Halbleiter und Nanotechnologie, Probeklausur, 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)

Der Leitwert ist auch der Volumenfluss $q_V = C$, also:

$$C_{H_2} = \sqrt{\frac{RT}{2\pi M}} \cdot A = \sqrt{\frac{8{,}31 \cdot 300}{2\pi \cdot 2 \cdot 10^{-3}}} \cdot \frac{\pi \cdot \left(0{,}3 \cdot 10^{-6}\right)^2}{4} = 3{,}14 \cdot 10^{-11}\,\mathrm{m^3/s}$$
$$C_{N_2} = \sqrt{\frac{RT}{2\pi M}} \cdot A = \sqrt{\frac{8{,}31 \cdot 300}{2\pi \cdot 28 \cdot 10^{-3}}} \cdot \frac{\pi \cdot \left(0{,}3 \cdot 10^{-6}\right)^2}{4} = 8{,}4 \cdot 10^{-12}\,\mathrm{m^3/s}$$

b)

Die Leckraten sind:

$$L_{H_2} = P_a \cdot q_V = 0{,}5 \cdot 10^5 \cdot 3{,}14 \cdot 10^{-11} = 1{,}5 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{Pa\,m^3/s}$$
$$L_{N_2} = 0{,}5 \cdot 10^5 \cdot 8{,}4 \cdot 10^{-12} = 2{,}5 \cdot 10^{-7}\,\mathrm{Pa\,m^3/s}$$

c)

Wir haben einen linearen Druckanstieg. I_E ist der einlaufende Gasstrom also die Leckrate:

$$P = P_0 + \frac{I_E}{V_r} \cdot t$$
$$P_{H_2} = \frac{1{,}5 \cdot 10^{-8}}{0{,}3} \cdot 600 = 3 \cdot 10^{-5}\,\mathrm{mbar}$$
$$P_{H_2} = \frac{2{,}5 \cdot 10^{-9}}{0{,}3} \cdot 600 = 5 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{mbar}$$

$$P_{ges} = P_0 + P_{N_2} + P_{H_2} = 3{,}5 \cdot 10^{-5}\,\mathrm{mbar}$$

d)

Aus den Enddrücken von Wasserstoff und Stickstoff berechnen wir den Gesamtenddruck:

$$P_{e,H_2} = \frac{P_a \cdot C}{S} = \frac{0{,}5 \cdot 10^5 \cdot 3{,}1 \cdot 10^{-11}}{0{,}2} = 7{,}75 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{Pa}$$
$$P_{e,N_2} = \frac{P_a \cdot C}{S} = \frac{0{,}5 \cdot 10^5 \cdot 8{,}9 \cdot 10^{-12}}{0{,}2} = 1{,}26 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{Pa}$$

$$P_{ges} = P_{e,H_2} + P_{e,N_2} = 9 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{Pa}$$

Aufgabe 2

a)

Der Leitwert des Rohres ist:

$$C_L = 1{,}2 \cdot \sqrt{\frac{T}{M}} \cdot \frac{D^3}{L} = 1{,}2 \cdot \sqrt{\frac{300}{28 \cdot 10^{-3}}} \cdot \frac{\left(50 \cdot 10^{-3}\right)^3}{5} = 3{,}1 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{m^3/s} = 3{,}1\,\mathrm{l/s}$$

Den Klausingfaktor müssen wir nicht berücksichtigen, das das Verhältnis vonm Länge zu Durchmesser sehr groß ist.

b)

$$\frac{1}{S_{eff}} = \frac{1}{C_V} + \frac{1}{C_L} + \frac{1}{S_P} = \frac{1}{10} + \frac{1}{3{,}1} + \frac{1}{200} = 0{,}43\,\mathrm{s/l}$$
$$\Leftrightarrow S_{eff} = 2{,}2\,\mathrm{l/s}$$

Aufgabe 3

Das Rohr ist $3\,\mathrm{m}$ lang!

a)

Die Knudsenzahl lässt sich so bestimmen:

$$K = \frac{\lambda}{D} \qquad \text{mit} \qquad \lambda = \frac{\lambda_P}{\bar{P}}$$
$$= \frac{\frac{\lambda_P}{\frac{P_1+P_2}{2}}}{D} = \frac{\frac{79 \cdot 10^{-6}}{275}}{15 \cdot 10^{-3}} = 1{,}9 \cdot 10^{-3} < 10^{-2}$$

Es handelt sich um eine reibungsbehaftete Strömung.

b)

$$C_{Rohr} = 2{,}454 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{D^4}{\eta l} \cdot \bar{P} = 2{,}454 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{\left(1{,}5 \cdot 10^{-3}\right)^4 \cdot 275}{0{,}0086 \cdot 10^{-3} \cdot 3} = 1{,}32 \cdot 10^{-2}\,\mathrm{m^3/s}$$

c)

$$I = C \cdot \Delta P = 1{,}32 \cdot 10^{-2} \cdot (300 - 250) = 6{,}6 \cdot 10^{-1}\,\mathrm{Pa\,m^3/s}$$

Aufgabe 4

a)

Wir müssen die Formel für die Energie zweifach nach k ableiten:

$$\frac{\partial E}{\partial k} = 2 \cdot 9{,}13 \cdot 10^{-38} \cdot (k - k_0)$$
$$\frac{\partial^2 E}{\partial^2 k} = 2 \cdot 9{,}13 \cdot 10^{-38}$$

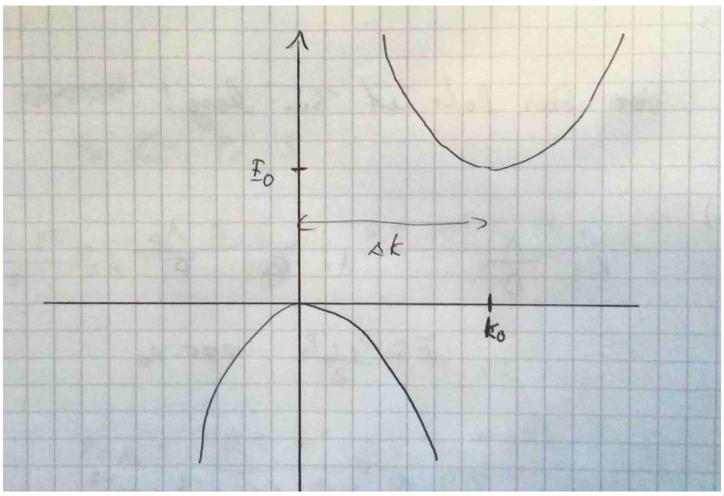
Nun müssel wir noch die masseabhängige Energieformel ableiten:

$$E = \frac{\hbar^2 \cdot k^2}{2m}$$
$$\frac{\partial E}{\partial k} = \frac{\hbar^2 \cdot k}{m}$$
$$\frac{\partial^2 E}{\partial^2 k} = \frac{\hbar^2}{m^*}$$

Nun können wir gleichsetzen:

$$\Leftrightarrow \frac{1}{m^*} = \frac{\partial^2 E}{\partial^2 k} \cdot \frac{1}{\hbar^2} = \frac{2 \cdot 9{,}13 \cdot 10^{-38}}{(1{,}054 \cdot 10^{-34})^2} = 1{,}6 \cdot 10^{31}$$
$$\Leftrightarrow m^* = 6{,}08 \cdot 10^{-32}\,\mathrm{kg}$$
$$\Rightarrow \frac{m^*}{m_e} = \frac{6{,}08 \cdot 10^{-32}}{9{,}1 \cdot 10^{-31}} = 0{,}067$$

b)



Es ist ein indirekter Halbleiter, das es den Versatz Δk gibt.

c)

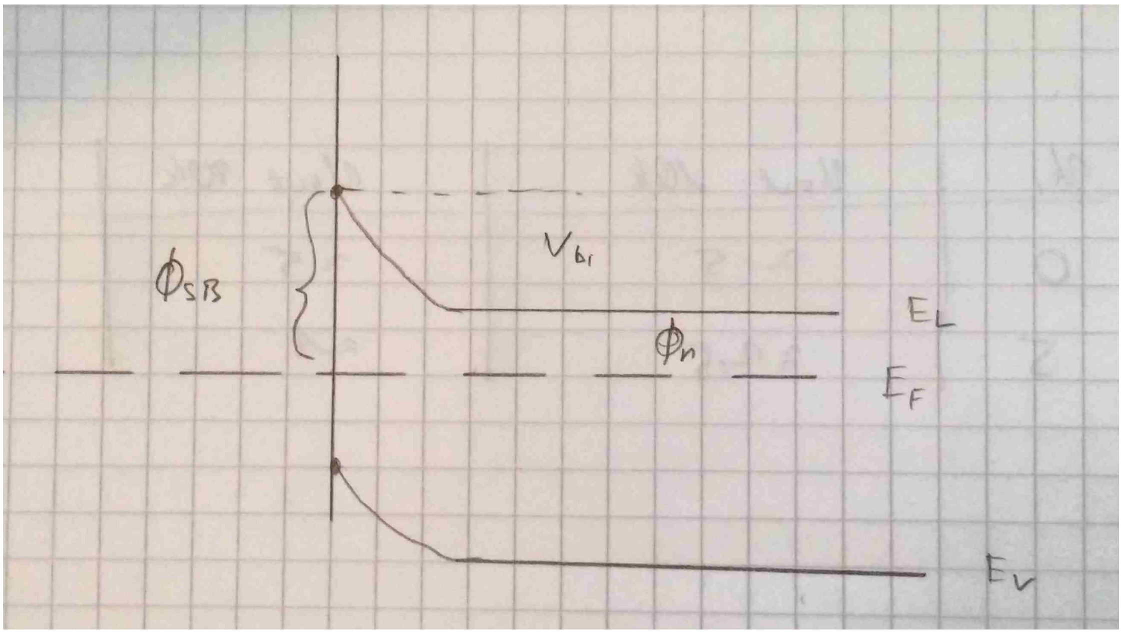
$$
\begin{aligned}
n &= N_c \cdot e^{-\frac{E_L - E_F}{kT}} \\
\Leftrightarrow \frac{n}{N_c} &= e^{-\frac{\Delta E}{kT}} \\
\Leftrightarrow \frac{\Delta E}{kT} &= \ln\left(\frac{n}{N_c}\right) = \ln\left(\frac{10^{23}}{4{,}35 \cdot 10^{23}}\right) = 1{,}47
\end{aligned}
$$

Wir rechnen mit $kT = 26\,\mathrm{meV}$

$$\Leftrightarrow \Delta E = 1{,}47 \cdot 26 = 38{,}2\,\mathrm{meV}$$

Aufgabe 5

a)



b)

$$
\begin{aligned}
\phi_{SB} &= V_{bi} + \phi_n \\
\Leftrightarrow V_{bi} &= \phi_{SB} - \phi_n = 0{,}65 - 0{,}09 = 0{,}56\,\mathrm{V}
\end{aligned}
$$

c)

$$w = \sqrt{\frac{2\epsilon_r\epsilon_0 \cdot (V_{bi} + V_R)}{e \cdot N_d}} = \sqrt{\frac{2\epsilon_r\epsilon_0 \cdot 0{,}56}{1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{22}}} = 220\,\mathrm{nm}$$

d)

$$C' = \frac{\epsilon_r \cdot \epsilon_0}{w} = \frac{8{,}85 \cdot 10^{-12} \cdot 12{,}9}{220 \cdot 10^{-9}} = 5{,}1 \cdot 10^{-4}\,\mathrm{F/m}$$

Aufgabe 6

Wir müssen jeweils zwei Lastgeraden berechnen. Diese gehen laufen von $5\,\mathrm{V}$ auf der x-Achse zu dem berechneten Strom auf der y-Achse:

$$I_{10k} = \frac{U_B}{R_L} = \frac{5}{10000} = 0{,}5\,\mathrm{mA}$$
$$I_{20k} = \frac{U_B}{R_L} = \frac{5}{20000} = 0{,}25\,\mathrm{mA}$$

b)

U_i	U_{out} 10k	U_{out} 20k
0	5	5
5	2,5	1

Man würde den $20\,\mathrm{k\Omega}$ Widerstand nehmen, da dieser mehr schwankt.