

سؤال ①

$$L=x \Rightarrow \mu_n C_{ox} W \left[ (V_{GS} - V_t) V(x) - \frac{V(x)^2}{2} \right] = I_D \cdot x$$

(الف)

$$\Rightarrow V(x)^2 - 2(V_{GS} - V_t) V(x) + \frac{2I_D x}{\mu_n C_{ox} W} = 0$$

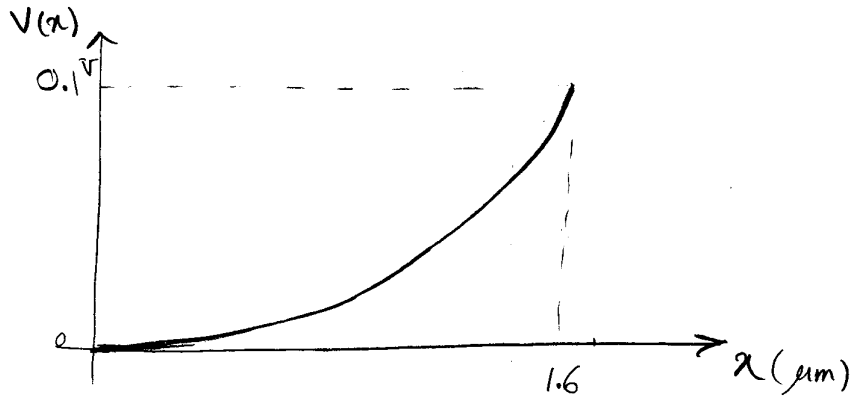
$$\Rightarrow V(x) = (V_{GS} - V_t) \pm \sqrt{(V_{GS} - V_t)^2 - \frac{2I_D x}{\mu_n C_{ox} W}}$$

تفاضل  $\ominus$  قابلية

تساوي  $\Rightarrow$

$$V(x) = 0.3 - \sqrt{0.09 - 0.03125 x}$$

$$* I_D = \frac{\mu_n C_{ox} W}{L} \left[ (V_{GS} - V_t) V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right] = 143.75 \mu A$$



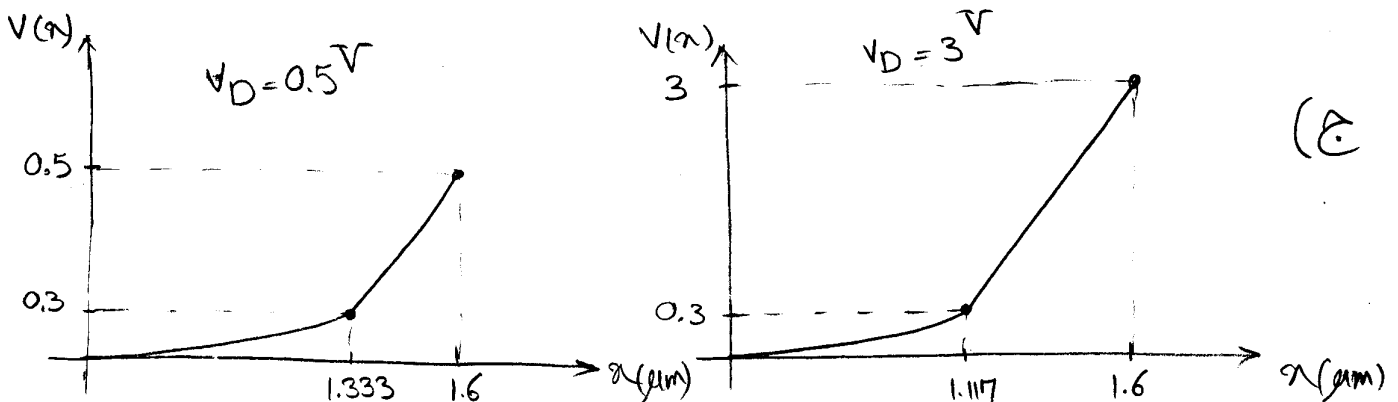
$$K_{ds} = \sqrt{\frac{2K_s \epsilon_0}{q N_A}} = \sqrt{\frac{2 \times 11.8 \times 8.854 \times 10^{-12}}{1.6 \times 10^{-19} \times 2 \times 10^{22}}} = 2.55 \times 10^{-7} \frac{m}{\sqrt{V}}$$

(ب)

$$V_{D-ch} = V_{DS} - (V_{GS} - V_t) = V_{DG} + V_t$$

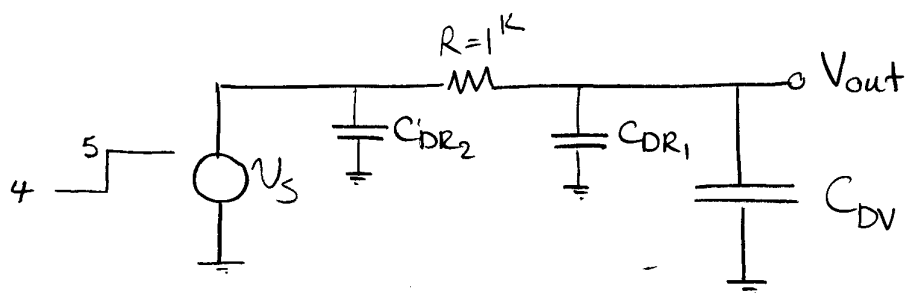
$$V_D = 0.5V \Rightarrow X_d = 2.55 \times 10^{-7} \times \sqrt{(0.5 - 1.1) + 0.8 + 0.9} = 2.67 \times 10^{-7} m = 267 nm$$

$$V_D = 3V \Rightarrow X_d = 2.55 \times 10^{-7} \times \sqrt{(3 - 1.1) + 0.8 + 0.9} = 4.83 \times 10^{-7} = 483 nm$$



(ج)

سؤال ۲



\*  $C_{DR2}$  چون با منبع موازی است، اثری ندارد.

$$t=0 \text{ در لحظه } 4: V_R = 4^V \Rightarrow \begin{cases} C_{DV} = \frac{3 \text{ pF}}{\left(1 + \frac{4}{0.65}\right)^{0.5}} = 1.12 \text{ pF} \\ C_{DR1} = \frac{0.2 \text{ pF}}{\left(1 + \frac{4}{0.65}\right)^{0.4}} = 0.091 \text{ pF} \end{cases}$$

کمان بالای زمان مورد نظر

$$\tau = 1^k (1.12^p + 0.09^p) = 1.21 \text{ ns}$$

$$V_0 = 5 + (4-5)e^{-\frac{t}{\tau}} = 5 - \frac{1}{2}e \Rightarrow t = 2\tau$$

$$\Rightarrow \boxed{t_{\max} = 2.42 \text{ ns}}$$

$$t=\infty \text{ در لحظه } 5: V_R = 5^V \Rightarrow \begin{cases} C_{DV} = \frac{3 \text{ pF}}{\left(1 + \frac{5}{0.65}\right)^{0.5}} = 1.02 \text{ pF} \\ C_{DR1} = \frac{0.2 \text{ pF}}{\left(1 + \frac{5}{0.65}\right)^{0.4}} = 0.08 \text{ pF} \end{cases}$$

کمان با پایین زمان مورد نظر

$$t_{\min} = 2\tau = 2 [1^k \times (1.02 + 0.08) \text{ pF}] = 2.2 \text{ ns}$$

$$\Rightarrow \boxed{t_{\min} = 2.2 \text{ ns}}$$

سؤال ۳

$$R_{out_c} = r_{ds_{2B}} \parallel r_{ds_2} \left[ 1 + g_{m_2} \left( \frac{1}{g_{m_1}} \left( 1 + \frac{r_{ds_{1B}}}{r_{ds_1}} \right) \right) \right]$$

الف

\* برای NMOS چون بده نب  
Source متصل است اثر دهنه نداریم.

$$r_{ds_{2B}} = \frac{12000 \times 1.6}{0.1} = 192 \text{ K}\Omega = r_{ds_{1B}}$$

$$r_{ds_2} = \frac{8000 \times 1.6}{0.1} = 128 \text{ K} = r_{ds_1}$$

$$g_{m_1} = g_{m_2} = 1.1 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$$

$$\Rightarrow R_{out_c} = 192 \text{ K} \parallel 128 \text{ K} \left[ 1 + 1.1 \text{ m} \times \left( \frac{1}{1.1 \text{ m}} \left( 1 + \frac{192}{128} \right) \right) \right] = 134.4 \text{ K}\Omega$$

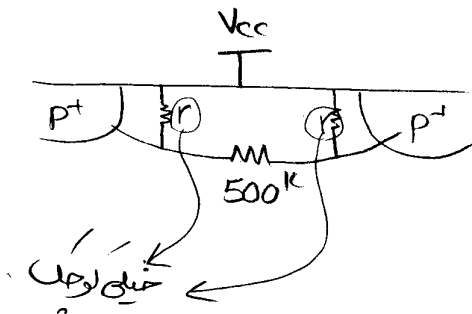
$$K_c = 85 \times 85 \times \frac{55 \text{ K}}{55 \text{ K} + 500 \text{ K}} = 716$$

ب

ج) مسئله اساسی، وجود مقاومت  $500 \text{ K}$  است. باید سعی کنیم این مقاومت را حذف کنیم:

① device های  $Q_{2B}$  و  $Q_{6B}$  را تا حد امکان در ازم سازیم تا مقاومت بیشتان افزایش پیدا کند.

② n-sub را به  $V_{cc}$  وصل کنیم تا AC Ground شود و این مقاومت حذف شود.



سؤال ۱۴

الف) Field Oxide ضخامت بسیار بیشتری دارد تا در اثر اعمال ولتاژ روی آن، به طور ناخواسته زیر آن کانالی تشکیل نشود. ضمن اینکه این Oxide با روش deposition که سریعتر روی نلغوب تر از روش ساخت Gate Ox. است می سازند.

Gate Oxide بسیار نازک بوده و ساختار یک نواخت تر و مرغوب تری دارد و چون رسد آن آهسته تر صورت می گیرد می توانیم لایه های بیشتری با کثرت بیشتری ایجاد کنیم.

ب) ولتاژ مثبت لازم است.

$$\text{Gate Ox. زیر} \rightarrow V_t = \phi_{MS} - 2\phi_F + \frac{\sum Q}{C_{ox-g}} \Rightarrow \frac{\sum Q}{C_{ox-g}} = 0.8 - 0.15 = 0.65 \text{ V}$$

$$t_{ox-f} = 20 t_{ox-g} \Rightarrow C_{ox-f} = \frac{1}{20} C_{ox-g}$$

$$\Rightarrow V_{t-f} = \phi_{MS} - 2\phi_F + \frac{\sum Q}{C_{ox-f}} = \phi_{MS} - 2\phi_F + \frac{20 \sum Q}{C_{ox-g}}$$

$$\Rightarrow V_{t-f} = 0.15 + 20 \times 0.65 = 13.15 \text{ V}$$

ج) - زیرا دمای ذوب Poly-Si از ملزات بیشتر است و در فرایند Annealing یا Diff برای S و D در Self-Aligned device ذوب نمی شود و خود به عنوان mask برای تشکیل S و D در درگیت عمل می کند.  
- زیرا تیزی های ملز، Gate Ox. را سوراخ می کند.

د) نوع P- تا doping حفزه ها در زیر field Ox. افزایش پیدا کرده و  $V_{th}$  در آن ناحیه زیادتر شود.

سؤال 5

$$V_{BE3} = 0.7V \Rightarrow I_{ref} = \frac{5V - 0.7V}{43K} = 0.1mA$$

(الف)

$$V_{BE1} = V_{BE3} - I_{ref} R_2 = 0.7V - 0.1mA \times 260\Omega = V_{BE3} - 26mV = V_{BE3} - V_T$$

$$\frac{I_1}{I_{ref}} = \frac{I_S e^{\frac{V_{BE1}}{V_T}}}{I_S e^{\frac{V_{BE3}}{V_T}}} = e^{\frac{V_{BE3} - V_T}{V_T} - \frac{V_{BE3}}{V_T}} = e^{-1} = \frac{1}{e} \Rightarrow I_1 = \frac{I_{ref}}{e} = 36.8 \mu A$$

$$\begin{cases} V_{BE1} = V_{BE2} + I_2 R_3 \\ V_{BE1} = V_{BE3} - V_T \end{cases} \Rightarrow V_T \ln \frac{I_{ref}}{I_S} - V_T = V_T \ln \frac{I_2}{I_S} + I_2 R_3$$

$$\Rightarrow R_3 = \frac{V_T}{I_2} \left( \ln \frac{I_{ref}}{I_2} - 1 \right) = 1032.5 \Omega$$

$$R_{out1} = r_{o1}$$

(ب)

$$R_{out2} = r_{o2} (1 + g_{m2} (R_3 \parallel r_{\pi2}))$$

$$I_1 = 36.8 \mu A \Rightarrow r_{o1} = 543.5K \Rightarrow R_{out1} = 543.5K$$

$$I_2 = 18 \mu A \Rightarrow \begin{cases} r_{o2} = 1111K \\ g_{m2} = \frac{I_2}{V_T} = 0.69 \text{ mmho} \\ r_{\pi2} = \frac{\beta V_T}{I_2} = 144.4K \end{cases} \Rightarrow R_{out2} = 1872.3K$$

$$I_{ref} = \frac{4.3V}{R_1} = \frac{4.3V}{R_{IN}(1 + \epsilon_r)} \approx \frac{4.3V}{R_{IN}} (1 - \epsilon_r) = 0.1mA (1 - \epsilon_r) \Rightarrow \epsilon_{I_{ref}} = 1\% \quad (\text{ج})$$

$$\frac{I_1}{I_{ref}} = \frac{e^{\frac{V_{BE3} - I_{ref} R_2}{V_T}}}{e^{\frac{V_{BE3}}{V_T}}} \Rightarrow I_1 = I_{ref} e^{-\frac{R_2 I_{ref}}{V_T}}$$

$$\frac{\Delta I_1}{\Delta I_{ref}} \approx \frac{\partial I_1}{\partial I_{ref}} = e^{-\frac{R_2 I_{ref}}{V_T}} - I_{ref} \frac{R_2}{V_T} e^{-\frac{R_2 I_{ref}}{V_T}} = \left( 1 - \frac{R_2 I_{ref}}{V_T} \right) e^{-\frac{R_2 I_{ref}}{V_T}}$$

$$\left. \begin{array}{l} R_2 = 260 \Omega \\ I_{ref} = 0.1 \text{ mA} \\ V_T = 26 \text{ mV} \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{\Delta I_1}{\Delta I_{ref}} = 0 !$$

پس تغیرات  $I_1$  باہر خلیج کم ہوں گے۔ از روں دیکھیں استقامت لینیم :  $I_{ref} \rightarrow 0.99 I_{ref}$

$$I_1 = 0.99 I_{ref} e^{-\frac{0.99 I_{ref} R_2}{V_T}} = 0.99 \times 0.1 \text{ mA} \times e^{-0.99} = 36.786 \mu\text{A}$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta I_1}{I_1} = \left(1 - \frac{36.786}{0.1}\right) \times 100 = 5 \times 10^{-3} \% = 0.00005$$

$$V_{BE1} = V_{BE2} + I_2 R_3 \quad (\rightarrow)$$

$$\Rightarrow V_T \ln \frac{I_1}{I_3} = V_T \ln \frac{I_2}{I_3} + I_2 R_3 \Rightarrow V_T \ln \frac{I_1}{I_2} = I_2 R_3$$

$$\frac{\partial}{\partial I_2} V_T \times \frac{1}{\frac{I_1}{I_2}} \times \frac{\frac{\partial I_1}{\partial I_2} I_2 - I_1}{I_2^2} = R_3$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta I_1}{\Delta I_2} \approx \frac{\partial I_1}{\partial I_2} = \frac{I_1 R_3}{V_T} + \frac{I_1}{I_2}$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta I_2}{\Delta I_1} = \frac{1}{\frac{I_1 R_3}{V_T} + \frac{I_1}{I_2}} = \frac{1}{\frac{36.8 \mu\text{A} \times 1 \text{ K}}{26 \text{ mV}} + \frac{36.8 \mu\text{A}}{18 \mu\text{A}}} = 0.289$$

$$\Rightarrow \Delta I_2 = 0.289 \times \Delta I_1 = 0.289 \times \left(\frac{0.1 \text{ mA}}{e} - 36.786 \mu\text{A}\right) = 5.2 \times 10^{-4} \mu\text{A}$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta I_2}{I_2} = \frac{5.2 \times 10^{-4} \mu\text{A}}{18 \mu\text{A}} \times 100 = 2.88 \times 10^{-3} \%$$

سؤال 9

