Halbleiter und Nanotechnologie, Übung 8, Prof. Förster

Christoph Hansen

chris@university-material.de

Ich erhebe keinen Anspruch auf Vollständigkeit oder Richtigkeit. Falls ihr Fehler findet oder etwas fehlt, dann meldet euch bitte über den Emailkontakt.

Inhaltsverzeichnis

Aufgabe 1

a)

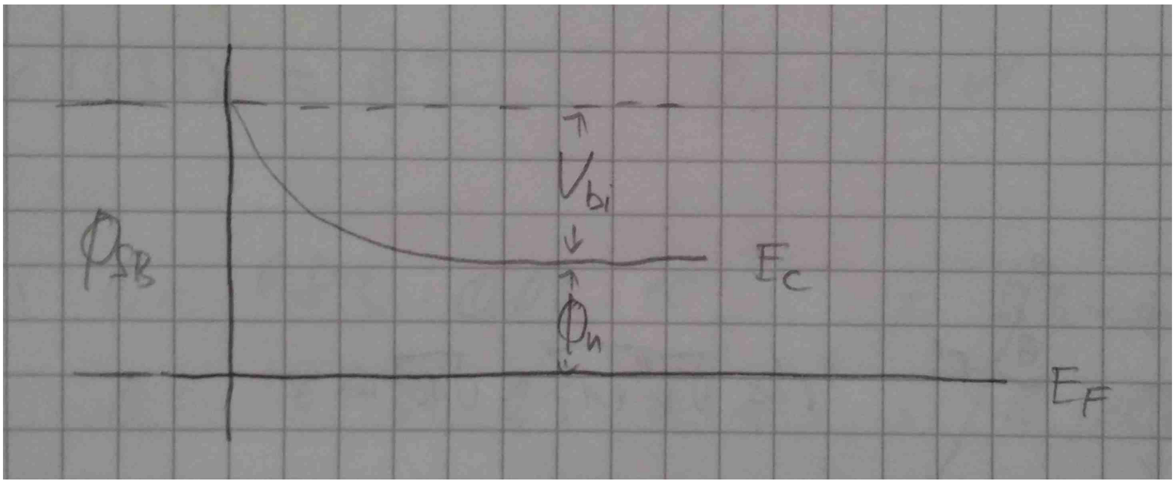
$$C' = \frac{\epsilon_0 \epsilon_R}{w}$$
$$\Leftrightarrow w = \frac{\epsilon_0 \epsilon_R}{C'} = \frac{12{,}9 \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12}}{10^{-3}} = 114\,\mathrm{nm}$$

b)

$$w = \sqrt{\frac{2\epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot (V_{bi} + V_R)}{eN_d}}$$
$$\Leftrightarrow V_{bi} + V_R = \frac{w^2 e N_d}{2\epsilon_r \epsilon_0}$$
$$\Leftrightarrow V_R = -0{,}6 + \frac{w^2 e N_d}{2\epsilon_r \epsilon_0}$$
$$= -0{,}6 + \frac{\left(114 \cdot 10^{-19}\right)^2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{23}}{12{,}9 \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12}} = 0{,}31\,\mathrm{V}$$

c)

Hier gilt $n = N_d$. Zur Anschaulichkeit ein Bild:



$$n = N_c \cdot e^{-\frac{E_c - E_F}{kT}}$$
$$\Leftrightarrow \ln\left(\frac{n}{N_c}\right) = -\frac{\phi_n e}{kT}$$
$$\Leftrightarrow \phi_n = \frac{kT}{e} \cdot \ln\left(\frac{N_c}{n}\right) = 38\,\mathrm{mV}$$

Damit ist die Schottky Barriere:

$$\phi_{SB} = 0{,}038 + 0{,}6 = 0{,}638\,\mathrm{mV}$$

Aufgabe 2

a)

$$j_s = A^* T^2 \cdot e^{-e \cdot \frac{\phi_{SB} - \Delta\phi}{kT}}$$

Wir vernachlässigen allerdings $\Delta\phi$, weil wir das E-Feld nicht kennen.

$$= 260 \cdot 300^2 \cdot e^{-\frac{0{,}72}{0{,}026}} = 2{,}2 \cdot 10^{-5}\,\mathrm{A/cm^2}$$

b)

$$I_S = j_s \cdot A = 2{,}2 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{-6} = 22 \cdot 10^{-12}\,\mathrm{A}$$

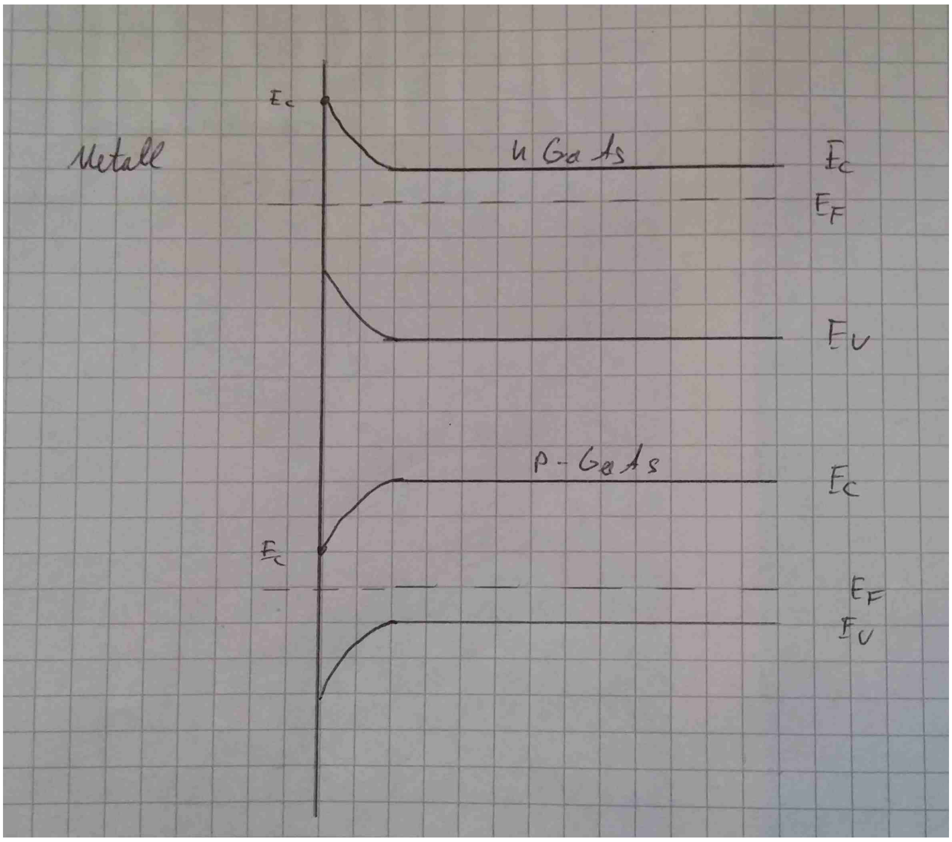
c)

Diese Teilaufgabe ist eigentlich falsch, da wie den Serienwiderstand nicht berücksichtigen!

$$\begin{aligned} I &= I_S \cdot \left(e^{\frac{U}{U_T}} - 1\right) \\ \frac{U}{U_T} &= \ln\left(\frac{I}{I_s} + 1\right) \\ \Leftrightarrow U &= U_T \cdot \ln\left(\frac{20 \cdot 10^{-3}}{22 \cdot 10^{-12}} + 1\right) = 0{,}52\,\mathrm{V} \end{aligned}$$

Aufgabe 3

a)



b)

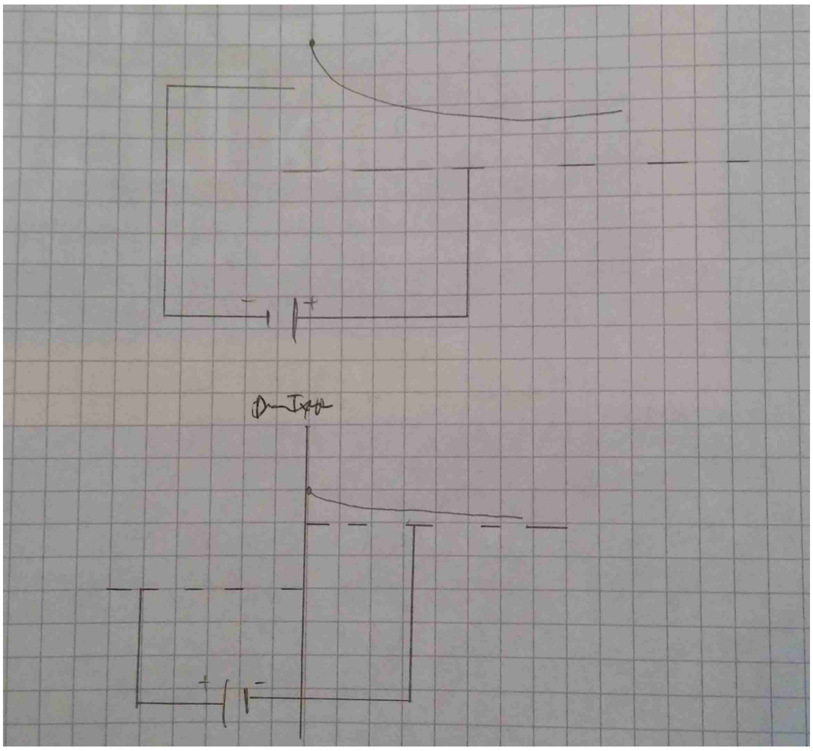


Abbildung 1: n-Typ

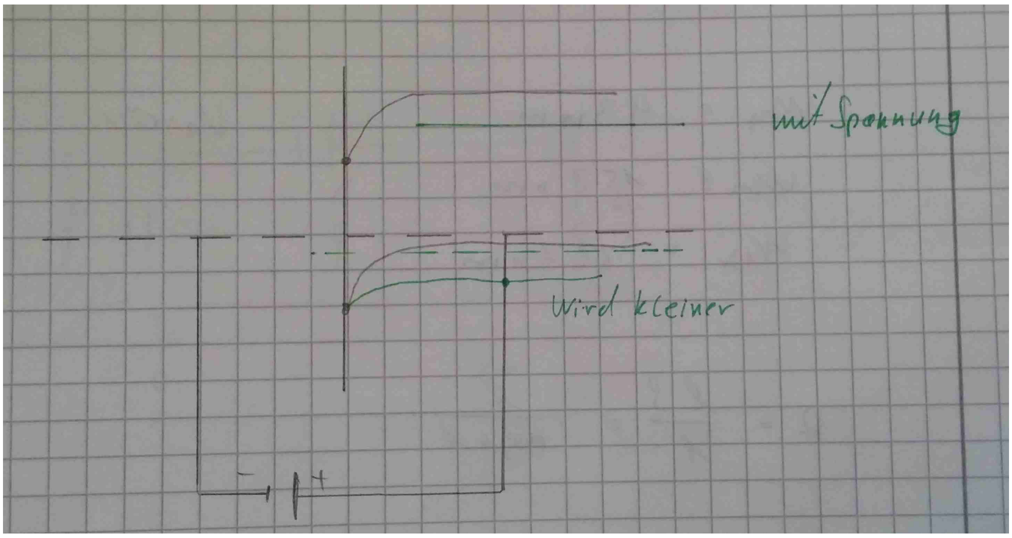
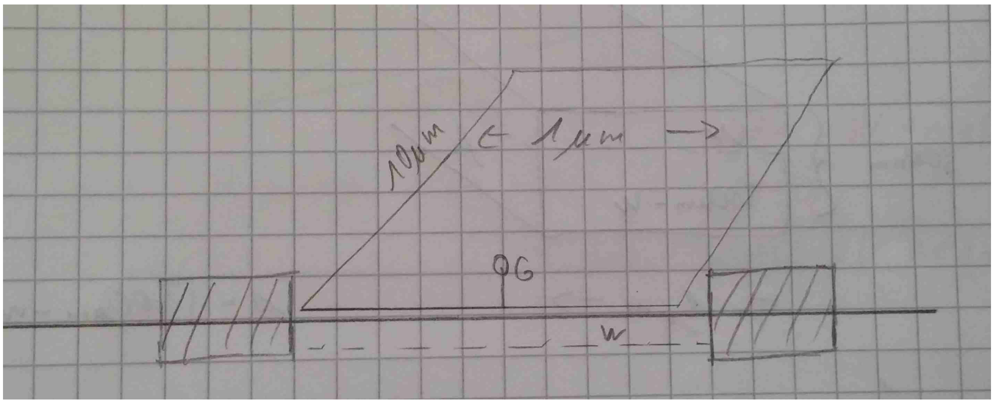


Abbildung 2: p-Typ

c)

Wir rechnen anders als in der Aufgabenstellung mit $V_{bi} = 0{,}6\,\mathrm{V}$



c1)

$$w = \sqrt{\frac{2\epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot (V_{bi} + V_R)}{eN_d}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12} \cdot 12{,}9 \cdot 0{,}6}{1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{23}}} = 93\,\mathrm{nm}$$

c2)

$$w = \sqrt{\frac{2\epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot (V_{bi} + V_R)}{eN_d}}$$
$$\Leftrightarrow V_R = \frac{\left(300 \cdot 10^{-9}\right)^2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{23}}{2 \cdot 12{,}9 \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12}} = 5{,}7\,\mathrm{V}$$

d)

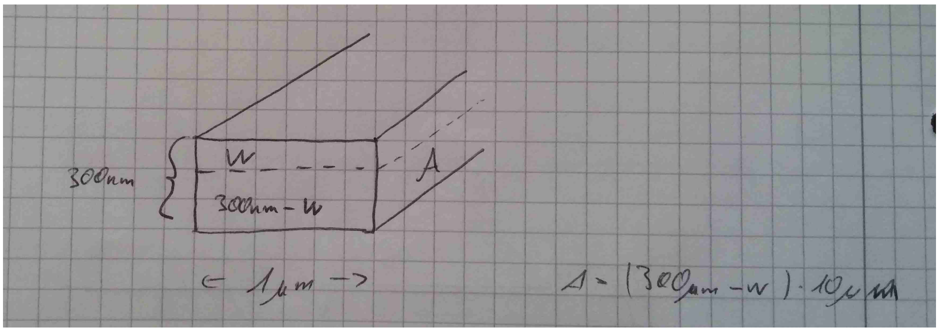
Wir berechnen die Dicken für die einzelnen Reversespannungen:

$$w(0) = 93\,\mathrm{nm}$$
$$w(1) = 152\,\mathrm{nm}$$
$$w(3) = 227\,\mathrm{nm}$$

Den Widerstand bestimmen wir dann so:

$$R = \frac{l\rho}{A} = \frac{l}{ne\mu A}$$

Anschaulich sieht das ungefähr so aus:



Die Widerstände ergeben sich dann zu:

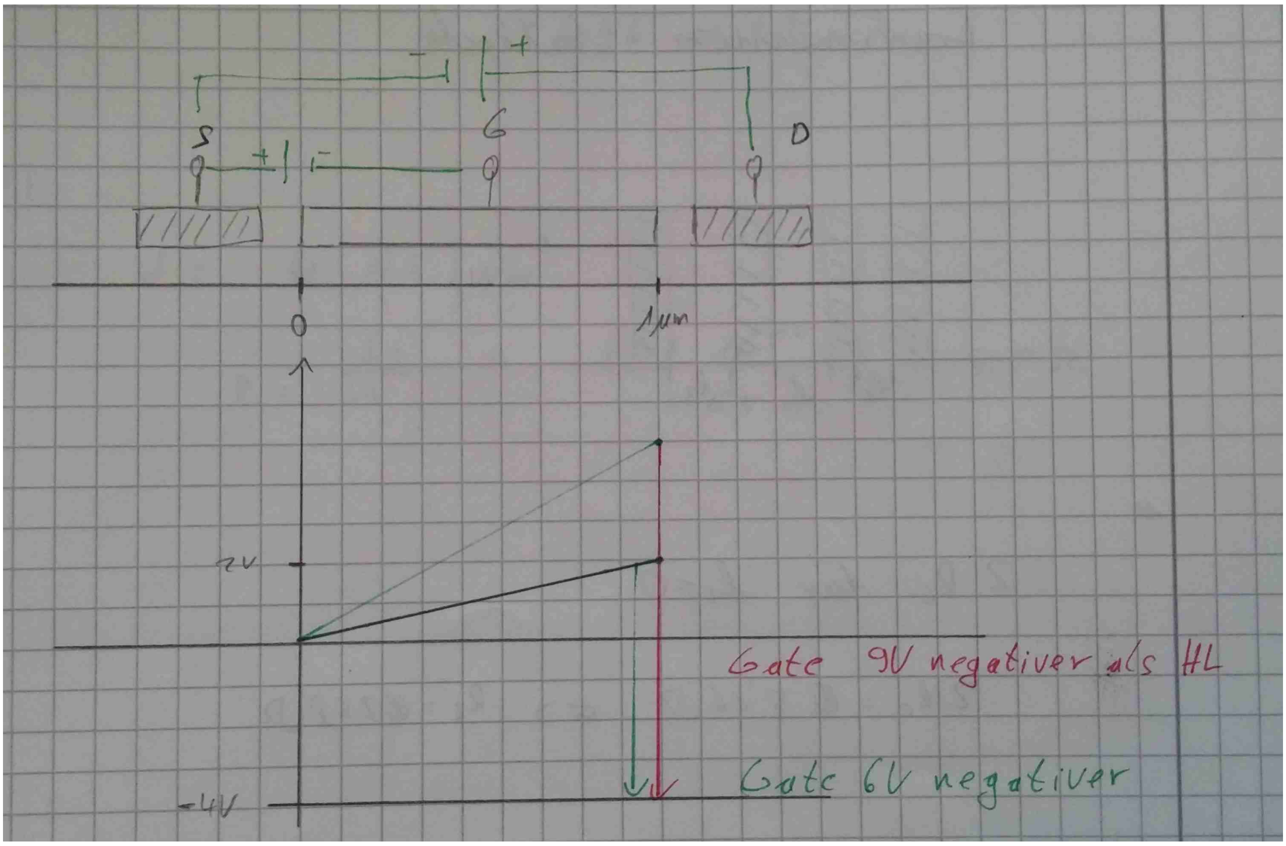
$$R(0) = \frac{10^{-6}}{10^{23} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 0{,}2 \cdot (300-93) \cdot 10^{-9} \cdot 10^{-5}} = 151\,\Omega$$
$$R(1) = \frac{10^{-6}}{10^{23} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 0{,}2 \cdot (300-152) \cdot 10^{-9} \cdot 10^{-5}} = 211\,\Omega$$
$$R(3) = \frac{10^{-6}}{10^{23} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 0{,}2 \cdot (300-227) \cdot 10^{-9} \cdot 10^{-5}} = 428\,\Omega$$

Die Leitwerte sind dann:

$$G(0) = 6{,}6 \cdot 10^{-3}\,1/\Omega$$
$$G(1) = 4{,}74 \cdot 10^{-3}\,1/\Omega$$
$$G(3) = 2{,}33 \cdot 10^{-3}\,1/\Omega$$

Aufgabe 4

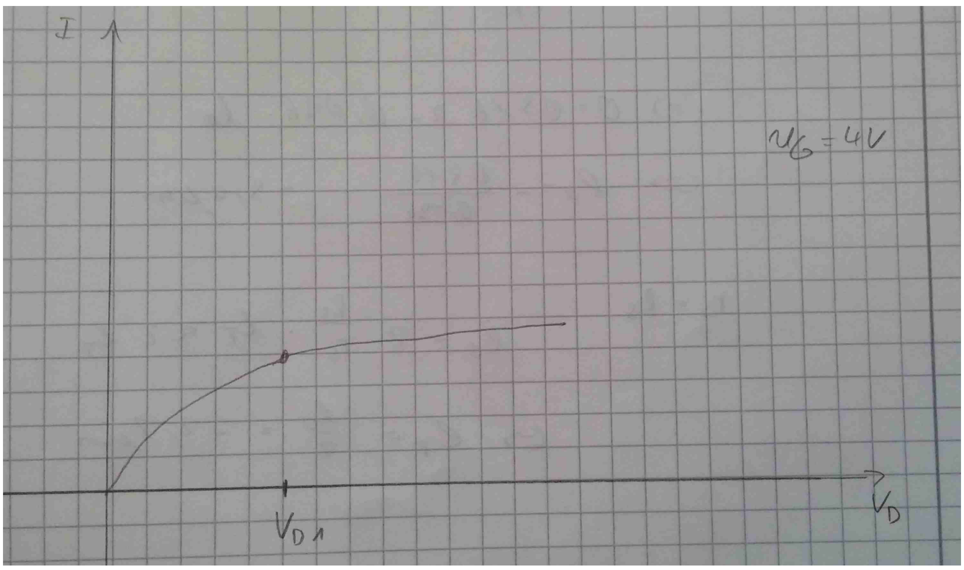
a)



b)

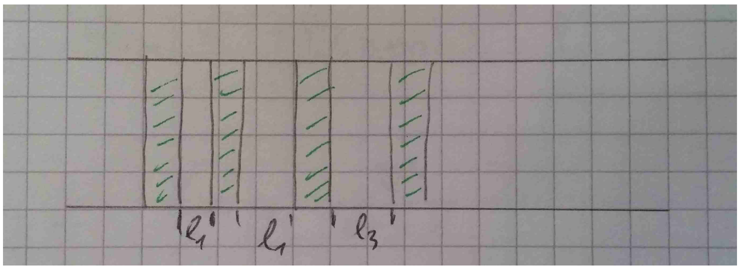
Die Raumladungszone wird nach rechts größer.

c)



Aufgabe 5

a)



Es gilt das $2R_C$, wenn $l_i = 0$

$$2R_C = 0{,}516$$
$$\Leftrightarrow R_C = 0{,}258\,\Omega$$

b)

Wir müssen zunächst l_0 bestimmen, dasmit wir dann l_T berechnen können. l_0 ist der Schnittpunkt bei $R = 0$:

$$0 = 0{,}516 + 0{,}096 \cdot l_0$$
$$\Leftrightarrow l_0 = -\frac{0{,}516}{0{,}096} = -5{,}4\,\mu\text{m}$$

Wir setzen $r_s = R_s$ vorraus:

$$l_0 = 2 \cdot \frac{R_s}{r_s} \cdot l_T \approx 2 \cdot l_T$$
$$\Leftrightarrow l_T = \frac{l_0}{2} = -2{,}7\,\mu\text{m}$$

Nun bestimmen wir noch die effektice Kontaktfläche:

$$A_{eff} = 10 \cdot 10^{-6} \cdot l_T = 10 \cdot 10^{-6} \cdot 2{,}7 \cdot 10^{-6} = 27 \cdot 10^{-12}\,\text{m}^2$$

d)

$$\rho_i = R_c \cdot A = 0{,}258 \cdot 27 \cdot 10^{-12} = 6{,}69 \cdot 10^{-12}\,\Omega\,\text{m}^2$$

e)

$$R = \frac{\rho \cdot e}{A} = \frac{6{,}69 \cdot 10^{-12}}{4 \cdot 0{,}5 \cdot 10^{-12}} = 3{,}5\,\Omega$$