

①

$$\phi_{inv} = \frac{2k_B T}{e} \cdot \ln \frac{N_A}{n_i}$$

$$= 2 \cdot 25,9 \text{ mV} \cdot \ln \left(\frac{10^{16}}{6,71 \cdot 10^9} \right)$$

$$= \underline{\underline{0,736 \text{ V}}}$$

②

$$I = \bar{\mu}_e \cdot c \cdot \frac{W}{L} \cdot \left\{ (U_G - U_{th}) \cdot U_{DS} - \frac{1}{2} \cdot U_{DS}^2 \right\}$$

$$\approx \bar{\mu}_e \cdot c \cdot \frac{W}{L} \cdot (U_G - U_{th}) \cdot U_{DS}$$

$$Y = \frac{I}{U_{DS}} = \bar{\mu}_e \cdot c \cdot \frac{W}{L} \cdot (U_G - U_{th})$$

$$= 5000 \frac{\text{cm}^2}{\text{V}} \cdot 5 \cdot 10^{-6} \frac{\text{F}}{\text{cm}^2} \cdot \frac{0,25 \mu\text{m}}{2 \mu\text{m}} \cdot 0,5$$

$L = \frac{A_B}{D}$

$$= 1,5625 \text{ mS}$$

$$R = \frac{1}{Y} = 640 \Omega$$

③

$$b_{\max} = 2 \cdot \sqrt{\frac{\epsilon_0 \epsilon_n \cdot k_B \cdot T \cdot \ln\left(\frac{N_A}{n_i}\right)}{e^2 N_A}}$$

$$= 2 \cdot \sqrt{\frac{11,4 \cdot 8,854 \cdot 10^{-14} \text{ F} \cdot 25,9 \text{ mV} \cdot \ln\left(\frac{10^{17}}{6,7 \cdot 10^9}\right)}{\text{cm} \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As} \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}}}$$

$$= 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ cm} = \underline{\underline{0,1 \mu\text{m}}}$$

Alternativ:

$$b_{\max} = \sqrt{\frac{2 \epsilon_{eff} \cdot \epsilon_0 \cdot \phi_{inv}}{e N_A}}$$

$$\text{mit } e \phi_{inv} = \frac{2 k_B T}{e} \cdot \ln\left(\frac{N_A}{n_i}\right)$$

$$= \sqrt{\frac{2 \cdot \epsilon_{eff} \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{2 k_B T}{e} \cdot \ln\left(\frac{N_A}{n_i}\right)}{e N_A}}$$

$$= 2 \cdot \sqrt{\frac{\epsilon_{eff} \cdot \epsilon_0 \cdot k_B T \cdot \frac{1}{e} \cdot \ln\left(\frac{N_A}{n_i}\right)}{e \cdot N_A}}$$

④

$$U_{DS,sat} = U_G - \phi_{inu} + k^2 \cdot \left(1 - \sqrt{1 + \frac{2U_G}{k^2}}\right)$$

$$C_{iso} = \frac{\epsilon_{iso} \cdot \epsilon_0}{d_{iso}} = \frac{39 \cdot 8,854 \cdot 10^{-14} \text{ F/cm}}{8 \cdot 10^{-7} \text{ cm}}$$

$$= 4,31 \cdot 10^{-7} \text{ F/cm}^2$$

$$k = \frac{\sqrt{\epsilon_{sub} \cdot \epsilon_0 \cdot e N_A}}{C_{iso}}$$

$$= \frac{\sqrt{11,9 \cdot 8,854 \cdot 10^{-14} \text{ F/cm} \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As} \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}}}{4,31 \cdot 10^{-7} \text{ F/cm}^2}$$

$$= 0,3 \sqrt{V}$$

$$2\phi_g = \phi_{inu} = \frac{2k_B T}{e} \cdot \ln\left(\frac{N_A}{n_i}\right)$$

$$= 2 \cdot 25,9 \text{ mV} \cdot \ln\left(\frac{10^{17}}{6,74 \cdot 10^9}\right)$$

$$= 0,85 \text{ V}$$

$$2\phi_g = \phi_{inu} \quad ; \quad e\phi_g = E_i - E_F$$

$$\Rightarrow U_{D, \text{set}} = 3V - 0,85V + (0,31V)^2.$$

$$\left(1 - \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 3V}{(0,31V)^2}}\right)$$

$$= 3V - 0,85V - 0,65V = \underline{\underline{1,5V}}$$

⑤

$$C_{iso} = \frac{\epsilon_{r,iso} \cdot \epsilon_0}{d_{iso}} = \frac{39 \cdot 8,854 \cdot 10^{-14} \text{ F/cm}}{5 \cdot 10^{-7} \text{ cm}}$$

$$= 6,9 \cdot 10^{-7} \text{ F/cm}^2$$

$$2\phi_B = \phi_{iso} - 0,85 \text{ V}$$

$$U_{FB} = \phi_{ms} - \frac{(Q_s + Q_m + Q_{ot})}{C_{iso}} \quad (Q_m = Q_{ot} = 0!)$$

$$= -0,98 \text{ V} - \frac{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As} \cdot 5 \cdot 10^{11} \text{ cm}^{-2}}{6,9 \cdot 10^{-7} \text{ F/cm}^2}$$

$$= \underline{\underline{-1,10 \text{ V}}}$$

$$\phi_{ms} = \phi_m - \phi_s$$

↓ ↓
Metall 4L

$\therefore$ Differenz zwischen
Valenz- und Fermi-
Niveau

Wie kommt man auf ϕ_{ms} ???

geg. sei der nachfolgende Graph. Damit kann der Wert bestimmt werden. Oder wurde Angabe in der Aufgabe!

Chapter 6. MOSFET and Related Devices

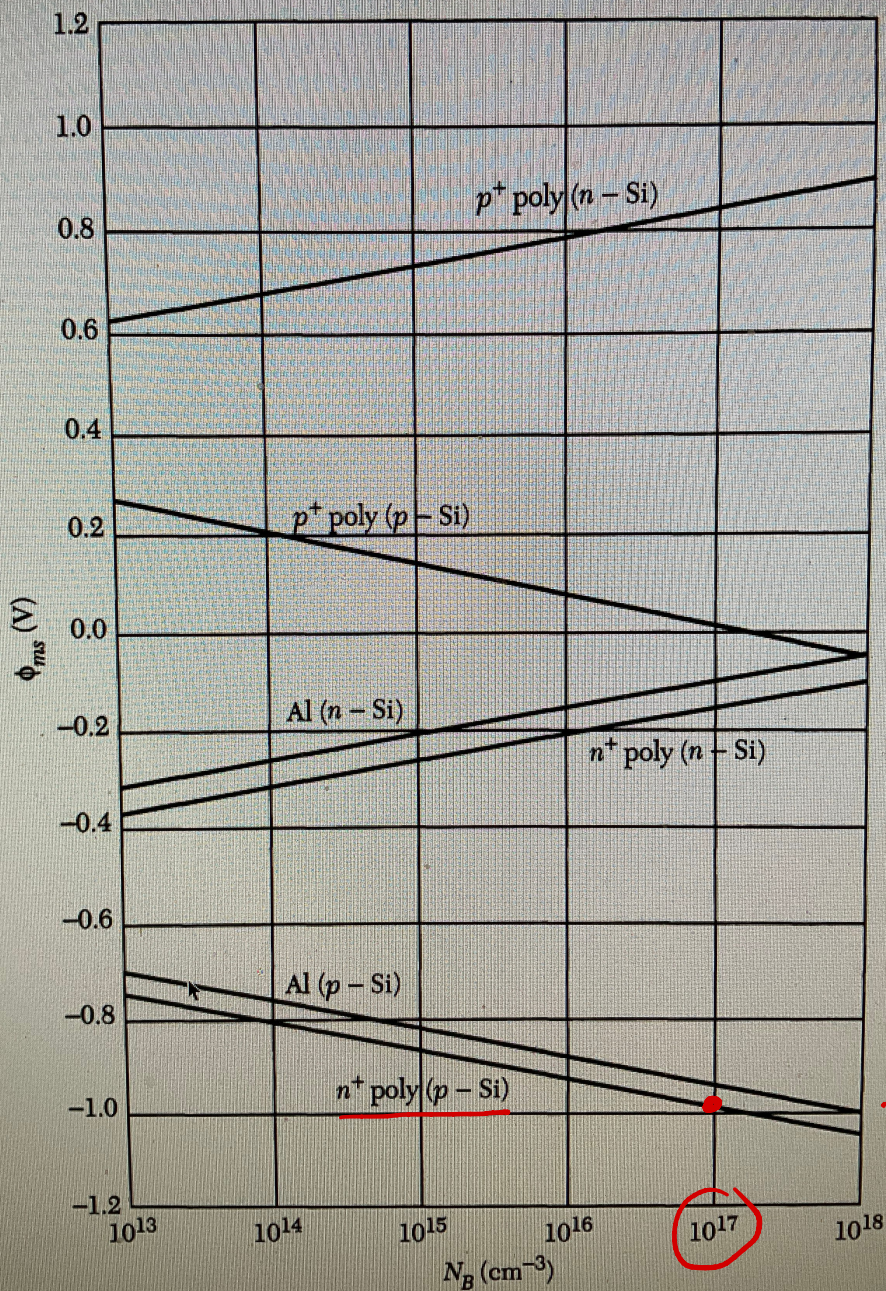
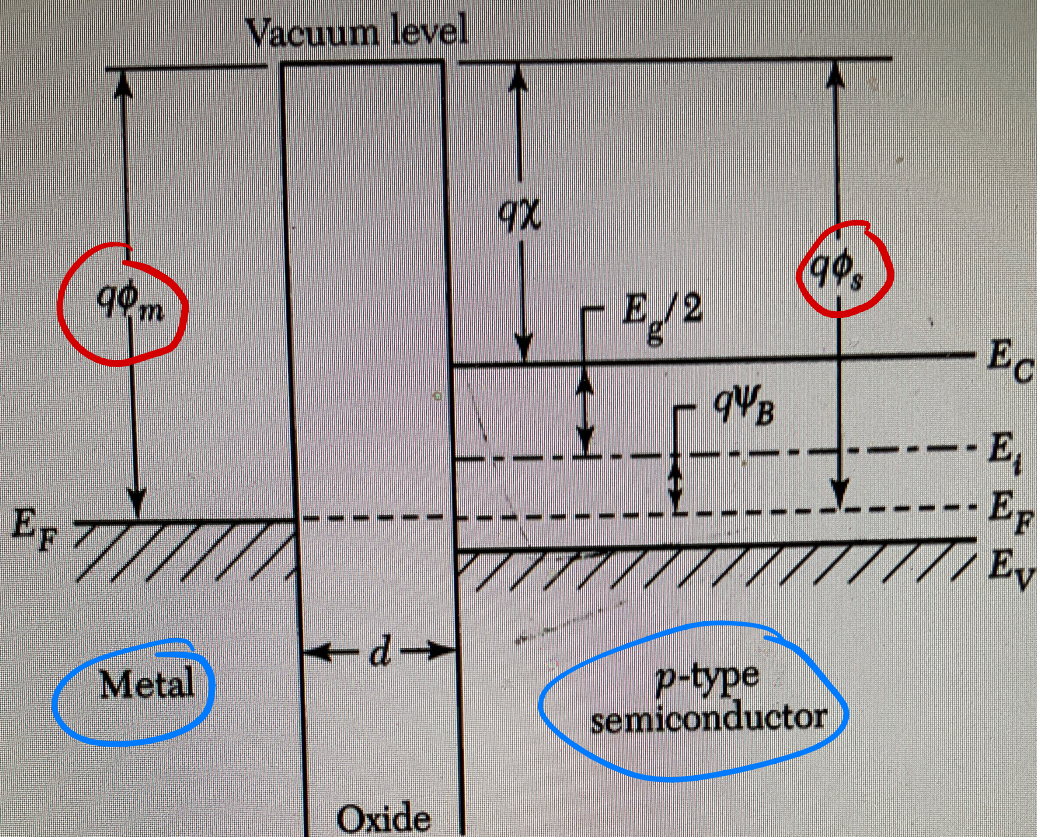


Fig. 8 Work function difference as a function of background impurity concentration for Al, n^+



band diagram of an ideal MOS diode at $V = 0$.

MOS is defined as follows. (a) At zero applied bias, the energy difference between the metal work function $q\phi_m$ and the semiconductor work function $q\phi_s$ is zero.[§]

$$q\phi_{ms} \equiv (q\phi_m - q\phi_s) = q\phi_m - \left(q\chi + \frac{E_g}{2} + q\psi_B \right) = 0,$$

of the three items in the brackets equals to $q\phi_s$. In other words,

(für $U_{BS} \stackrel{!}{=} 0$)

$$U_{th} = U_{FB} + 2\phi_B + \sqrt{\frac{2\epsilon_0 \epsilon_r \cdot e \cdot N_A (2\phi_B)}{C_{iso}}}$$

$$= -1,1V + 0,85V +$$

$$\sqrt{\frac{2 \cdot 11,7 \cdot 8,854 \cdot 10^{-14} \text{ F/cm} \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As} \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3} \cdot 0,85V}{6,9 \cdot 10^{-7} \text{ F/cm}^2}}$$

$$= 0,02V$$

$$0,6V = -0,02V + \frac{eF_B}{C_{iso}}$$

$$F_B = 0,62V \cdot 6,9 \cdot 10^{-7} \text{ F/cm}^2 \cdot \frac{1}{e} = \underline{\underline{2,67 \cdot 10^{12} \text{ cm}^{-2}}}$$

6

$$C_{iso} = \frac{\epsilon_{iso} \cdot \epsilon_0}{d_{iso}} = \frac{39 \cdot 8,854 \cdot 10^{-14} \text{ F/cm}}{5 \cdot 10^{-5} \text{ cm}}$$

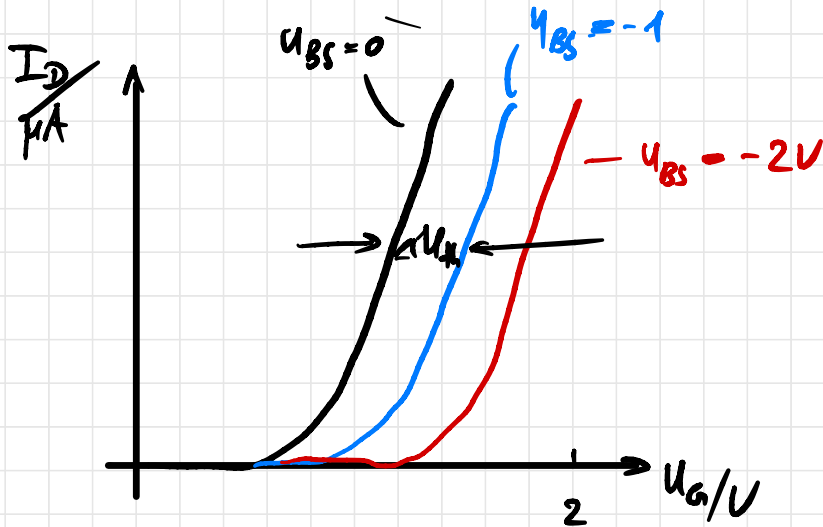
$$= 6,9 \cdot 10^{-9} \text{ F/cm}^2$$

$$2\phi_B = \phi_{i_{40}} = 0,85 \text{ V}, \quad U_{FB} = -1,1 \text{ V}$$

$$U_{th} = U_{FB} + 2\phi_B + \frac{\sqrt{2\epsilon_0\epsilon_{r,iso} \cdot e N_A \cdot 2\phi_B}}{C_{iso}}$$

$$= \underline{\underline{24,12 \text{ V}}}$$

⑦



U_{th} - Einstellung mittels U_{GS}

$$\Delta U_{th} = \frac{\sqrt{2 \epsilon_0 \epsilon_{iso} e N_A}}{C_{iso}} \cdot \left(\sqrt{2 \phi_B + U_{GS}} - \sqrt{2 \phi_B} \right)$$

$$= \frac{2 \cdot 11,4 \cdot 8,854 \cdot 10^{-14} \text{ F/cm} \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As} \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}}{6,9 \cdot 10^{-7} \text{ F/cm}}$$

$$\cdot \left(\sqrt{0,85 + 2} - \sqrt{0,85} \right)$$

$$= \underline{\underline{0,21 \text{ V}}}$$

⑧

Kurzkanaleffekte, bis zum
Verlust der Steuerbarkeit!

Athilfe: (englische Suchbegriffe)

- Threshold voltage roll-off
- Drain induced barrier Lowering (DIBL)
- Hot carrier injection
- velocity saturation
- Quantum confinement
- Avalanche breakdown

Andere FET - Strukturen, z.B. FinFET
oder sogar Paradigmenwechsel, d.h. nicht
mehr dadurch repräsentiert logisch "0" oder "1".

Beispiel aus der Supraleitung:

Rapid Single Flux Quantum RSFQ - Logik
magn. Fluß ersetzt Ladung

⑨

t_0 ist die Zeit, in der sich die Zahl n der aktiven Transistoren pro Chip verdoppelt.

Exponentialgesetz:

$$n = n_0 \cdot 2^{t/t_0} \quad (t = t_0 \Rightarrow n = 2n_0)$$

Logarithmieren:

$$\ln \frac{n}{n_0} = \frac{t}{t_0} \cdot \ln 2$$

Gerade als mittleres Wachstum in Abb. 1 führt zu t_0 .

Anstieg n im Verlauf von 10 Jahren (1975-1985) führt auf eine Erhöhung der Zahl der Transistoren pro Chip auf das 30fache ($3 \cdot 10^5 / 10^4$)

$$\ln \frac{n}{n_0} = \frac{t}{t_0} \ln 2$$

$$\ln 30 = \frac{10 \text{ à}}{t_0} \cdot \ln 2$$

$$\Rightarrow t_0 = \frac{10 \text{ à}}{\ln 30} \cdot \ln 2 = 2,04 \text{ à}$$

Zeit der Verdopplung der Transistoren
pro Chip beträgt etwas mehr als 2 Jahre.
(Mane sagte eine Verdopplung alle 18
Monate voraus)