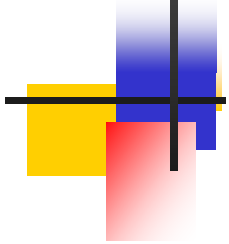


集積回路設計 第5回目 講義資料

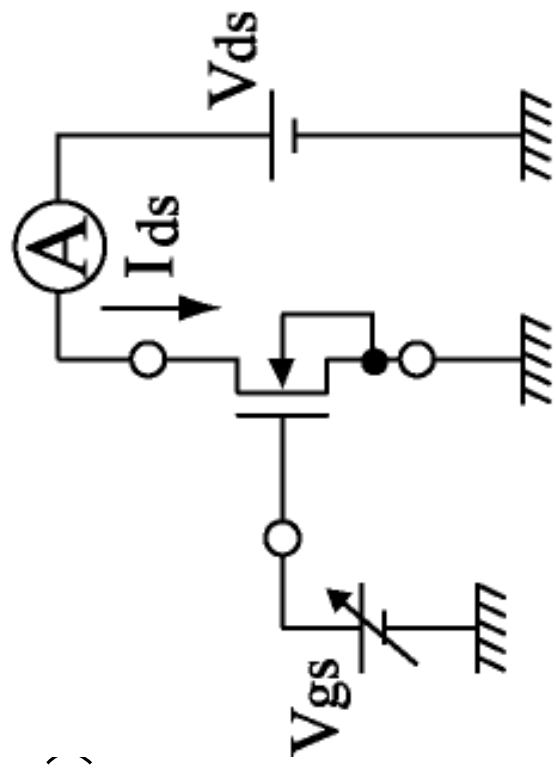
杉本 泰博



トランジスタの特性を測定しよう

測定回路(NMOSの例)

V_{gs} - I_{ds} 特性



注: 電流が300 mAを超えないよう

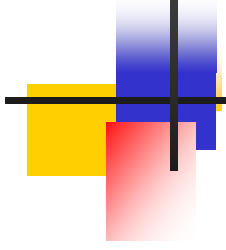
電源に電流リミットをかけておいて下さい。

Aは電流計。Ids を記録する。

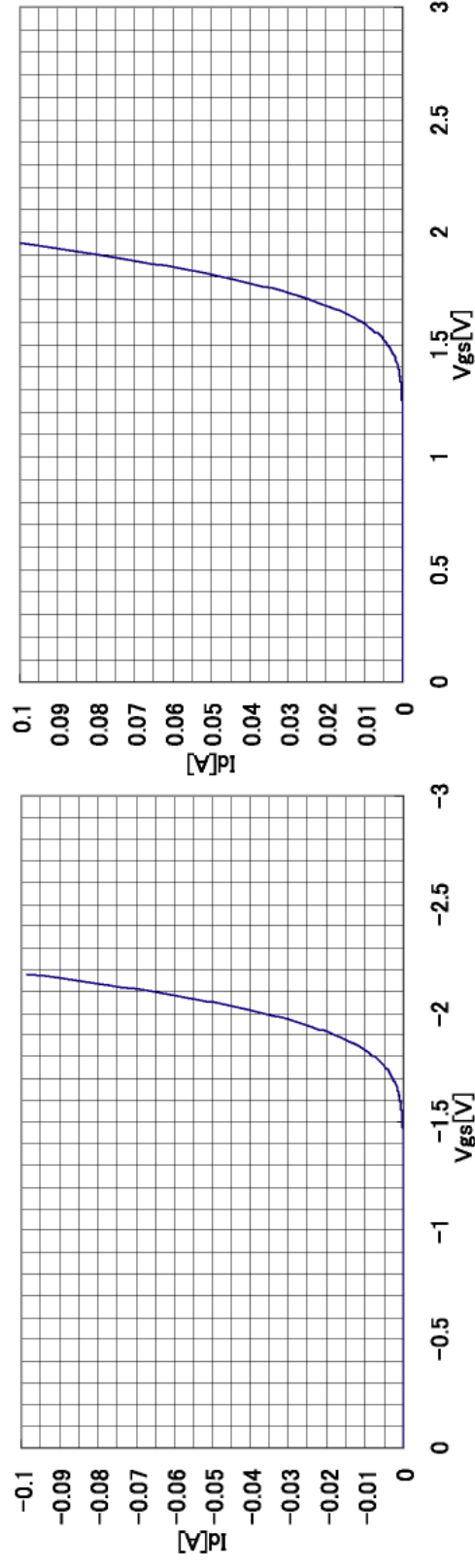
$V_{ds}=5$ [V]に固定。

V_{gs} を0~2.x [V]の範囲で電圧を変えて行く。

V_{th} と g_m を求めてみよう。

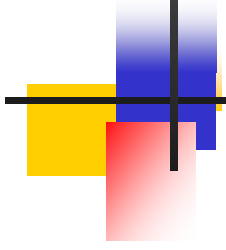


測定結果の例



2SJ537(PMOS)

2SK2962(NMOS)



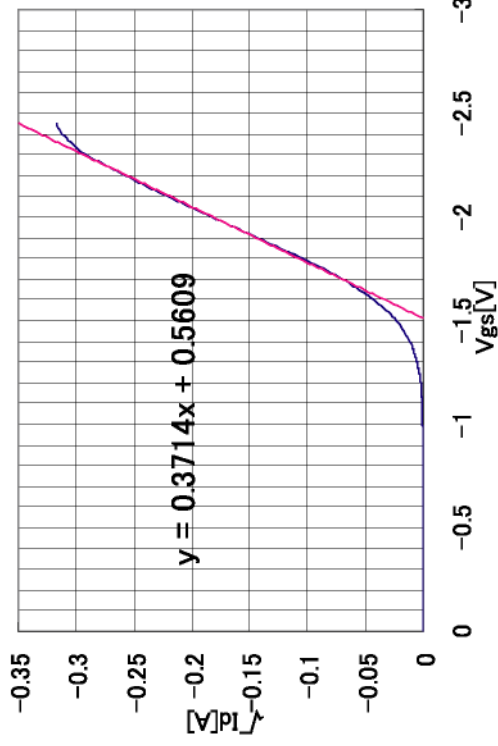
V_{th}を求める

トランジスタを飽和領域で動作させると、

$$I_{ds} = \frac{\beta}{2}(V_{gs} - V_{th})^2 \text{ より } \sqrt{I_{ds}} = \sqrt{\frac{\beta}{2}}V_{gs} - \sqrt{\frac{\beta}{2}}V_{th} \text{ であるから、}$$

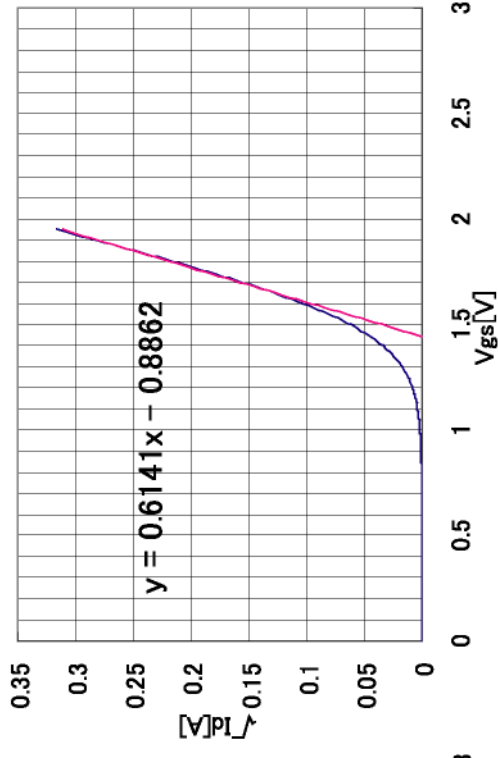
$\sqrt{I_{ds}}$ 対 V_{gs} カーブを描き、 $I_{ds} = 0$ である時の V_{gs} の値が V_{th} となる。

実際は直線部分を外挿して V_{th} とする。



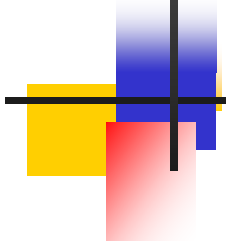
$$V_{th} = -1.510 \text{ [V]}$$

2SJ537



$$V_{th} = 1.443 \text{ [V]}$$

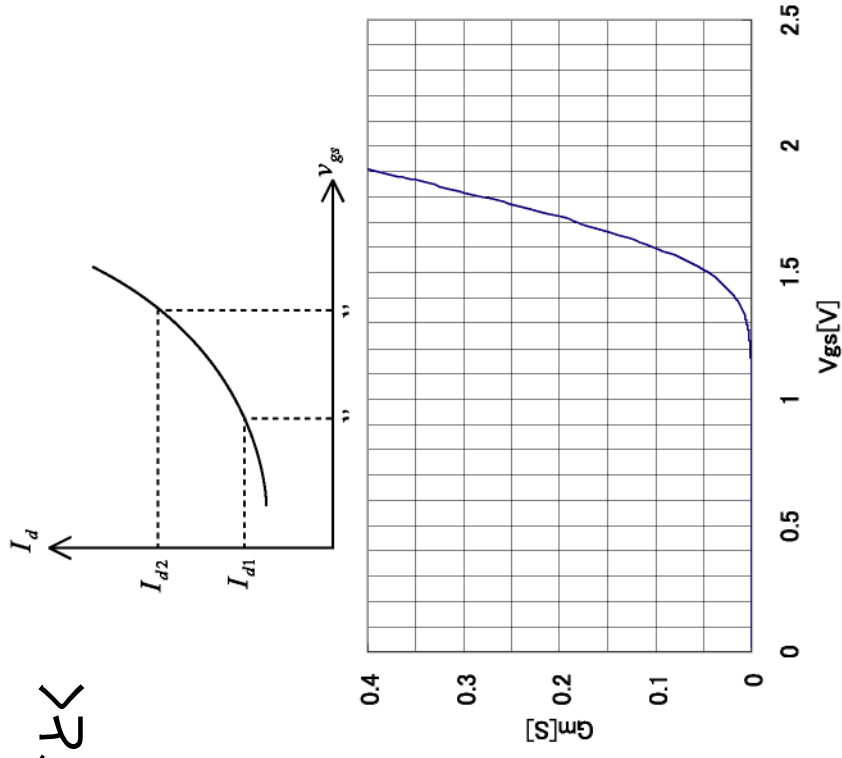
2SK2962



gmを計算

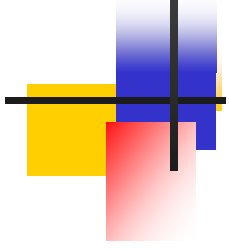
$g_m = \frac{\partial I_{ds}}{\partial V_{gs}}$ であるから、右図のごとく

を計算して求める。



2SJ537

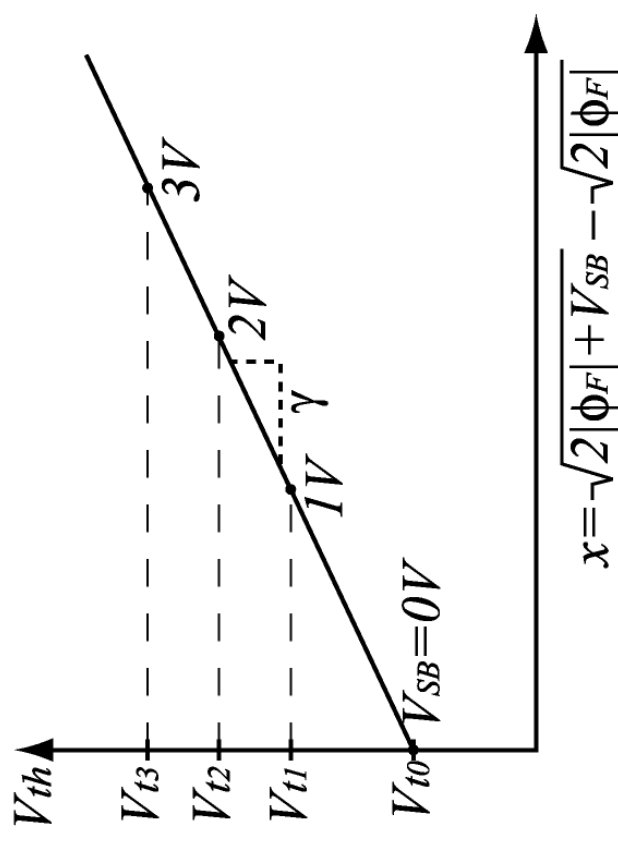
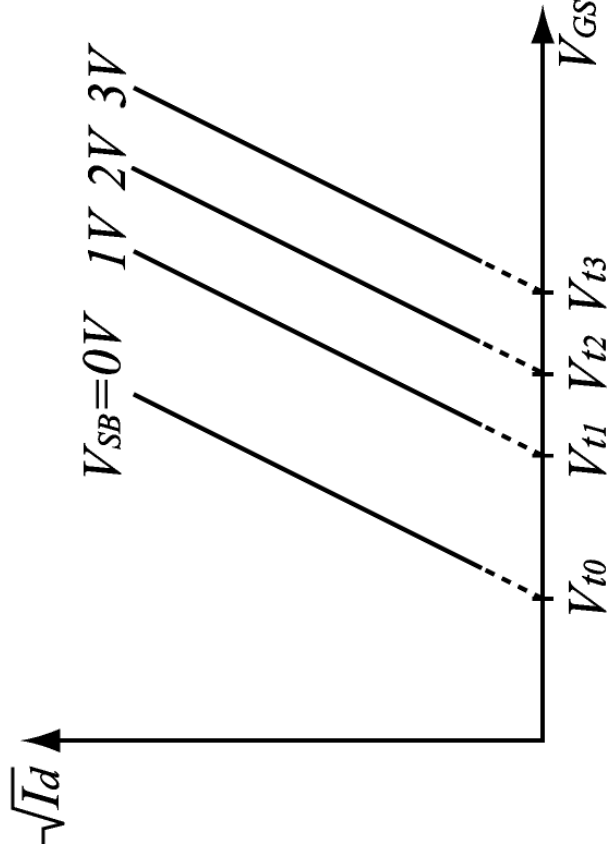
2SK2962

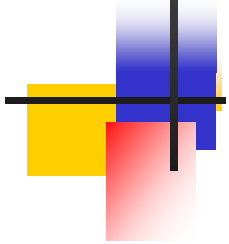


γ (バルク効果係数)の求め方

$$V_{th} = V_{t0} + \gamma \left(\sqrt{2|\phi_F| + V_{SB}} - \sqrt{2|\phi_F|} \right)$$

1. まず、 V_{SB} の種々の値に対して、 V_{th} の値の変化を求める。
2. x 軸に $(\sqrt{2|\phi_F| + V_{SB}} - \sqrt{2|\phi_F|})$ 、 y 軸に V_{th} をとり γ をその傾きから求める。





プロセスの違いによる V_{th} のばらつき

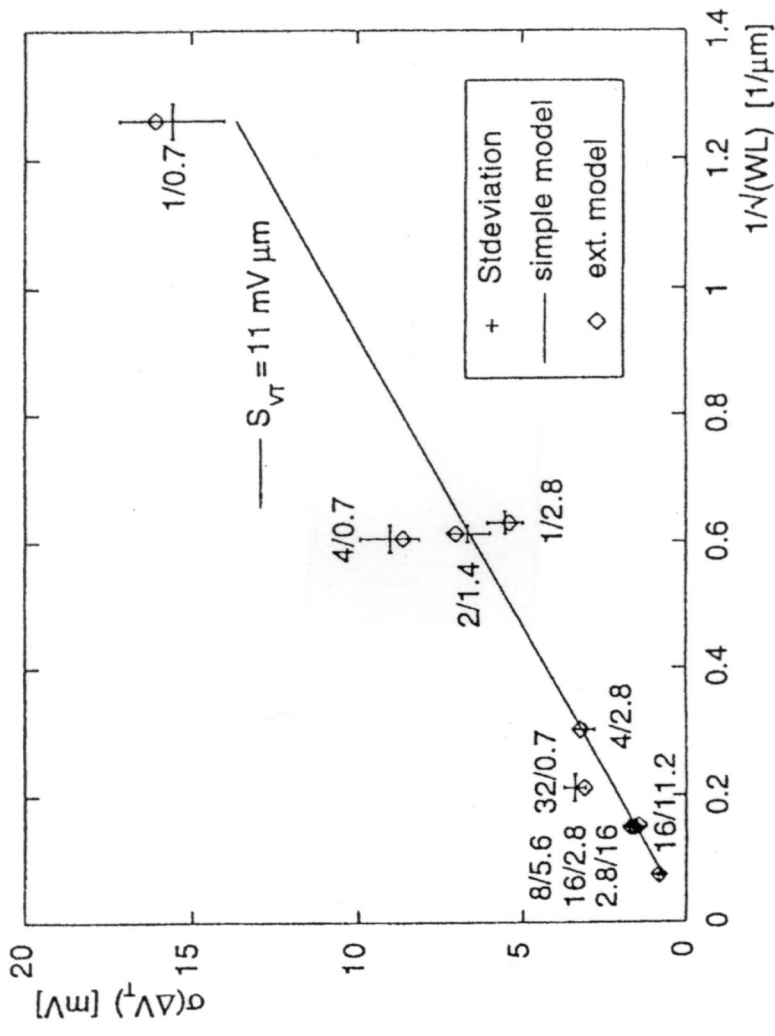


Fig. 10. The standard deviation of the threshold voltage mismatch as function of the square root of the effective area, for nmos devices.

容量のばらつき

$$A = WL$$

$$\Delta C = \frac{\epsilon}{t} [(W + \Delta W)(L + \Delta L) - WL]$$

$$\frac{\Delta C}{C} \approx \frac{\Delta W}{W} + \frac{\Delta L}{L} \quad (L, W \text{は互いに独立なばらつき})$$

$\Delta W, \Delta L, \Delta C$ の標準偏差を $\sigma_W, \sigma_L, \sigma_C$ とすれば

$$\frac{\sigma_C}{C} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_W}{W}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_L}{L}\right)^2}$$

$\sigma = \sigma_W = \sigma_L$ と考えて

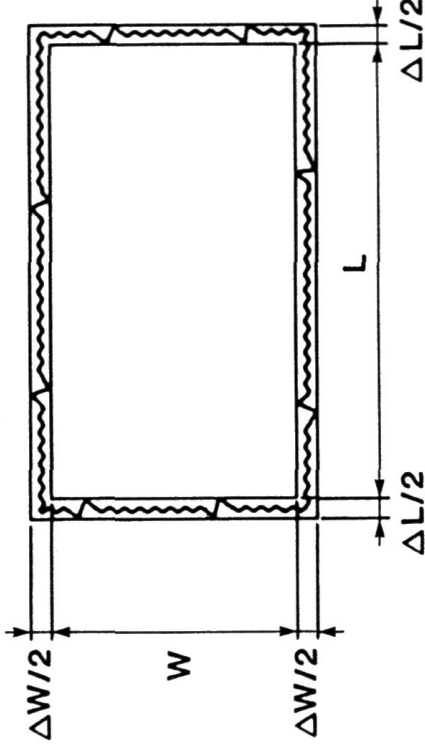
$$\sigma_C = C\sigma \sqrt{\frac{1}{W^2} + \frac{1}{L^2}}$$



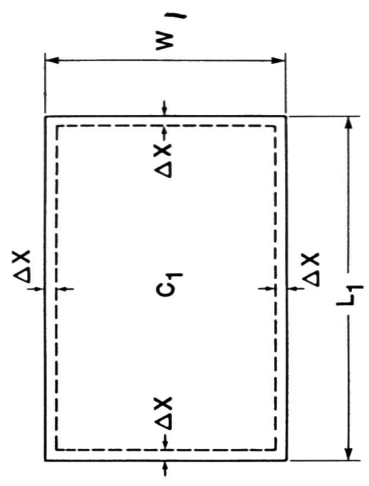
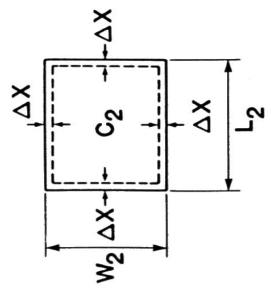
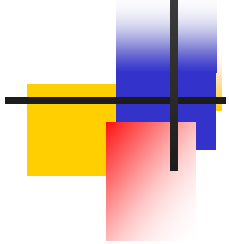
L=Wの時最小値を撮る。(但しLWの面積は一定)



正方形が望ましい。



“Analog MOS Integrated Circuits FOR Signal Processing”, John Wiley & Sons, 1986.

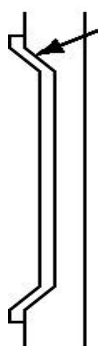


$$\alpha = \frac{L_1 W_1}{L_2 W_2}$$

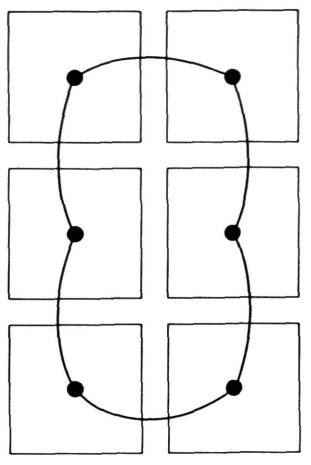
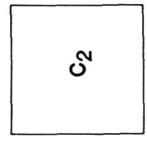
$$\alpha_{actual} = \frac{W_1 L_1 - 2(W_1 + L_1)\Delta X}{W_2 L_2 - 2(W_2 + L_2)\Delta X}$$

$L_1 = W_1 = \sqrt{\alpha} L_2 = \sqrt{\alpha} W_2$ とすると、

アンダーカット



$$\alpha_{actual} = \frac{\alpha W_2 L_2 - 2\sqrt{\alpha}(W_2 + L_2)\Delta X}{W_2 L_2 - 2(W_2 + L_2)\Delta X}$$



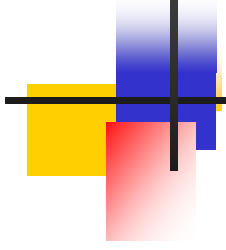
であるから、一般に $\alpha \neq \alpha_{actual}$
 \therefore 比を取る必要がある場合は、



演習5.1

3 σ 値で考えて、相対ばらつき 1 %の 0.3 pF MIM容量がLSI上に作られている。

相対ばらつきを0.2 %内に抑えたい。何 pF の容量を使う設計とすればよいか、答えなさい。



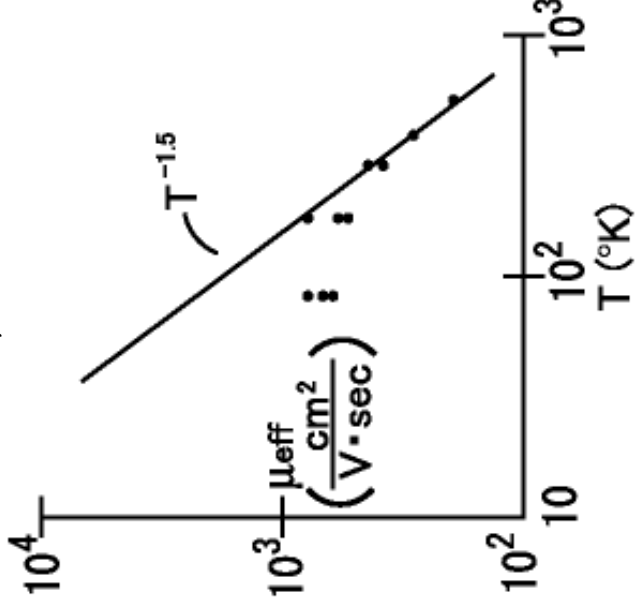
MOS素子の温度特性

Mobility μ としきい値電圧 V_{th}

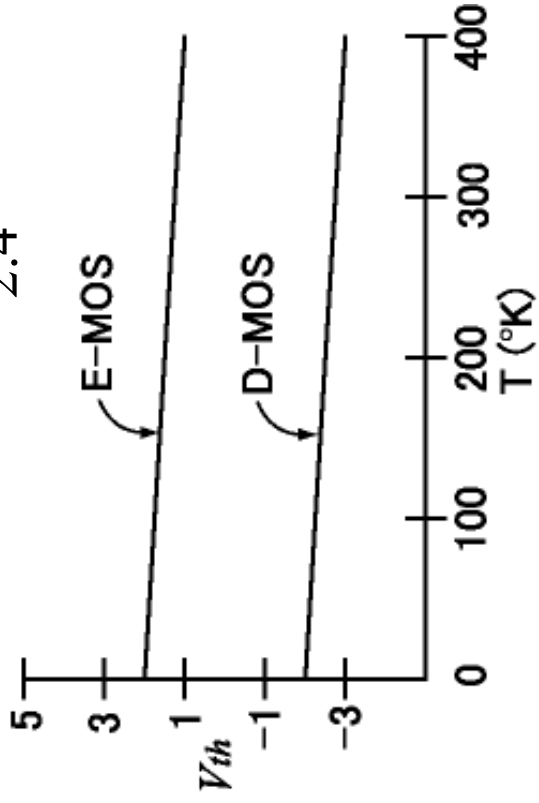
$$\mu = K_{\mu} T^{-1.5}$$

$$V_{th}(T) = V_{th}(0^{\circ}\text{K}) - \alpha T$$

$\alpha \approx \begin{cases} 2.3 \text{ mV}/^{\circ}\text{C} \\ 2.4 \end{cases}$



“ Electron and Hole Mobilities in Inversion Layers on Thermally Oxidized Silicon Surfaces ”
 IE³ Trans. Electron Devices, pp.248-254, May 1965.



“ A new NMOS Temperature-Stable Voltage Reference ”
 IE³ JSSC, vol. SC-13, No.6, pp. 767-774, December 1978.

例1 80°C ↑ ⇔ 30% ↓ (ゲイン)



演習5.2

飽和領域で動作しているMOSトランジスタにおいて、周囲温度が 25°C から 75°C に変化した場合の、ドレイン電流の変化量を求めなさい。ただし、 $V_{th}(0^{\circ}\text{K}) = 1.842\text{ V}$ 、 $\alpha = 2.265\text{E}-3$ 、 $V_{\text{GS}} = 3\text{ V}$ とする。

まず β の変化量を求め、次に $(V_{\text{GS}} - V_{\text{th}})^2$ の変化量を求めれば良い。

チャンネル長変調効果

$$I_d = \frac{I_d(sat)}{\left(\frac{L'}{L}\right)}$$

L' : 実効チャンネル長

$$d\{V_{DS} - V_{DS}(sat)\} = -(L - L')dE = -(L - L') \left(\frac{dQ}{\epsilon_{si}} \right) = \frac{qN_A(L - L')d(L - L')}{\epsilon_{si}}$$

ピンチオフ点・ドレイン左端
部間電圧

空乏層領域

$$\text{より } V_{DS} - V_{DS}(sat) = \frac{qN_A(L - L')^2}{2\epsilon_{si}}$$

$$L - L' = \left[\frac{2\epsilon_{si}\{V_{DS} - V_{DS}(sat)\}}{qN_A} \right]^{\frac{1}{2}} \Rightarrow \frac{L'}{L} = 1 - \left[\frac{2\epsilon_{si}\{V_{DS} - V_{DS}(sat)\}}{qN_A} \right]^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{1}{L}$$

$$\therefore I_d \approx I_d(sat) \left\{ 1 + \left[\frac{2\epsilon_{si}\{V_{DS} - V_{DS}(sat)\}}{qN_A} \right]^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{1}{L} \right\}$$

λV_{DS} とおく