Übung 13 Elektronik I WS 08/09 Lösung

1. Gl. (5.2): Metall - HL Kontakt:

$$e\,U_D = W_M - W_\phi - kT \cdot ln\left(\frac{N_C}{N_D}\right)$$

   Aufgabe: $W_M = W_\phi$

$$\Rightarrow \qquad \frac{e\,U_D}{kT} = ln\frac{N_D}{N_C} \quad \Rightarrow \quad \underline{\underline{N_D = N_C \cdot e^{\frac{e\,U_D}{kT}}}}$$

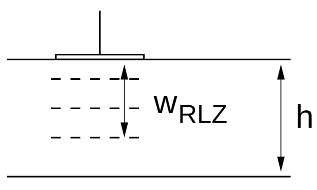
   aus Tabelle: $T = 300$ K $\Rightarrow N_C = 2,81 \cdot 10^{19}\ cm^{-3}$

$$\Rightarrow N_D = N_C e^{\frac{e\,U_D}{kT}} \approx 5 \cdot 10^{24}\ cm^{-3}$$

2. $U_{GS} = -1$ V, $U_p = -3$ V
   Abschnürbereich:

$$\begin{aligned} U_{DS} &\geq U_{GS} - U_p \\ \Leftrightarrow U_{DG} + U_{GS} &\geq U_{GS} - U_p \\ \Leftrightarrow U_{DG} &\geq -U_p = 3\text{ V} \end{aligned}$$

3. Eine Möglichkeit
   $U_{DS} = 0$ (D-S-Kurzschluß)
   $\Rightarrow$ im Kanal fließt nur noch vernachlässigbarer Strom
   $\Rightarrow$ $U_c(y) = 0$
   $\Rightarrow$ FET ist reiner Kondensator mit G und D/S Anschluß



$\Rightarrow$ Gl. 5.22

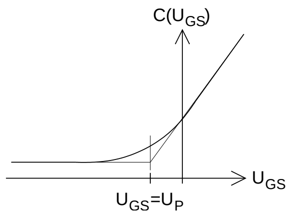
$w_{RLZ} = \sqrt{\frac{2\varepsilon(U_D + U_c(y) - U_{GS})}{e\,N_D}}$

mit $U_c(y) = 0$:

$w_{RLZ} = \sqrt{\frac{2\varepsilon(U_D - U_{GS})}{e\,N_D}}$

$C \sim \frac{1}{w_{RLZ}}$

$\Rightarrow$



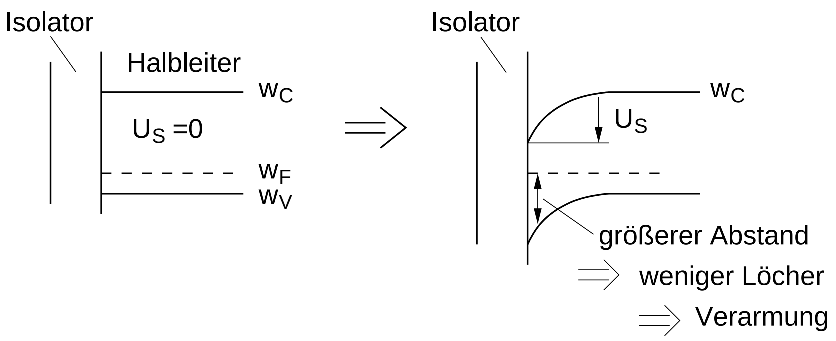
Wenn $w_{RLZ} = h$
verringert sich C nicht weiter

4.

$$U_{DS} \geq U_{GS} - U_p \quad ?$$
$$5 \text{ V} \geq 0 - (-3 \text{ V})$$
$$5 \text{ V} \geq 3 \text{ V} \qquad \Rightarrow \text{Abschnürbereich}$$

5. n-Kanal: (p-Substrat)

(a) Über U_{GS} bzw U_{DS} wird der Spannungsabfall U_S über dem HL gesteuert. Von $U_S > 0$ an werden immer mehr Löcher in das HL - Innere verdrängt.



(b) u. (c) Bei weiterer Verbiegung kommt W_C näher an W_F als W_V $\Rightarrow$ Elektronen im LB $\Rightarrow$ Inversion. Die Verbiegung ist am stärksten an der Kanaloberfläche. Die Minoritäten entstehen durch Generation.

6. Bipolar:
$I_{C0} = 4$ mA; $U_T = 26$ mV; $J_{max} = 1 \frac{\text{mA}}{\mu\text{m}}$

$$g_m = \frac{I_{C0}}{U_T} = \frac{4 \text{ mA}}{26 \text{ mV}} = 154 \text{ mS}$$

$$I_{C0} \approx J_{max} \cdot A_{BJT} \Leftrightarrow A_{BJT} = \frac{I_{C0}}{J_{max}} = 4 \text{ mA} \cdot 1 \frac{\mu\text{m}}{\text{mA}} = 4 \ \mu\text{m}^2$$

FET:
$L = 2,5\ \mu\text{m}; \varepsilon_r = 4; d_{ox} = 50\ \text{nm}; \mu_n = 600\ \frac{\text{cm}^2}{\text{Vs}} I_{D0} = 4\ \text{mA}$
Annahme: AP im Abschnürbereich

$$I_{D0} = \frac{k}{2}(U_{GS0} - U_p)^2, \quad k = \mu_n \frac{\varepsilon_r \varepsilon_0}{d_{ox}} \frac{b}{L}$$

$$g_m = \frac{\partial I_D}{\partial U_{GS}} = k(U_{GS0} - U_p) \Leftrightarrow U_{GS0} - U_p = \frac{g_m}{k}$$

$$\Rightarrow I_{D0} = \frac{k}{2}\frac{g_m^2}{k^2} = \frac{g_m^2}{2k} = \frac{g_m^2}{2}\frac{d_{ox} L}{\mu_n \varepsilon_r \varepsilon_0}\frac{1}{b}$$

$$\Leftrightarrow b = \frac{g_m^2}{2}\frac{d_{ox} L}{\mu_n \varepsilon_r \varepsilon_0}\frac{1}{I_{D0}}$$

$$\Rightarrow A_{FET} = b \cdot L = 43500\ \mu\text{m}^2 = 0,435\ \text{mm}^2$$

7. Gl. (5.63) entstand aus Gl. (5.62) durch Integration bis $y = L \Rightarrow$ $U_{DS} = U(y = L)$,
   $\Rightarrow$ setze für $U_{DS} \rightarrow U(y)$ und für $L = y$

$$\Rightarrow I_D = \underbrace{\mu_n \frac{\varepsilon_{ox}}{d_{ox}} \frac{b}{y}}_{\alpha(y)} \left((U_{GS} - U_p)\, U(y) - \frac{U(y)^2}{2} \right)$$

$$\Leftrightarrow \frac{I_D}{\alpha(y)} = (U_{GS} - U_p)\, U(y) - \frac{1}{2}\, U(y)^2$$

$$\Leftrightarrow 0 = U(y)^2 - 2\,(U_{GS} - U_p)\, U(y) + \frac{2\, I_D}{\alpha(y)}$$

$$\Leftrightarrow U(y) = (U_{GS} - U_p) \pm \sqrt{(U_{GS} - U_p)^2 - \frac{2\, I_D}{\alpha(y)}}$$

Da $U(y) \uparrow$ wenn $I_D \uparrow$ muss <u>negatives</u> Vorzeichen gelten

$$U(y) = (U_{GS} - U_p) - \sqrt{(U_{GS} - U_p)^2 - \frac{2\, I_D}{\alpha(y)}}$$

Bei drainseitiger Abschnürung: $y = L$
Ausdruck unter der Wurzel:

$$(U_{GS} - U_p)^2 - \frac{2\, I_D \cdot d_{ox} \cdot L}{\mu_n \cdot \varepsilon_{ox} \cdot b} = (U_{GS} - U_p)^2 - \frac{2\, I_D}{k} \tag{1}$$

Bei Abschnürung gilt (vgl. z.B. Gl. (5.69))

$$I_D = \frac{k}{2}\,(U_{GS} - U_p)^2$$

In (1) einsetzen $\Rightarrow$ Ausdruck unter der Wurzel wird zu Null

$$\Rightarrow\; U(y = L) = U_{DS} = U_{GS} - U_p$$

ist bekannte Bedingung für Abschnürung

Wenn $U_{DS} > U_{GS} - U_p$

$$\Rightarrow \quad I_D = \frac{k}{2}\,(U_{GS} - U_p)^2$$

$$\Rightarrow \quad U(y) = (U_{GS} - U_p) - \sqrt{(U_{GS} - U_p)^2 - \frac{y}{L}(U_{GS} - U_p)^2}$$

$$= (U_{GS} - U_p)(1 - \sqrt{1 - \frac{y}{L}}) = const. \text{ für } y = const.$$

$\Rightarrow$ Ursache ist, dass Herleitung
nicht mehr gilt (Sättigungsgeschwindigkeit)