

# Halbleiter und Nanotechnologie, Übung 8, Prof. Förster

Christoph Hansen

[chris@university-material.de](mailto: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

<b>Aufgabe 1</b>	<b>2</b>
<b>Aufgabe 2</b>	<b>3</b>
<b>Aufgabe 3</b>	<b>4</b>
<b>Aufgabe 4</b>	<b>8</b>
<b>Aufgabe 5</b>	<b>9</b>

## 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)

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

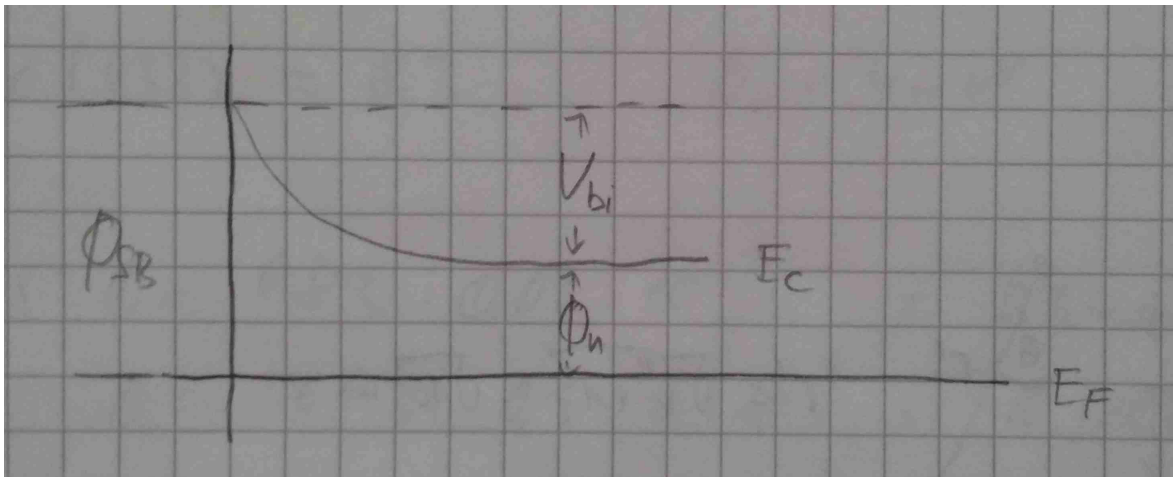
$$\Leftrightarrow V_{bi} + V_R = \frac{w^2 e N_d}{2\epsilon_r \epsilon_0}$$

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

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

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)

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

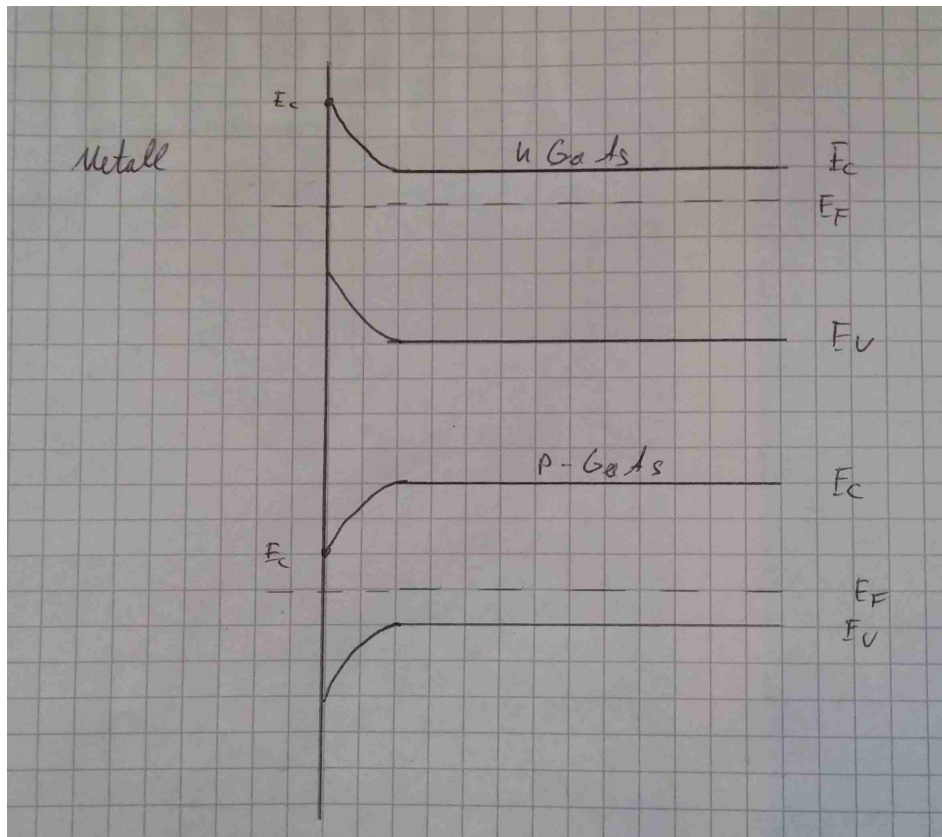
c)

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)

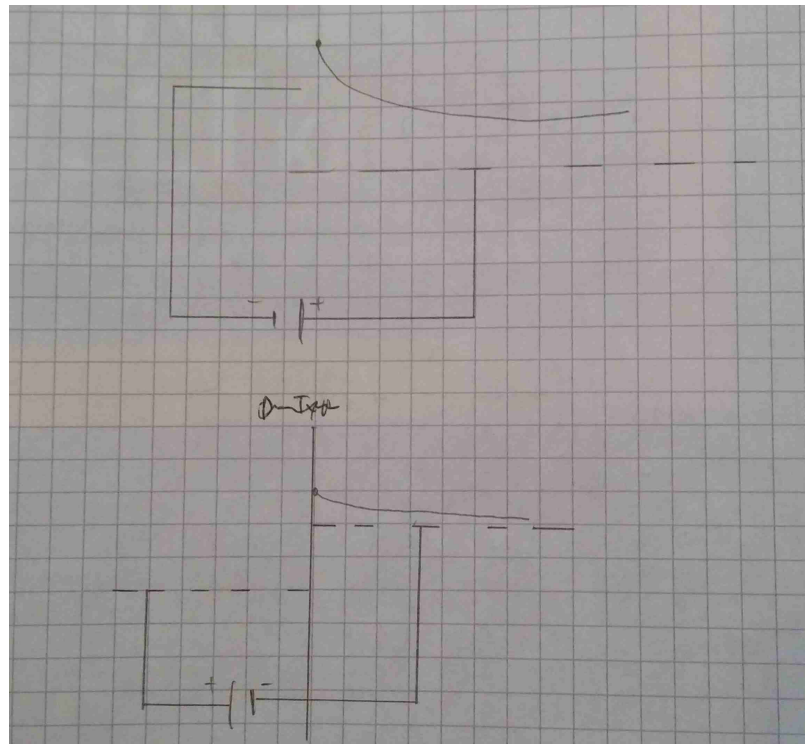


Abbildung 1: n-Typ

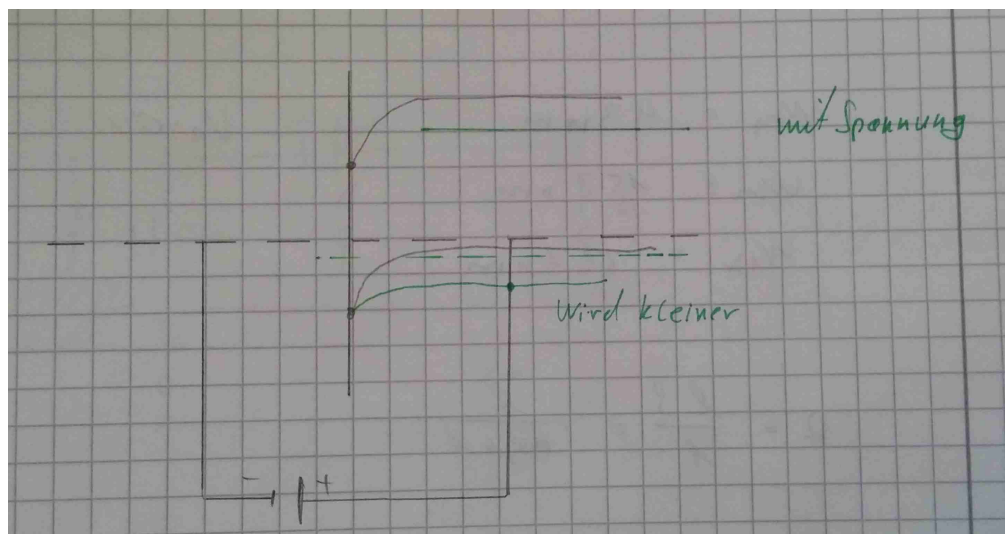
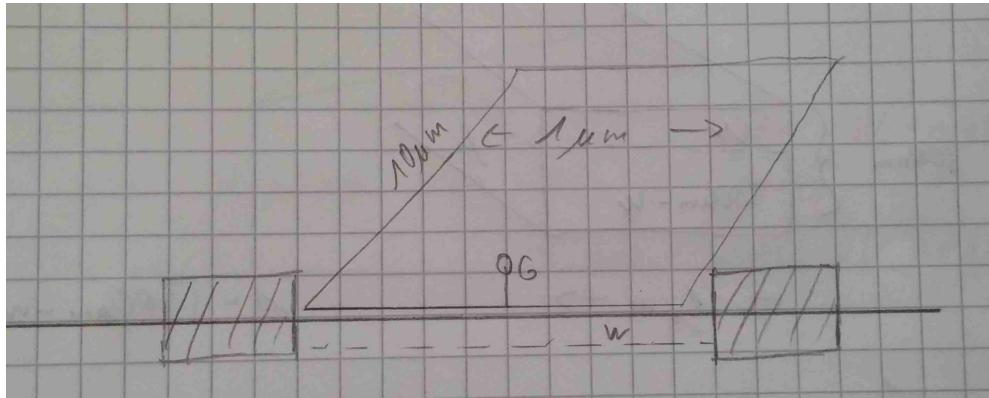


Abbildung 2: p-Typ

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 Reverseespannungen:

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

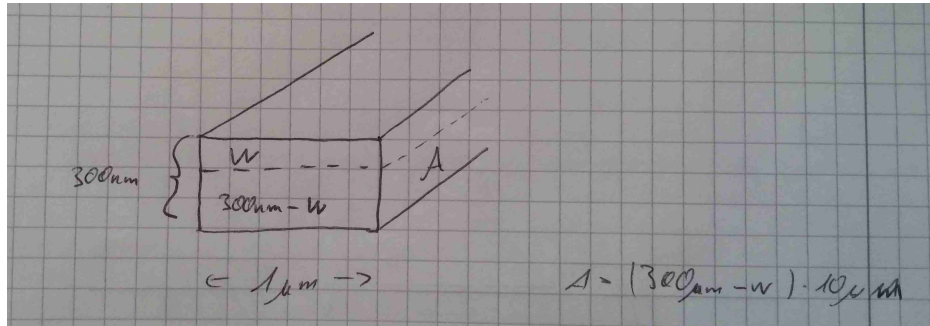
$$w(1) = 152 \text{ nm}$$

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

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:

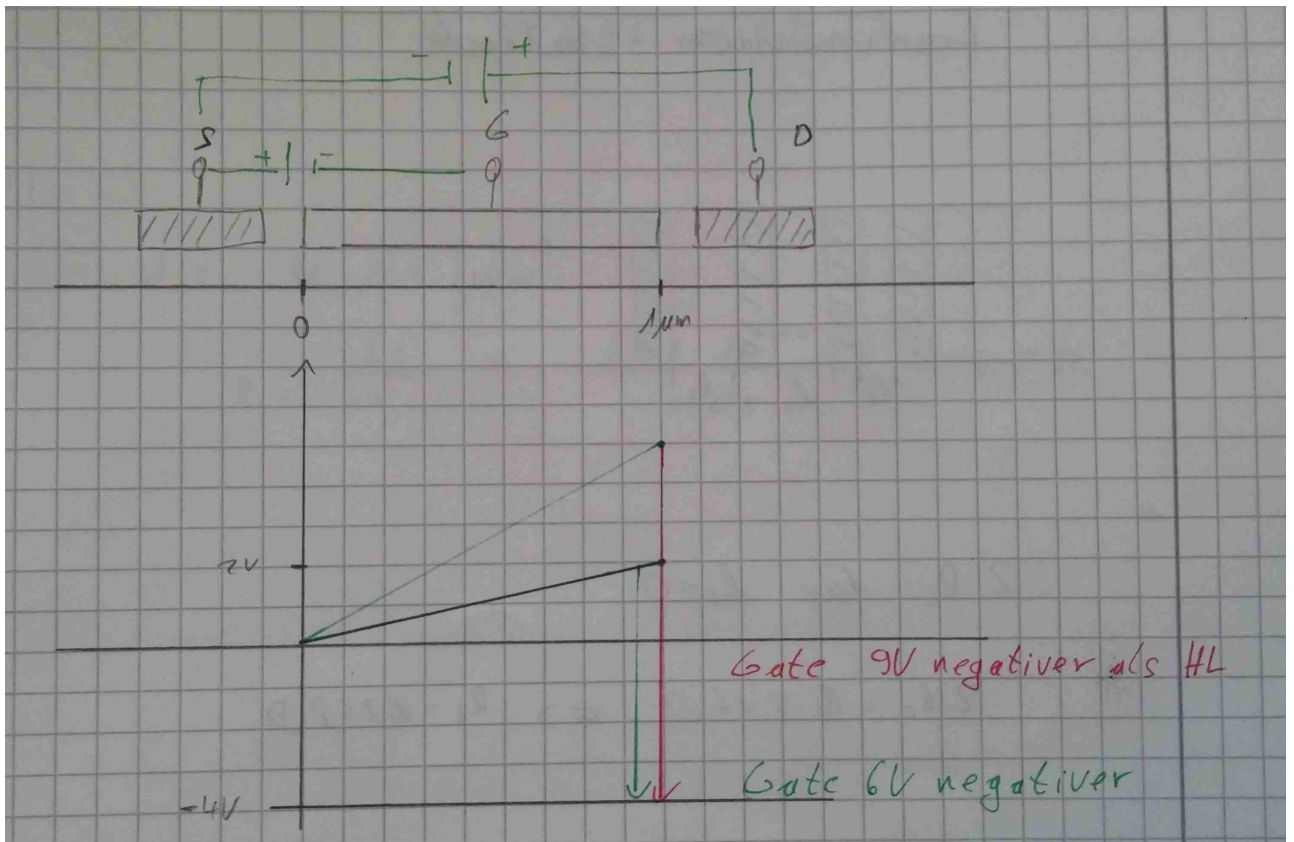
$$G(0) = 6,6 \cdot 10^{-3} \, 1/\Omega$$

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

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

## Aufgabe 4

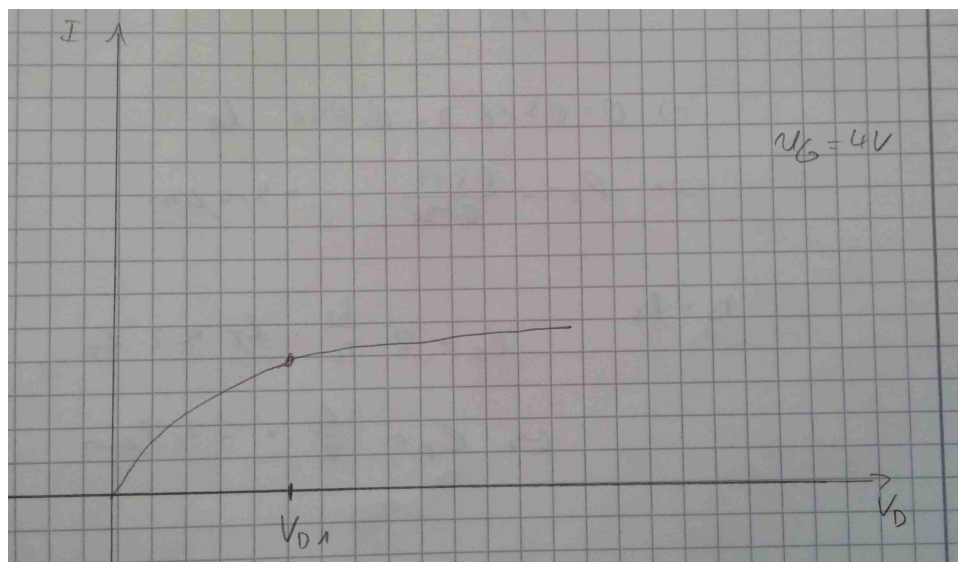
a)



b)

Die Raumladungszone wird nach rechts größer.

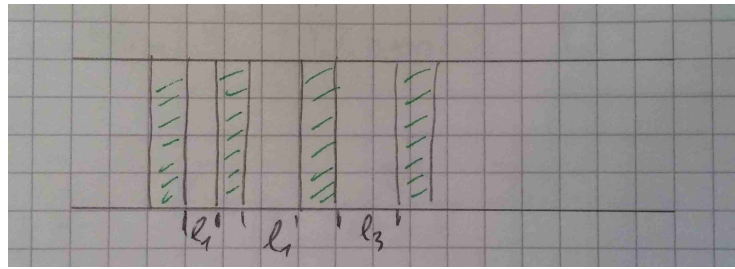
c)





## Aufgabe 5

a)



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

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

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)

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