

令和2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) しきい値電圧とゲートスウィング

下記のNch – MOSFETでしきい値電圧0.5V(室温 $T = 300\text{K}$ )を得る場合の基板不純物濃度 $N_A$ を求めなさい。また、このトランジスタの弱反転領域におけるゲートスウィング $S$ も求めなさい。

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:  $Q'_0 = (1.6 \times 10^{-19}) \times (3 \times 10^{10})\text{ C/cm}^2$
- ・ゲート酸化膜厚:  $t_{ox} = 3\text{ nm}$
- ・基板バイアスゼロ

しきい値電圧

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

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

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

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) ソース電荷 $Q_S$

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のソース電荷  $Q_S$  が以下になることを導出しなさい。

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

$W$ : ゲート幅  
 $L$ : ゲート長  
 $C'_{ox}$ : 単位面積当たりのゲート酸化膜容量

導出にあたり、以下を参考にしなさい。

$$Q_S = -\frac{\mu W^2}{I_{DSN}} \int_{V_{SB}}^{V_{DB}} \left(1 - \frac{x}{L}\right) Q_I'^2 dV_{CB}$$

$Q_I'$ : 単位面積当たりの反転層電荷  
 $Q_I' = -C'_{ox}[V_{GB} - V_{SB} - V_T - \alpha(V_{CB} - V_{SB})]$   
 $x$ と $V_{CB}$ の関係

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

簡単化されたソース参照強反転モデル

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

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

## (3) スケーリング則

MOSFETのスケーリング則について説明しなさい。

## (4) 小信号等価回路

完全QS小信号等価回路について説明しなさい。

## (5) ワイドギャップ半導体デバイス(公開講座)

Siデバイスに対してワイドギャップ半導体デバイスの利点と欠点を説明しなさい。また、GaN FEMTの動作メカニズムについて説明しなさい。

- ・レポート提出期限 2020年7月31日(金)
- ・レポート提出方法 電気系事務室へ直接提出  
または電子メールで下記アドレスの  
戸谷さんと杉山さんに提出

戸谷育恵 <toya@gunma-u.ac.jp>      杉山早苗 <sanae@gunma-u.ac.jp>