

Halbleiter und Nanotechnologie, Übung 8, Prof. Förster

Christoph Hansen

chris@university-material.de

Dieser Text ist unter dieser [Creative Commons](#) Lizenz veröffentlicht.

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	2
Aufgabe 2	3
Aufgabe 3	4
Aufgabe 4	8
Aufgabe 5	9

Aufgabe 1

a)

$$C' = \frac{\epsilon_0 \epsilon_R}{w}$$

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

b)

$$w = \sqrt{\frac{2\epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot (V_{bi} + V_R)}{eN_d}}$$

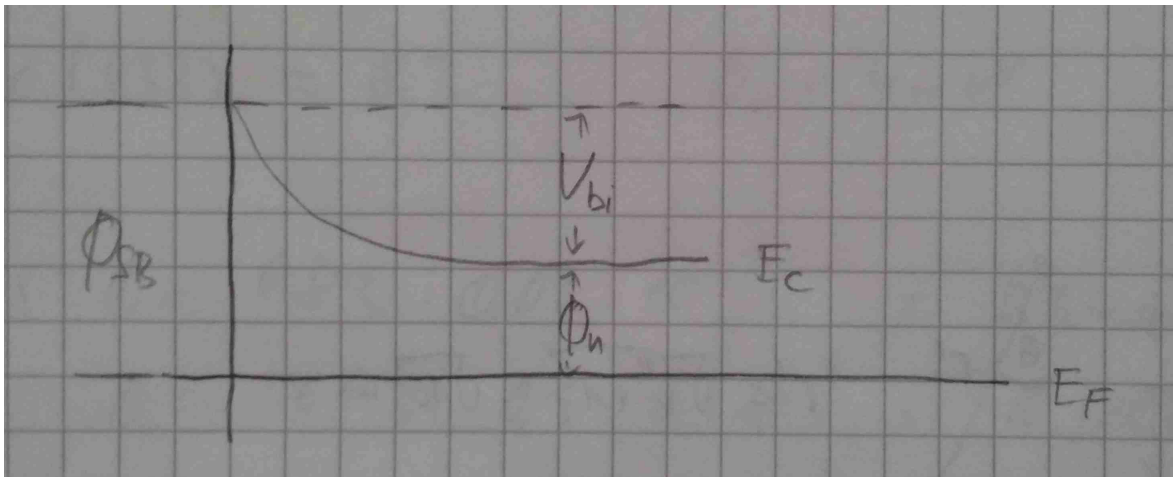
$$\Leftrightarrow V_{bi} + V_R = \frac{w^2 e N_d}{2\epsilon_r \epsilon_0}$$

$$\Leftrightarrow V_R = -0,6 + \frac{w^2 e N_d}{2\epsilon_r \epsilon_0}$$

$$= -0,6 + \frac{(114 \cdot 10^{-19})^2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{23}}{12,9 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} = 0,31 \text{ V}$$

c)

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



$$n = N_c \cdot e^{-\frac{E_c - E_F}{kT}}$$

$$\Leftrightarrow \ln\left(\frac{n}{N_c}\right) = -\frac{\phi_n e}{kT}$$

$$\Leftrightarrow \phi_n = \frac{kT}{e} \cdot \ln\left(\frac{N_c}{n}\right) = 38 \text{ mV}$$

Damit ist die Schottky Barriere:

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

Aufgabe 2

a)

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

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

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

b)

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

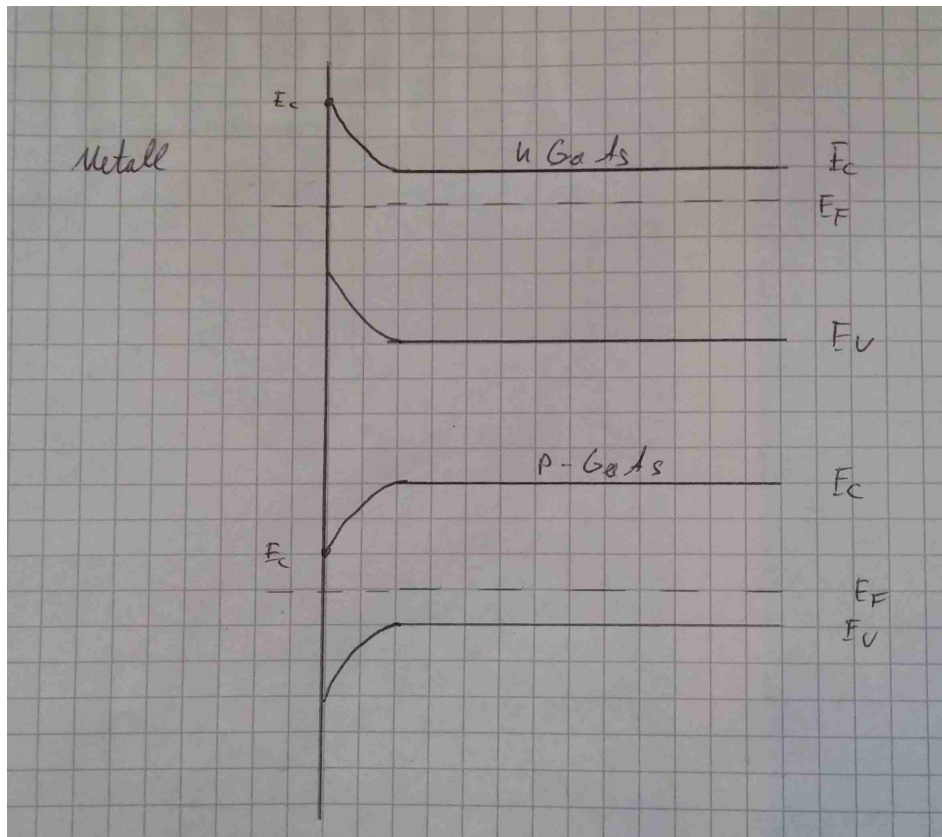
c)

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

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

Aufgabe 3

a)



b)

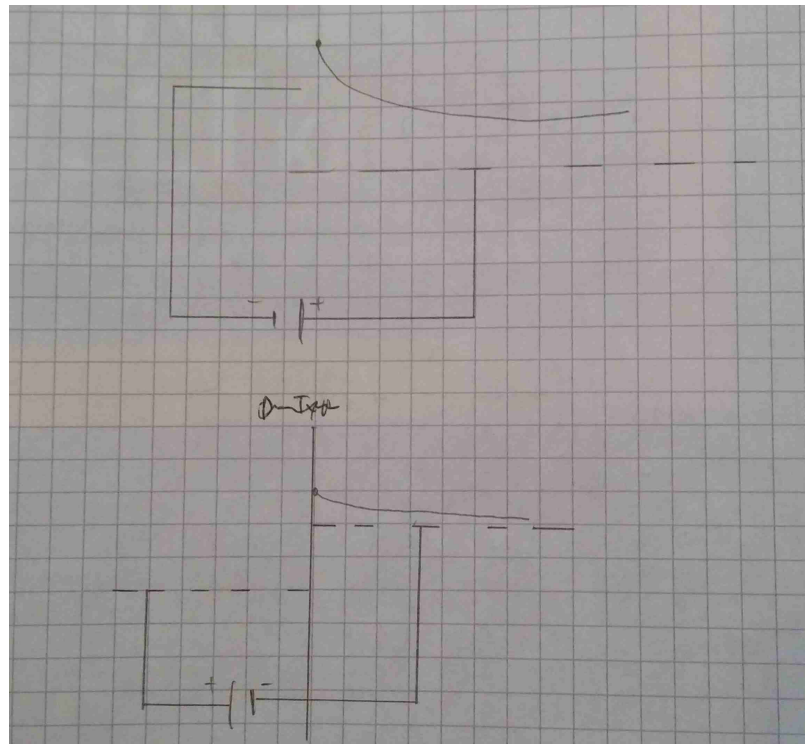


Abbildung 1: n-Typ

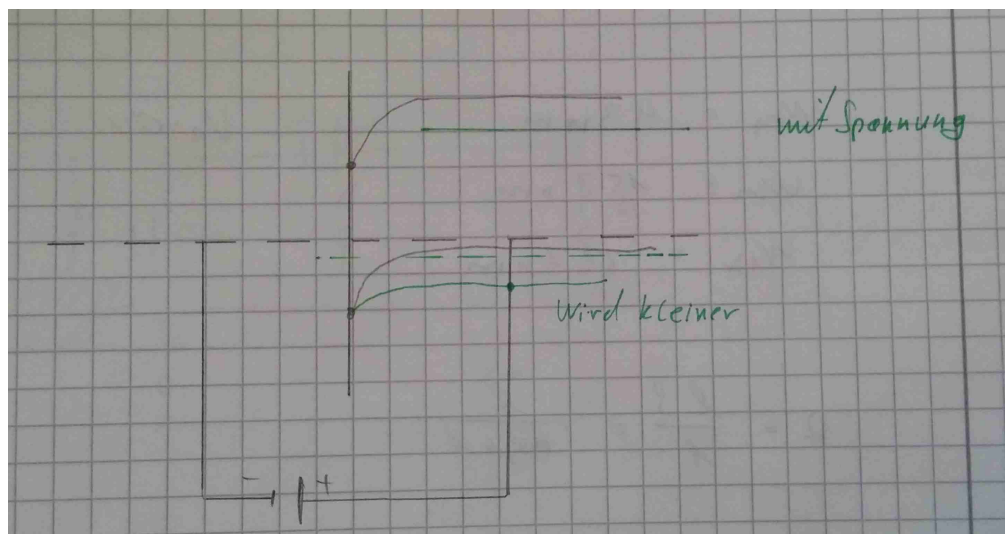
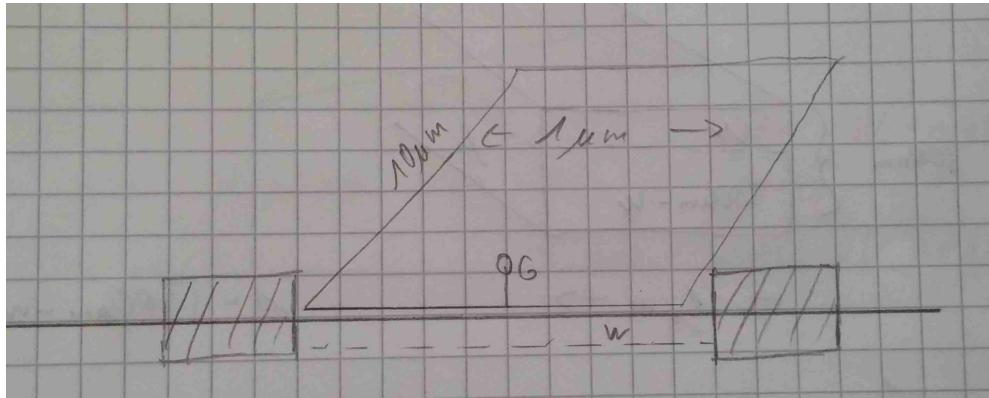


Abbildung 2: p-Typ

c)

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



c1)

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

c2)

$$w = \sqrt{\frac{2\epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot (V_{bi} + V_R)}{eN_d}}$$

$$\Leftrightarrow V_R = \frac{(300 \cdot 10^{-9})^2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{23}}{2 \cdot 12,9 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} = 5,7 \text{ V}$$

d)

Wir berechnen die Dicken für die einzelnen Reversespannungen:

$$w(0) = 93 \text{ nm}$$

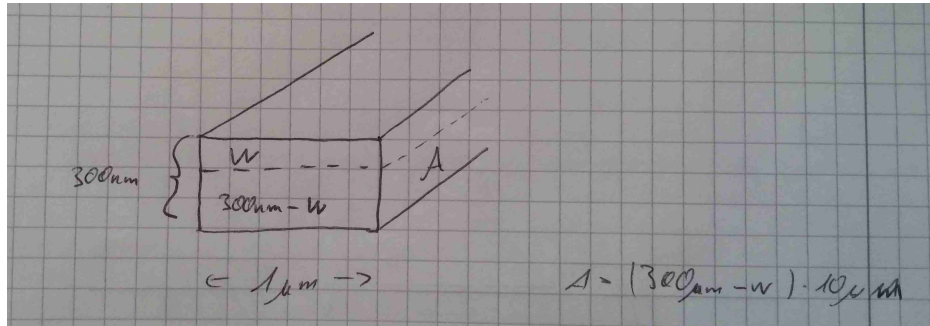
$$w(1) = 152 \text{ nm}$$

$$w(3) = 227 \text{ nm}$$

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:

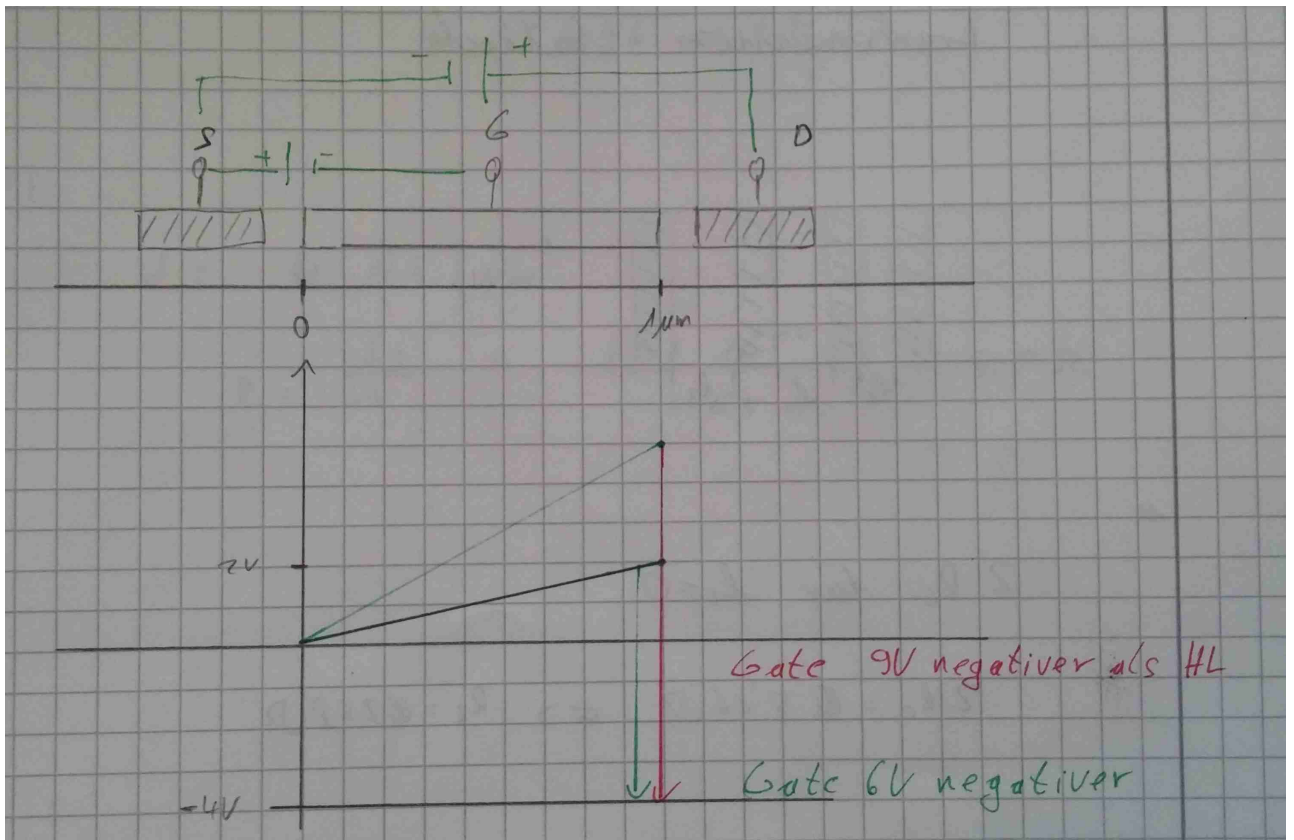
$$G(0) = 6,6 \cdot 10^{-3} \text{ 1}/\Omega$$

$$G(1) = 4,74 \cdot 10^{-3} \text{ 1}/\Omega$$

$$G(3) = 2,33 \cdot 10^{-3} \text{ 1}/\Omega$$

Aufgabe 4

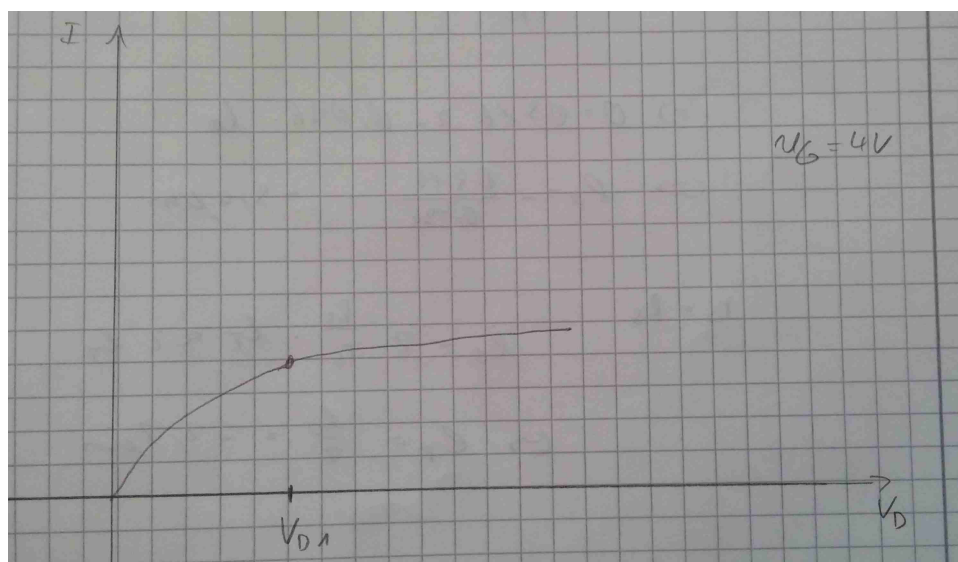
a)



b)

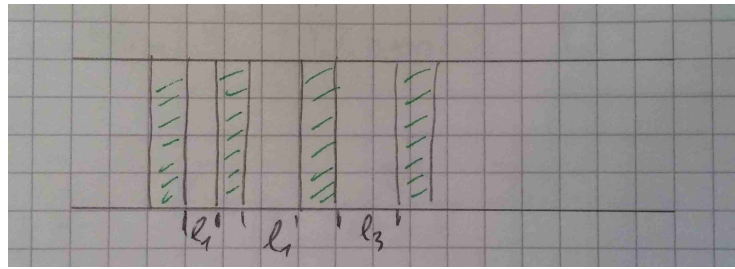
Die Raumladungszone wird nach rechts größer.

c)



Aufgabe 5

a)



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

$$\begin{aligned} 2R_C &= 0,516 \\ \Leftrightarrow R_C &= 0,258 \, \Omega \end{aligned}$$

b)

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

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

Wir setzen $r_s = R_s$ voraus:

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

Nun bestimmen wir noch die effektive 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)

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

e)

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