

Halbleiter und Nanotechnologie, Übung 7, 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	2
Aufgabe 3	4
Aufgabe 4	4

Aufgabe 1

a)

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

b)

Zunächst setzen wir die gegebenen Größen ein:

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

Aufgabe 2

a)

$$E_F = E_D - 3kT$$

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

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

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

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

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

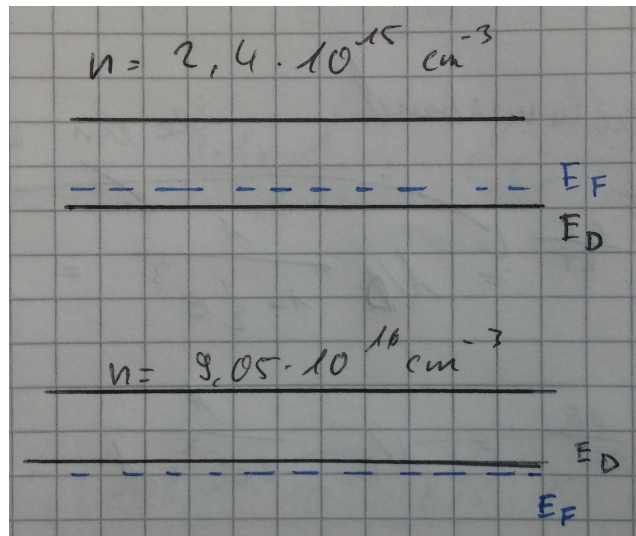
$$n = N_d - n_d = 1,01 \cdot 10^{17} - 9,05 \cdot 10^{15} = 9,09 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$$

Bei A2 gilt:

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

b)

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



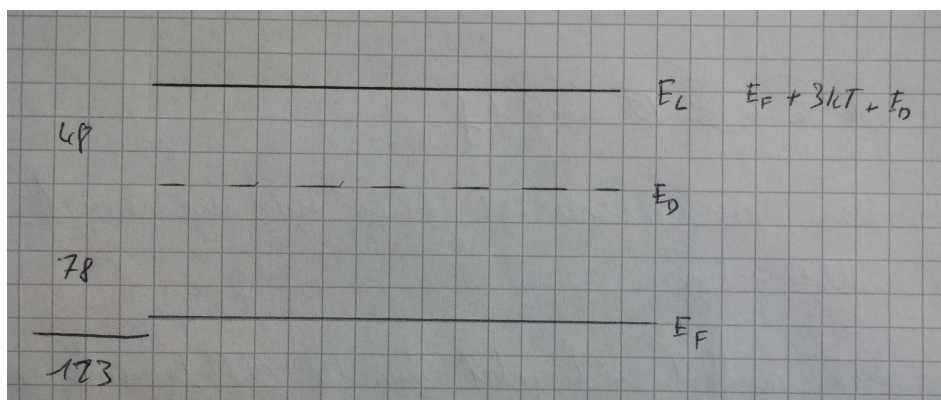
c)

Hier müssen wir einfach in eine Formel einsetzen:

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

d)

Zunächst ein Bild zu besseren Vorstellung:



Nun setzen wir ein:

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

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 Skript auf meiner Website.

Aufgabe 4

Die Dicke der Schicht können wir so berechnen:

$$w = \sqrt{\frac{2 \cdot \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot (V_{bi} + V_R)}{e \cdot N_d}} \quad \text{Dabei ist } V_R \text{ die Gatespannung mit - am Gate}$$

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:

