

Homework 1 (Due date: 09/26)

NMOS Model

| | | | |
|--------------|--------------|---------------|-----------------|
| LEVEL = 1 | VTO = 0.7 | GAMMA = 0.45 | PHI = 0.9 |
| NSUB = 9e+14 | LD = 0.08e-6 | UO = 350 | LAMBDA = 0.1 |
| TOX = 9e-9 | PB = 0.9 | CJ = 0.56e-3 | CJSW = 0.35e-11 |
| MJ = 0.45 | MJSW = 0.2 | CGDO = 0.4e-9 | JS = 1.0e-8 |

PMOS Model

| | | | |
|--------------|--------------|---------------|-----------------|
| LEVEL = 1 | VTO = -0.8 | GAMMA = 0.4 | PHI = 0.8 |
| NSUB = 5e+14 | LD = 0.09e-6 | UO = 100 | LAMBDA = 0.2 |
| TOX = 9e-9 | PB = 0.9 | CJ = 0.94e-3 | CJSW = 0.32e-11 |
| MJ = 0.5 | MJSW = 0.3 | CGDO = 0.3e-9 | JS = 0.5e-8 |

HW1.1: (30%)

- (a) 請寫出通道長度調變(channel length modulation, CLM)效應之成因。
 (b) 請解釋為何通道長度調變效應會使電晶體之電流公式修改為與 V_{DS} 有關(如下式)。

$$I_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \left(\frac{W}{L} \right) (V_{GS} - V_{TH})^2 (1 + \lambda V_{DS})$$

HW1.2: (20%)

請利用網路上找到的資源作為參考資料(並非是教科書或是上課講義), 寫出 FinFET 的電流公式。並針對一項非理想效應闡述對電流的影響。本題可以直接抄寫參考資料, 但請註明出處。

HW1.3: (20%)

請畫出 pMOST 的小訊號模型。其中的電路參數需要描述, 並考慮通道長度調變效應、基底效應與寄生電容, 愈完整愈好。(Note: 電路參數可根據電流公式得出。)

HW1.4: (30%)

Fig1.4 展示兩種 NMOS 的設計與布局方式。其中, Channel width (W) is $10\mu\text{m}$, and diffusion width (E) is $0.8\mu\text{m}$ 。請利用上方的 spice model table, 寫出 C_{DB} 與 C_{SB} 的電容值是多少?

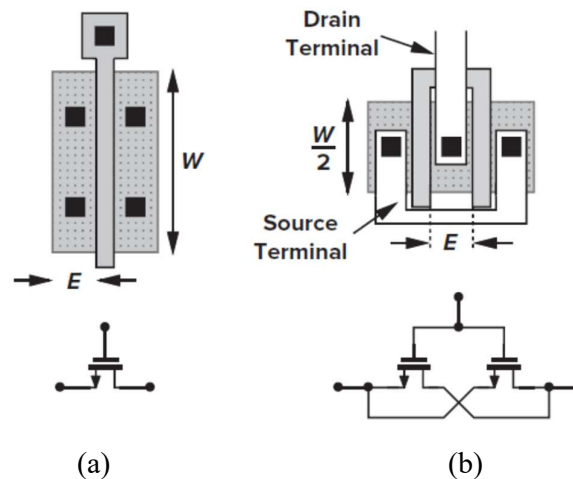


Fig 1.4

HW1.1: (30%)

- (a) 請寫出通道長度調變(channel length modulation, CLM)效應之成因。
- (b) 請解釋為何通道長度調變效應會使電晶體之電流公式修改為與 V_{DS} 有關(如下式)。

$$I_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \left(\frac{W}{L} \right) (V_{GS} - V_{TH})^2 (1 + \lambda V_{DS})$$

a) 在 FET 進入 Saturation Region 後，由於空乏區需要保持電中性，因此當一個電子受到電場影響通過夾止點進入空乏區時，空乏區便會釋放一個電子至汲極端以維持電中性，值得注意的是，此時進入空乏區的電子與離開空乏區的電子並不相同，因此，此時從源極發射的電子並未完全走完 D-S 之間的距離，而施加的 V_{DS} 電壓升至一定程度時，FET 的空乏區會隨著 V_{DS} 的增加而不斷侵入通道。在這種情況下，電子飄移的距離不斷縮短，可視為通道的有效長度縮短。

b) 如上所述，通道調變效應會使 I_D 電流公式當中的參數 L 變小，因此會將原本的電流公式做調整，並且因為此效應是 V_{DS} 造成，因此會引進參數 V_{DS} 。

$$\begin{aligned} \text{原本 } I_D &= \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})^2 \\ &\quad \downarrow \boxed{L \text{ 變成 } L - \Delta L} \quad \text{—— } \Delta L \text{ 為被空乏區吃掉的通道長度} \\ I_D &= \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L - \Delta L} (V_{GS} - V_{TH})^2 \\ &\quad \downarrow \boxed{\text{近似}} \\ I_D &= \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})^2 \left(1 + \frac{\Delta L}{L} \right) \\ &\quad \downarrow \boxed{\frac{\Delta L}{L} \text{ 和 } V_{DS} \text{ 有關, 用 } V_{DS} \text{ 改寫}} \\ I_D &= \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})^2 (1 + \lambda V_{DS}) \end{aligned}$$

HW1.2: (20%)

請利用網路上找到的資源作為參考資料(並非是教科書或是上課講義), 寫出 FinFET 的電流公式。
並針對一項非理想效應闡述對電流的影響。本題可以直接抄寫參考資料, 但請註明出處。

a) An analytical compact drain model for undoped (or lightly doped)
short-channel triple-gate fin-shaped field effect transistors (TG FinFETs)

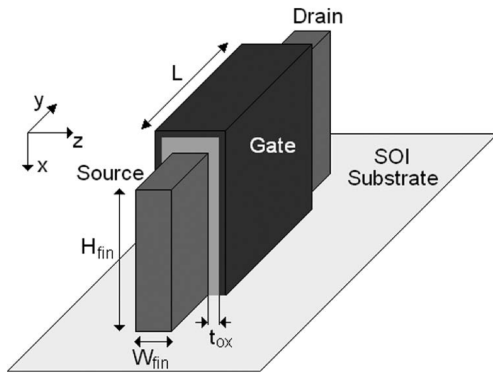


Fig. 1. Schematic 3-D representation of a TG FinFET.

μ_0 : low field electron mobility

ϵ_0 : permittivity of the gate oxide.

$V_{th} = \frac{kT}{q}$ thermal voltage

q_{is} and q_{id} : the values of the normalized
inversion sheet-charge densities

calculated at the source and drain

$$I_d = \mu_0 \frac{2W}{L} \frac{\epsilon_{ox}}{t_{ox}} (2V_{th})^2 \left[\underbrace{(q_{is} - q_{id})}_{(1)} + \underbrace{\frac{1}{2} (q_{is}^2 - q_{id}^2)}_{(2)} \right]$$

①: dominates in the subthreshold region

②: dominates in the above-threshold region.

b) CLM: When the drain-source voltage is increased beyond the saturation voltage $V_{dsat} = V_g - V_t$,
a pinchoff occurs in the channel moving from the drain toward the source.
This displacement, known as CLM effect, makes the channel shorter than the physical
gate length L .

$$I_d = 2W\mu_0 \frac{\epsilon_{ox}}{t_{ox}} (2V_{th})^2 \left[\frac{(q_{is} - q_{id})}{L} + \frac{1}{2} \frac{(q_{is}^2 - q_{id}^2)}{(L - \Delta L)} \right]$$

CLM 造成

參考資料: Compact Model of Drain Current in Short-Channel Triple-Gate FinFETs

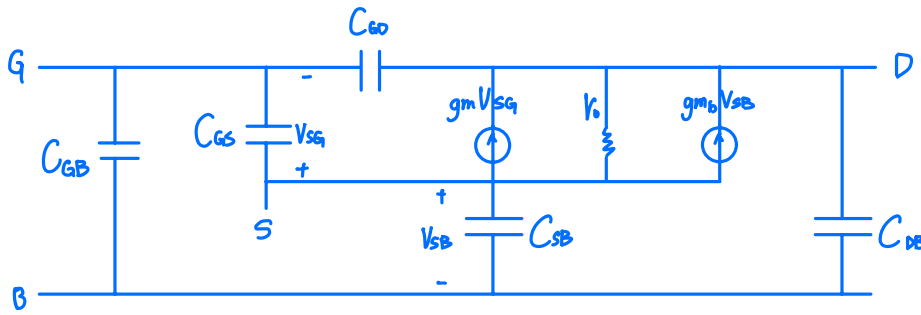
<https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.lib.ntust.edu.tw/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6202679>

a) 小題: 節錄自: 第 II 段 (Compact Drain-Current Model) 之 第 A 段 之 第 2 小節

b) 小題: 節錄自: 第 II 段 (Compact Drain-Current Model) 之 第 B 段

HW1.3: (20%)

請畫出 pMOST 的小訊號模型。其中的電路參數需要描述，並考慮通道長度調變效應、基底效應與寄生電容，愈完整愈好。(Note: 電路參數可根據電流公式得出。)



$$I_D = \frac{1}{2} \mu_p C_{ox} \frac{W}{L} (V_{SG} + V_{TH})^2 (1 + \lambda V_{SD})$$

$$V_{TH} = V_{TH0} + \gamma \left(\sqrt{2\Phi_F + V_{SB}} - \sqrt{2\Phi_F} \right) \quad \left| \quad \gamma = \frac{\sqrt{2q\epsilon_{si} N_{sub}}}{C_{ox}} \right.$$

$$\Phi_F = \frac{KT}{q} \ln\left(\frac{N_{sub}}{n_i}\right)$$

$$r_o = \frac{\partial V_{SD}}{\partial I_D} = \frac{1}{\frac{\partial I_D}{\partial V_{SD}}} = \frac{1}{\frac{\partial \left[\frac{1}{2} \mu_p C_{ox} \frac{W}{L} (V_{SG} + V_{TH})^2 (1 + \lambda V_{SD}) \right]}{\partial V_{SD}}} = \frac{1}{\frac{1}{2} \mu_p C_{ox} \frac{W}{L} (V_{SG} + V_{TH})^2 \cdot \lambda}$$

$$g_m = \left. \frac{\partial I_D}{\partial V_{SG}} \right|_{V_{SD} \text{ constant}} = \left. \frac{\partial \left[\frac{1}{2} \mu_p C_{ox} \frac{W}{L} (V_{SG} + V_{TH})^2 (1 + \lambda V_{SD}) \right]}{\partial V_{SG}} \right|_{V_{SD} \text{ constant}} = \mu_p C_{ox} \frac{W}{L} (V_{SG} + V_{TH})$$

$$g_{mb} = \frac{\partial I_D}{\partial V_{DS}} = g_m \frac{\gamma}{2\sqrt{2\Phi_F + V_{SB}}}$$

HW1.4: (30%)

Fig1.4 展示兩種 NMOS 的設計與布局方式。其中，Channel width (W) is $10\mu\text{m}$, and diffusion width (E) is $0.8\mu\text{m}$ 。請利用上方的 spice model table，寫出 C_{DB} 與 C_{SB} 的電容值是多少？

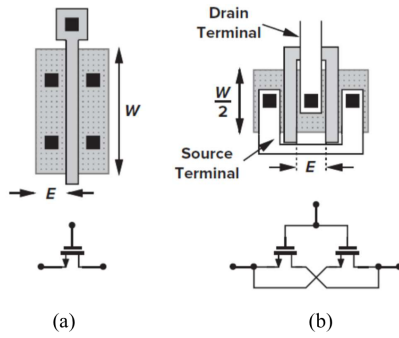


Fig 1.4

$$\begin{aligned} W &= 10\mu\text{m} & C_j &= 0.56 \times 10^{-3} \\ E &= 0.8\mu\text{m} & C_{jsw} &= 0.35 \times 10^{-11} \end{aligned}$$

a) $C_{DB} = C_{SB} = WEC_j + 2(W+E)C_{jsw}$

$$\begin{aligned} &= 10\mu \cdot 0.8\mu \cdot 0.56 \times 10^{-3} + 2 \cdot 10.8\mu \cdot 0.35 \times 10^{-11} \\ &= 4.556 \times 10^{-15} \text{ (F)} \quad \text{✖} \end{aligned}$$

b) $C_{DB} = \frac{W}{2}EC_j + 2\left(\frac{W}{2} + E\right)C_{jsw}$

$$\begin{aligned} &= 5\mu \cdot 0.8\mu \cdot 0.56 \times 10^{-3} + 2 \cdot 5.8\mu \cdot 0.35 \times 10^{-11} \\ &= 2.281 \times 10^{-15} \text{ (F)} \quad \text{✖} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{SB} &= WEC_j + 2(W+2E)C_{jsw} \\ &= 10\mu \cdot 0.8\mu \cdot 0.56 \times 10^{-3} + 2 \cdot 11.6\mu \cdot 0.35 \times 10^{-11} \\ &= 4.561 \times 10^{-15} \text{ (F)} \quad \text{✖} \end{aligned}$$