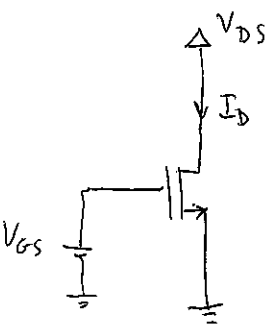
ආරාමය channel තිබේ බැවින් වැඩසටහන



inversion layer තිබේන S → D ∴ MOSFET operates saturation region

$$I_{Dsat} = \frac{k_N}{2} (V_G - V_T)^2 = \frac{1.725 \text{ mA}}{2} (3 - 1.48)^2 = 2 \text{ mA} \quad \text{B}$$

∴ ආරාමය I-V

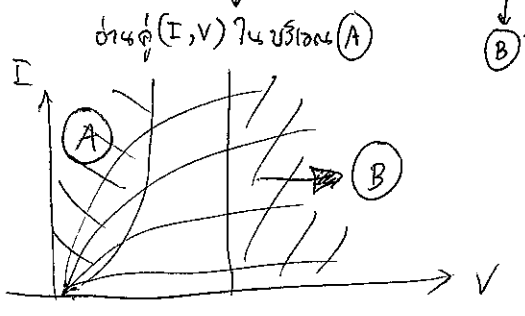


#

6.22

ข้อนี้คือหา  $V_T$  และ  $k_N$  จากค่า linear และ saturation จะหาได้แน่นอน  
 แต่ข้อนี้หา  $V_T$  และ  $k_N$  คือ ให้สมมติให้  $V_D = 0.25V$  (จากข้อ 1) แล้วใช้ค่า  $k_N$  สมมติที่ข้อ 1/2 ออกมา

โดยปกติสมการจะหา  $V_T$  และ  $k_N$  จากค่า linear และ saturation จะหาได้แน่นอน



1. ถ้าหา  $V_T$  และ  $k_N$  จากค่า linear.  $I_D = k_N \left\{ (V_G - V_T) V_D - \frac{V_D^2}{2} \right\}$  (1)

จากสมมติให้  $V_D = 0.25V$  และ

$V_G = 5V$   $\gamma = 10^{-4}$   $I_D = 0.8 \text{ mA}$  (1)

หรือ  $V_G = 4V$  "  $I_D = 0.4 \text{ mA}$  (2)

แทนค่าใน (1) และ (2)  $\gamma = 10^{-4}$

$0.8 \text{ mA} = k_N \left\{ (5 - V_T) 0.25 - \frac{0.25^2}{2} \right\}$  (3)

และ (2) และ (1)  $\gamma = 10^{-4}$

$0.4 \text{ mA} = k_N \left\{ (4 - V_T) 0.25 - \frac{0.25^2}{2} \right\}$  (4)

(3)/(4)  $\rightarrow 2 = \frac{(5 - V_T) 0.25 - 0.03125}{(4 - V_T) 0.25 - 0.03125} \rightarrow V_T = 2.875 \text{ V}$  #

แทนค่าใน (3) หรือ (4)  $\gamma = 10^{-4}$   $k_N = 1.6 \text{ mA/V}^2$

2. ถ้าหา  $V_T$  และ  $k_N$  จากค่า saturation  $I_D = \frac{k_N}{2} (V_G - V_T)^2$  (1)

จากสมมติให้  $V_D = 2V$  และ

$V_G = 5V$   $\gamma = 10^{-4}$   $I_D = 1.4 \text{ mA}$  (5)

หรือ  $V_G = 4V$  "  $I_D = 0.6 \text{ mA}$  (6)

แทน (5) และ (6)  $\gamma = 10^{-4}$

$1.4 \text{ mA} = \frac{k_N}{2} (5 - V_T)^2$  (7)

(6) " (6) " "

$0.6 \text{ mA} = \frac{k_N}{2} (4 - V_T)^2$  (8)

(7)/(8)  $\rightarrow 2.33 = \left( \frac{5 - V_T}{4 - V_T} \right)^2 \rightarrow V_T = 2.1 \text{ V}$  #

แทนค่าใน (7) หรือ (8)  $\gamma = 10^{-4}$   $k_N = 0.33 \text{ mA/V}^2$