# Halbleiter und Nanotechnologie, Übung 7, 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)

Es gibt zwar 6 Taschen, aber nur zwei unterschiedliche Massen bei den Elektronen. Diese sind $m_t = transversal$ und $m_l = longitudinal$.

## b)

Zunächst setzen wir die gegebenen Größen ein:

$$\begin{aligned}
\omega^2 &= \frac{e^2B^2}{m_t^2} \cdot \cos^2(\theta) + \frac{e^2B^2}{m_t m_l} \cdot \sin^2(\theta) := \frac{e^2B^2}{m*^2} \\
&= e^2B^2 \cdot \left(\frac{\cos^2(\theta)}{m_t^2} + \frac{\sin^2(\theta)}{m_t m_l}\right) = e^2B^2 \cdot \frac{}{m*^2} \\
\Leftrightarrow \frac{1}{m*^2} &= \frac{\cos^2(\theta)}{m_t^2} + \frac{\sin^2(\theta)}{m_t m_l}
\end{aligned}$$

# Aufgabe 2

## a)

$$E_F = E_D - 3kT$$

Wir rechnen mit $kT = 0{,}026\,\mathrm{eV}$ bei $RT = 26\,\mathrm{meV}$. Dann gilt für das Niveau $3kT$ unterhalb des Donatorzustandes:

$$n_d = N_d \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{2}e^{\frac{E-E_F}{kT}}} = N_d \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{2}e^{\frac{E_F+3kT-E_F}{kt}}} = N_d \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{2}e^3} = N_d \cdot 9{,}056 \cdot 10^{-2} = 9{,}05 \cdot 10^{15}\,\mathrm{cm}^3$$

Für dn Zustand $3kT$ oberhalb des Donatorzustandes gilt dann:

$$n_d = N_d \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{2}e^{\frac{E_F-3kT+E_F}{kt}}} = \frac{1}{1 + \frac{1}{2}e^{-3}} \cdot N_d = 9{,}76 \cdot 10^{16}\,\mathrm{cm}^3$$

Im Falle von A1 haben wir nun eine Dichte (freie Elektronen im Leitungsband) von:

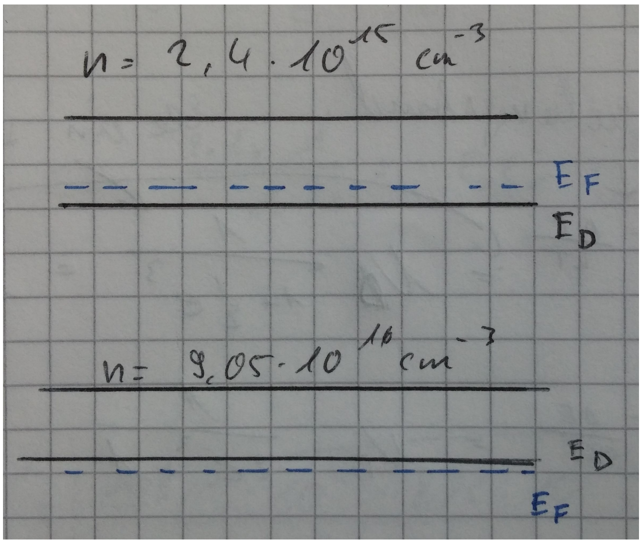
$$n = N_d - n_d = 10^{17} - 9{,}05 \cdot 10^{15} = 9{,}1 \cdot 10^{16}\,\mathrm{cm}^{-3}$$

Bei A2 gilt:

$$n = N_d - n_d = 10^{17} - 9{,}76 \cdot 10^{16} = 2{,}4 \cdot 10^{15}\,\mathrm{cm}^{-3}$$

**b)**

Bei sehr kleinen Temperaturen ist das Ferminiveau nur minimal über dem dem Donatorniveau. Die Elektronenkonzentration ändert sich nun ganz sprunghaft von $9{,}09 \cdot 10^{16}\,\mathrm{cm}^{-3}$ auf $2{,}4 \cdot 10^{15}\,\mathrm{cm}^{-3}$. In ein Bild gefasst sieht das ca so aus:



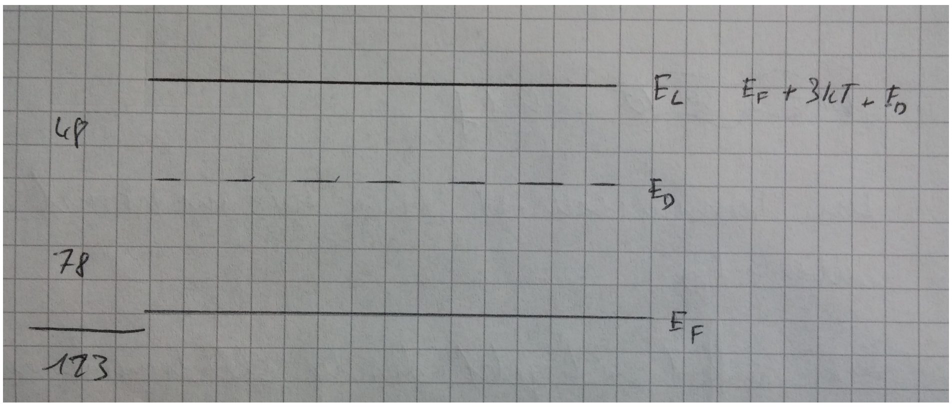

**c)**

Hier müssen wir einfach in eine Formel einsetzen:

$$N_c = 2 \cdot \left(\frac{2\pi \cdot m^* \cdot kT}{h^2}\right)^{\frac{3}{2}} = 2 \cdot \left(\frac{2\pi \cdot 0{,}89 \cdot 9{,}1 \cdot 10^{-31} \cdot 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{(6{,}62 \cdot 10^{-34})^2}\right)^{\frac{3}{2}} = 2{,}43 \cdot 10^{25}\,\mathrm{m}^{-3}$$

**d)**

Zunächst ein Bild zu besseren Vorstellung:




Nun setzen wir ein:

$$n = N_c \cdot e^{-\frac{E_C - E_F}{kT}} = 2{,}43 \cdot 10^{25} \cdot e^{-\frac{123}{k \cdot 300}} = 2{,}14 \cdot 10^{23}\,\mathrm{m}^{-3}$$

**e)**

In der Übung konnte die Lösung zu diesem Teil leider nicht sinnvoll geklärt werden.

## Aufgabe 3

Diese Aufgabe ist im Skript gelöst. Zu finden ist die Lösung im Kapitel 2.5 Heterostrukturen und Schottky-Kontakt. Das ist Seite 157 in dem Sktipt auf meiner Website.

## Aufgabe 4

Die Dicke der Schicht können wir so berechnen:

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

Dabei ist $V_R$ die Gatespannung mit - am Gate

Die Kapazität können wir so bestimmen:

$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A}{d} = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A}{w}$$

$$\Rightarrow C' = \frac{C}{A} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r}{w} = \sqrt{\frac{e \cdot N_d \cdot \epsilon_0 \epsilon_r}{(V_{bi} + V_R)^2}}$$

Zudem gilt:

$$\frac{1}{C'^2} \sim V_{bi} + V_R$$

Damit können wir jetzt eine Tabelle mit den Werte aufstellen:

| $n/cm^{-3}$ | $w/nm$ | $V_R$ | $C'/mF/m^2$ |
|---|---|---|---|
| $10^{16}$ | 290 | 0 | 0,39 |
| $10^{16}$ | 890 | 5 | 0,13 |
| $10^{16}$ | $1{,}2 \cdot 10^{-3}$ | 10 | $93 \cdot 10^{-3}$ |
| $10^{18}$ | 29 | 0 | 3,9 |
| $10^{18}$ | 89 | 5 | 1,3 |
| $10^{18}$ | $0{,}12 \cdot 10^{-3}$ | 10 | $928 \cdot 10^{-3}$ |

Als Graphik sieht das dann so aus: