演習問題（Ⅱ）

群馬大学
松田順一

アインシュタインの関係

アインシュタインの関係を導出せよ。

$$D = \mu_B \phi_t$$

D:拡散係数

μ_B:移動度

$$\phi_t = \frac{kT}{q}$$

アインシュタインの関係の導出 ⇒ ドリフト電流＋拡散電流＝０

ピンチオフ電圧

ピンチオフ電圧V_Pが次式で表されることを示せ。

$$V_P = \left(-\frac{\gamma}{2} + \sqrt{\frac{\gamma^2}{4} + V_{GB} - V_{FB}} \right)^2 - \phi_0$$

$$V_P \approx \frac{V_{GB} - V_{T0}}{n}$$

チャネルに沿う電位

チャネルに沿う基板からの電位差$V_{CB}(x)$が次式で表されることを示せ。

$$V_{CB}(x) = V_{SB} + \frac{V_{GS} - V_T}{\alpha}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{x}{L}\left(1 - \eta^2\right)}\right]$$

$$\eta = \begin{cases} 1 - \dfrac{V_{DS}}{V_{DS}^{'}}, & V_{DS} \le V_{DS}^{'} \\ 0, & V_{DS} > V_{DS}^{'} \end{cases} \quad , \quad V_{DS}^{'} = \frac{V_{GS} - V_T}{\alpha}$$

ソース端が$x = 0$で、チャネルに沿ってドレイン方向がxの正方向とする。

弱反転領域のゲート･スゥイング

ゲート・スゥイングSが次式で表されることを示せ。

$$S = \frac{dV_{GS}}{d\left(\log I_{DS}\right)} = 2.3n\phi_t \qquad n = 1 + \frac{\gamma}{2\sqrt{2\phi_F + V_{SB}}}$$

実効移動度

簡単化されたソース参照強反転モデルの場合の実効移動度μ_{eff}が
以下で表されることを示せ。

$$\mu_{eff} = \frac{\mu_0}{1+\theta f_\mu}$$

$$\theta = \frac{\alpha_\theta}{2\varepsilon_s} C'_{ox}$$

$$f_\mu = V_{GS} - V_T + 2\gamma\sqrt{\phi_0 + V_{SB}} - \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) V_{DS}$$

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

$$\mu_{eff} \approx \frac{\mu_0}{\left[1/\left(V_{DB} - V_{SB}\right)\right] \int_{V_{SB}}^{V_{DB}} \left[1 - \left(a_\theta / \varepsilon_s\right)\left(Q'_B + 0.5 Q'_I\right)\right] dV_{CB}}$$

$$-\frac{Q'_B}{C'_{ox}} \approx \gamma\sqrt{\phi_0 + V_{SB}} + (\alpha - 1)(V_{CB} - V_{SB})$$

$$Q'_I = -C'_{ox}\left[V_{GB} - V_{SB} - V_{FB} - \phi_0 - \gamma\sqrt{\phi_0 + V_{SB}} - \alpha\left(V_{CB} - V_{SB}\right)\right]$$

ピンチオフ領域の長さ

ピンチオフ領域の長さ l_p が以下で表されることを示せ。

$$l_p = \sqrt{\frac{2\varepsilon_s}{qN_A}}\left[\sqrt{\phi_D + \left(V_{DS} - V_{DS}^{'}\right)} - \sqrt{\phi_D}\right]$$

ここで、ϕ_Dは以下で表される。

$$\phi_D = \frac{\varepsilon_s \mathrm{E}_1^2}{2qN_A}$$

ピンチオフ点での電界：$\mathrm{E} = -\mathrm{E}_1 \quad (x = 0)$

ピンチオフ領域にかかる電圧：$V_{DS} - V_{DS}^{'}$

ドレイン電荷Q_Dとソース電荷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Q_DとQ_Sを導出せよ。

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

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

単位面積当たりの反転層電荷

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

Q_SとQ_Dでの計算に以下のxを用いる。

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

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

簡単化されたソース参照強反転モデル

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

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

ゲート～ソース間容量C_{gs}

C_{gs}が次式で表されることを示せ。

$$C_{gs} = -\left.\frac{\partial Q_G}{\partial V_S}\right|_{V_G, V_D, V_B} = C_{ox}\frac{2(1+2\eta)}{3(1+\eta)^2}$$

$$Q_G = WLC'_{ox}\left[\frac{V_{GS}-V_T}{\alpha}\left(\alpha-1+\frac{2}{3}\frac{1+\eta+\eta^2}{1+\eta}\right)+\gamma\sqrt{\phi_0+V_{SB}}\right]-Q_o$$

仮定

$$\alpha \Rightarrow \alpha_1 = 1+\frac{\gamma}{2\sqrt{\phi_0+V_{SB}}} = 1+\frac{dV_T}{dV_{SB}}$$

α_1のV_SとV_Bの微分は無視（α_1: 定数):

（V_{SB}が大きくV_{DS}が小さい場合、近似が良い。）

ドレイン～ゲート間容量C_{dg}

C_{dg}が次式で表されることを示せ。

$$C_{dg} = -\frac{\partial q_D}{\partial v_G} = C_{ox} \frac{4 + 28\eta + 22\eta^2 + 6\eta^3}{15(1+\eta)^3}$$

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

仮定

$$\alpha \Rightarrow \alpha_1 = 1 + \frac{\gamma}{2\sqrt{\phi_0 + V_{SB}}} = 1 + \frac{dV_T}{dV_{SB}}$$

α_1のV_SとV_Bの微分は無視（α_1: 定数):

（V_{SB}が大きくV_{DS}が小さい場合、近似が良い。）