

平成28年度  
集積回路設計技術・次世代集積回路工学特論  
レポート題

群馬大学  
松田順一

# (1)しきい値電圧

下記Nch-MOSFETでしきい値電圧0.7V（室温 $T = 300\text{K}$ ）を得る場合、基板不純物密度 $N_A$ をいくらに設定すればよいか求めよ。

## Nch-MOSFET

- ・短／狭チャネル効果を見捨てるほど大きなトランジスタサイズ
- ・ $n^+$ ゲート（ $n^+$ ゲートのフェルミ電位： $\phi_{Fn^+} = -0.56\text{V}$ ）
- ・界面固定電荷密度： $Q_o' = (1.6 \times 10^{-19}) \times (3 \times 10^{10})\text{C/cm}^2$
- ・ゲート酸化膜厚： $t_{ox} = 8\text{nm}$

## しきい値電圧

$$V_T = V_{FB} + 2\phi_0 + \gamma\sqrt{2\phi_0}$$

$$\phi_0 = 2\phi_F + 6\phi_t \quad \phi_t = kT/q$$

酸化膜の誘電率： $\epsilon_{ox} = 3.84 \times 8.854 \times 10^{-14}\text{F/cm}$

Siの誘電率： $\epsilon_{ox} = 11.7 \times 8.854 \times 10^{-14}\text{F/cm}$

ボルツマン定数： $k = 1.38 \times 10^{-23}\text{J/K}$

素電荷量： $q = 1.6 \times 10^{-19}\text{C}$

真性キャリア密度（室温）： $n_i = 1.45 \times 10^{10}\text{cm}^{-3}$

## (2) 短チャネル効果 (電荷配分)

前記構造のMOSFETにおいて、ゲート長 $L$ が、 $0.18 \pm 0.03$ ,  $0.5 \pm 0.03$ ,  $1.0 \pm 0.03 \mu\text{m}$ の各 $L$ でばらついた場合、各 $L$ の中心、最大、及び最小値での実効しきい値電圧 $\hat{V}_T$  (at  $V_{SB} = 0$ ) を求めよ。但し、拡散接合深さ $d_j$ は $0.1 \mu\text{m}$ である。

実効しきい値電圧

$$\hat{V}_T = V_T + \Delta V_{TL}$$

$$V_T = V_{FB} + \phi_0 + \gamma \sqrt{\phi_0 + V_{SB}}, \quad \Delta V_{TL} = \left( \frac{\hat{Q}_{B1}}{Q'_B} - 1 \right) \gamma \sqrt{\phi_0 + V_{SB}}$$

$$d_B = \zeta \sqrt{\phi_0 + V_{SB}} \quad \left( \text{但し、} \zeta = \sqrt{\frac{2\epsilon_s}{qN_A}} \right)$$

$$\hat{Q}'_B / Q'_B = 1 - \frac{d_j}{L} \left( \sqrt{1 + \frac{2d_B}{d_j}} - 1 \right)$$

# (3)ドレイン電荷 $Q_D$

簡単化されたソース参照強反転モデルを用いて、QS状態のMOSFETの $Q_D$ を導出せよ。

$$Q_D = -WLC'_{ox}(V_{GS} - V_T) \frac{4 + 8\eta + 12\eta^2 + 6\eta^3}{15(1 + \eta)^2}$$

$$Q_D = -\frac{\mu W^2}{I_{DSN}} \int_{V_{SB}}^{V_{DB}} \frac{x}{L} Q_I'^2 dV_{CB}$$

簡単化されたソース参照強反転モデル

$$I_{DSN} = I'_{DS}(1 - \eta^2)$$

$$I'_{DS} = \frac{W}{L} \mu C'_{ox} \frac{(V_{GS} - V_T)^2}{2\alpha}, \quad \eta = \begin{cases} 1 - \frac{V_{DS}}{V'_{DS}}, & V_{DS} \leq V'_{DS} \\ 0, & V_{DS} > V'_{DS} \end{cases} \quad V'_{DS} = \frac{V_{GS} - V_T}{\alpha}$$

単位面積当たりの反転層電荷

$$Q_I' = -C'_{ox}[V_{GB} - V_{SB} - V_T - \alpha(V_{CB} - V_{SB})]$$

$Q_S$ と $Q_D$ での計算に以下の $x$ を用いる。

$$x = L \frac{(V_{GS} - V_T)(V_{CB} - V_{SB}) - \frac{1}{2}\alpha(V_{CB} - V_{SB})^2}{(V_{GS} - V_T)(V_{DB} - V_{SB}) - \frac{1}{2}\alpha(V_{DB} - V_{SB})^2}$$

# (4) パワーMOSFET

パワーU-MOSFETのターンオン特性について解説せよ。

- ・レポート提出期限 2016年7月29日(金)
- ・提出場所 電気系 事務局



