

Beispielklausur 6 - Halbleiterbauelemente

Für alle Rechnungen aller Aufgabenteile gilt:
T = 300 K und **$n_i = 1 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$** sofern nicht anders angegeben.

Aufgabe 1: Halbleiterphysik I

Punkte

1.1) Skizzieren Sie das Bändermodell eines p-Halbleiters. Zeichnen Sie das Störstellenniveau, das intrinsische Fermienergielevel sowie die Ladungen mit ihren Zuständen (beweglich / ortsfest) ein.

5

Zeichnen Sie das Fermienergielevel für $T > 1000 \text{ K}$, bei Raumtemperatur (300 K) und bei $T \approx 0 \text{ K}$ in die Skizze ein. (*Skizze*)

1.2) Die Minoritätsträgerkonzentration in einem n-leitenden Halbleiter betrage **$p_n = 1 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-3}$** . Wie groß ist die Majoritätsträgerkonzentration? Geben Sie die zugehörige Bestimmungsgleichung an. (*Formel und Rechnung*)

3

1.3) Abbildung 1a) zeigt die Verläufe der Zustandsdichten $D_L(W)$ & $D_V(W)$. Die Formel der Fermiverteilungsfunktion $f_F(W)$ ist:

$$f_F(W) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{W - W_F}{kT}\right)}$$

6

Zeichnen Sie mit der gegebenen Definition der Fermiverteilung die Verteilungskurve für $T \gg 0$ K in **Abbildung 1 b)** ein.

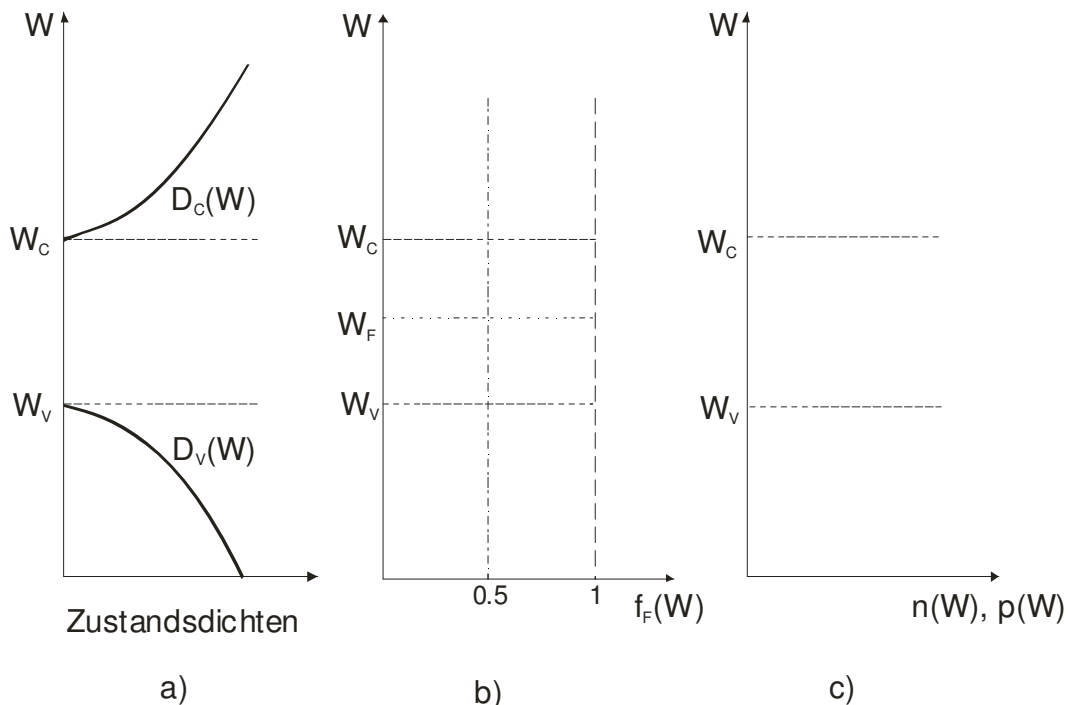
Schraffieren Sie in Abbildung 1 b) die Bereiche, in denen die Statistik für Elektronen und Löcher gilt.

Tragen Sie in Abbildung 1 c) die daraus resultierenden Verläufe der Funktionen $n(W)$ und $p(W)$ ein.

Welche Voraussetzung muss für W_F erfüllt sein, damit die Fermiverteilungsfunktion $f_F(W)$ in den Bändern durch die Boltzmannverteilung $f_B(W)$ angenähert werden darf? (kurze Begründung)

Welchen quantitativen Zusammenhang zwischen Elektronen- bzw. Löcherkonzentration und Fermienergie gibt es? (2 Formeln)

Abbildung 1



Beispielklausur 6 - Halbleiterbauelemente

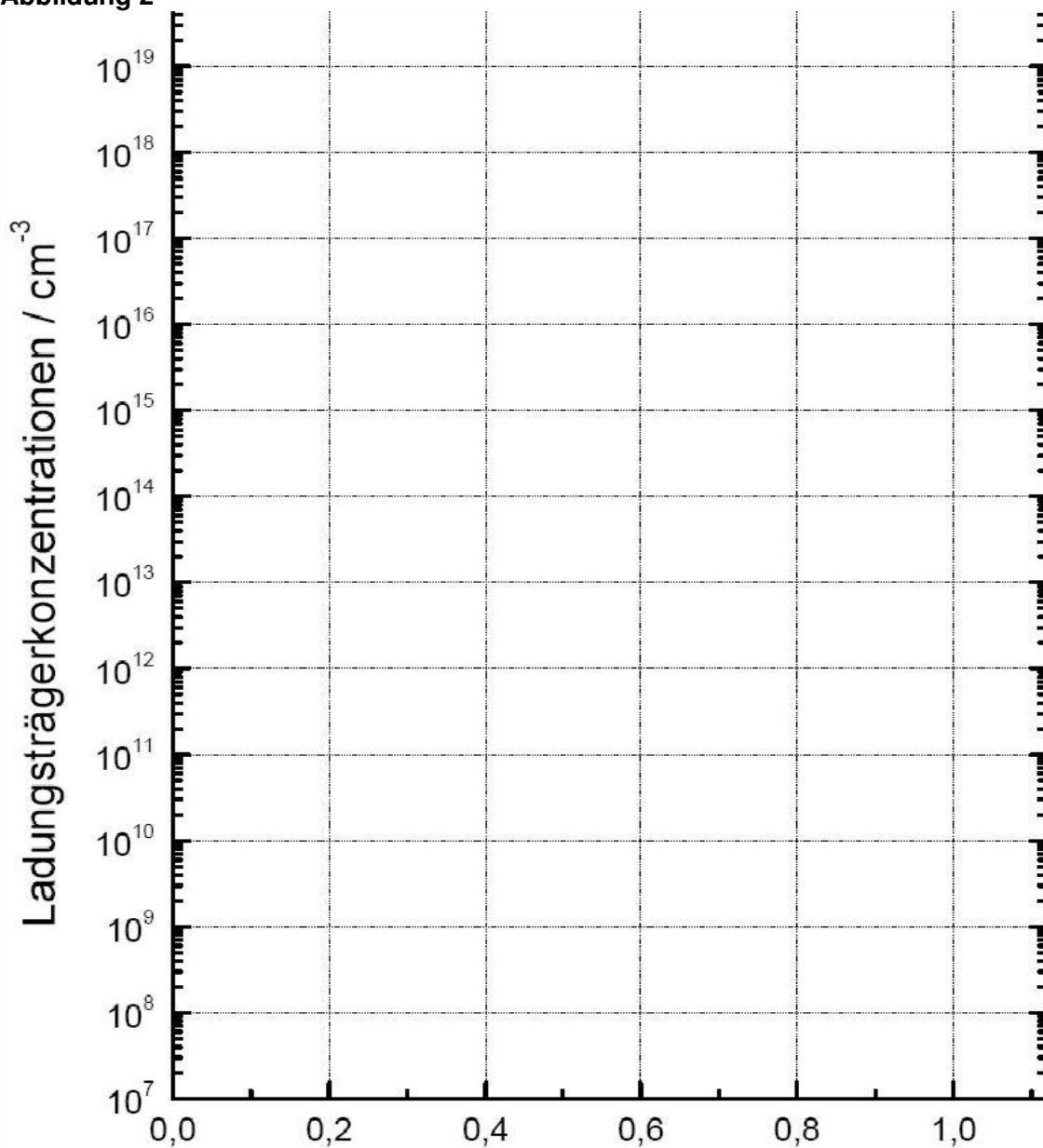
1.4) Bestimmen Sie grafisch die Fermienergie eines mit Aluminium (III-Hauptgruppe) dotierten Halbleiters bei $T = 300\text{ K}$. Die Aluminiumkonzentration beträgt $N = 10^{16}\text{ cm}^{-3}$.

6

Vereinfachte Zahlenwerte: Das Energieniveau von Aluminium liegt 100 meV von der Bandkante entfernt; $N_L = N_V = 1 \cdot 10^{19}\text{ cm}^{-3}$.

(Zeichnen Sie **alle** benötigten Verläufe, sowie die Lösung **in Abbildung 2** ein und geben Sie außerdem W_F als Zahlenwert an!)

Abbildung 2



Beispielklausur 6 - Halbleiterbauelemente

1.5) Geben Sie die vollständigen Stromgleichungen und die Bilanzgleichungen für beide Ladungsträgertypen an! (<i>Formeln</i>)	4
---	---

Gesamtpunkte Aufgabe 1 : **24**

Aufgabe 2: pn- Übergang

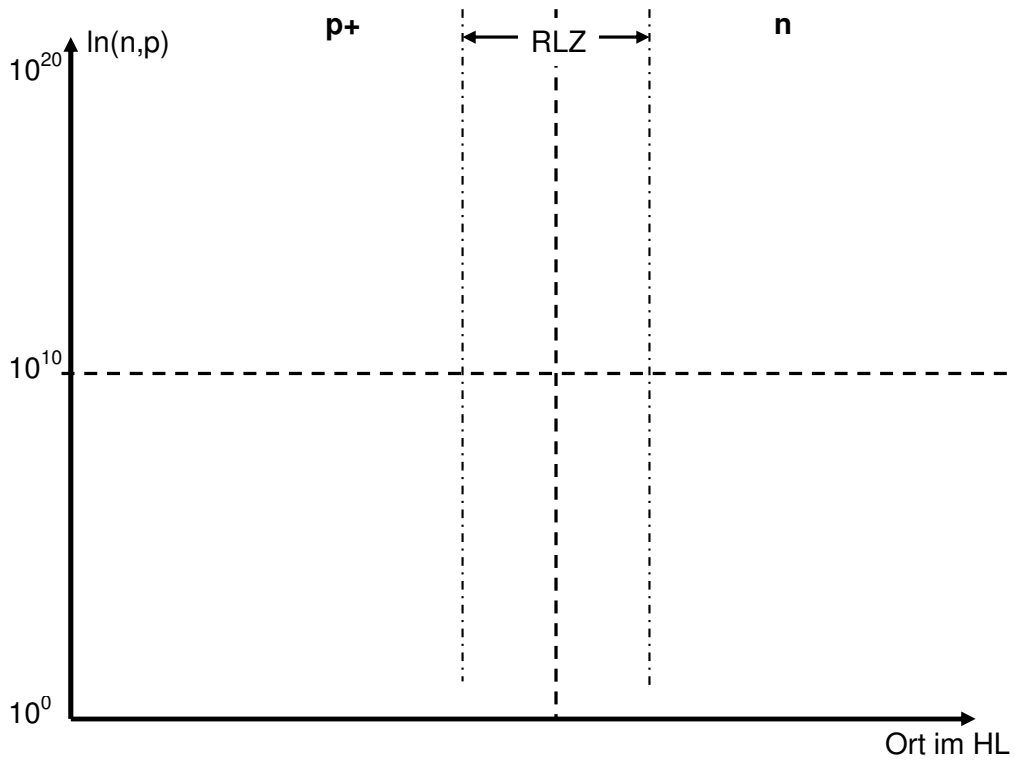
Punkte

2.1) Wie lauten die Shockley'schen Voraussetzungen zur Bestimmung der Kennliniengleichung eines pn-Übergangs? (<i>Stichpunkte</i>)	3
--	---

2.2) a) Gegeben ist ein idealer pn-Übergang mit $N_A = 3 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$. Berechnen Sie unter Verwendung des passenden Boltzmann-Faktors und einer Sperrspannung von $U_S = -0,5 \text{ V}$ die Konzentration der Minoritäten im p-Gebiet am Rand der Raumladungszone. (<i>Formel und Rechnung</i>) Für diese Rechnung setzen wir $U_T = 25 \text{ mV}$ an! Weiterführende Frage zur Rechnung: b) Welche der Shockley'schen Bedingungen wird bei der Berechnung benutzt, um einen Bezug zwischen Dotierstoff- und Majoritätsträgerkonzentration herzustellen? (<i>Name</i>)	6
--	---

<p>2.3) Zeichnen Sie den Verlauf der logarithmischen Ladungsträgerkonzentrationen einer p⁺n-Diode ($N_A \gg N_D$) außerhalb der RLZ im Gleichgewichtsfall ($U = 0V$) in Abbildung 3 ein und benennen Sie alle relevanten Größen ($w_n, w_p, p_{p0}, n_{p0},$ usw.). (Skizze)</p> <p>a) Wie lauten die Stromgleichungen der Minoritätsträger am RLZ-Rand? (Formel)</p> <p>b) Wie kann der Gesamtstrom über dem pn-Übergang ermittelt werden? (Formel)</p> <p>a) Könnte einer der Minoritätsträgerströme vernachlässigt werden? Wenn ja, welcher und aus welchem Grund? (kurze Begründung)</p>	<p>6</p>
---	----------

Abbildung 3



Beispielklausur 6 - Halbleiterbauelemente

2.4) Gegeben ist ein idealer pn-Übergang mit $N_A = 3 \cdot N_D = 3 \cdot 10^{17} \text{cm}^{-3}$. Angegeben ist die Formel zur Berechnung der **RLZ- Weite innerhalb des n-Halbleiters**. Wie ändert sich diese Formel mit Anlegen einer äußeren Spannung?

5

Berechnen Sie die Ausdehnung der RLZ in den **n-Bereich** bei einer angelegten Sperrspannung von $U_S = -5 \text{ V}$. $U_D \approx 0,86 \text{ V}$ (Formel und Rechnung)

$$w_n = \sqrt{\frac{2\epsilon_0\epsilon_{Si}}{e} \frac{N_A}{N_D(N_D + N_A)} U_D} ; \epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ As/Vm}; \epsilon_{Si} = 11,7 ; e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Beispielklausur 6 - Halbleiterbauelemente

2.5) Geben Sie die vereinfachte Kennliniengleichung eines beleuchteten pn-Übergangs an (I_0 nur als Faktor). Skizzieren Sie den Kennlinienverlauf **mit und ohne Beleuchtung in linearer Darstellung**. Wie nennt man die Betriebsarten für den Betrieb im dritten und im vierten Quadranten des Kennlinienfeldes? (*Formel, Skizze und Bezeichnungen*)

7

Skizzieren sie außerdem die unbeleuchtete Kennlinie in halblogarithmischer Darstellung und tragen sie die in dieser Darstellungsweise besonders gut zu erkennende Größe ein. (*Skizze*)

Gesamtpunkte Aufgabe 2 : 27

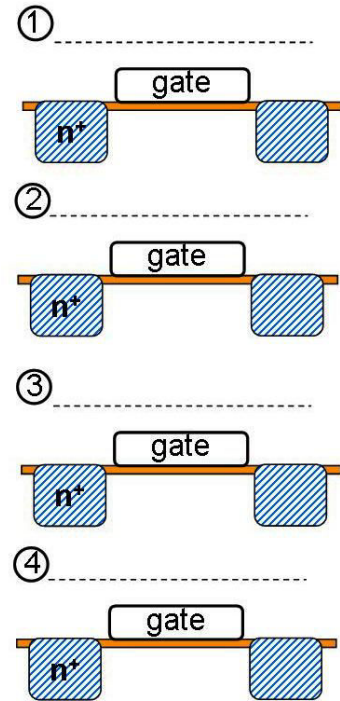
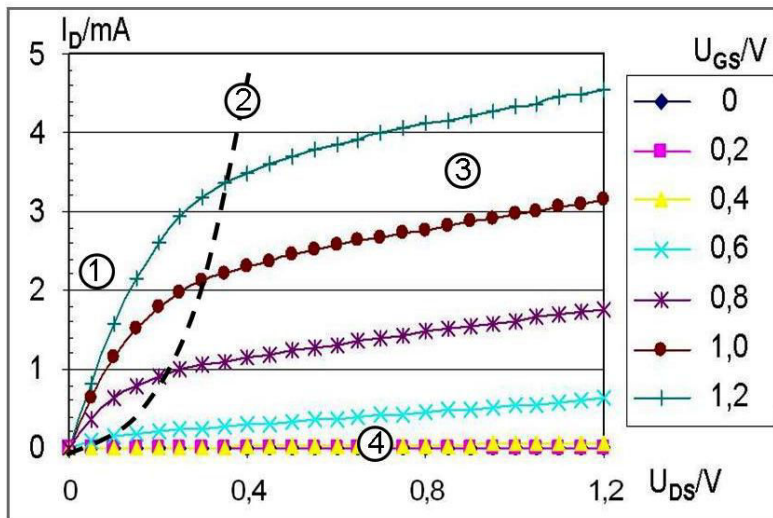
Aufgabe 3: Bauelemente

Punkte

<p>3.1) Zeichnen Sie den Querschnitt eines p-MOSFETs. Beschalten Sie diesen Transistor in Sourceschaltung (externe Spannungsquellen einzeichnen) und zeichnen Sie den sich bildenden Kanal in die Skizze ein. Benennen Sie alle relevanten Bauteilparameter (Materialien, ggf. Dotierungsarten, Gateparameter, Anschlüsse, Spannungen). (<i>Skizze</i>)</p>	<p>5</p>
---	----------

<p>3.2) Abbildung 4 zeigt das Ausgangskennlinienfeld eines n-MOSFETs in Sourceschaltung. Benennen Sie die mit 1 bis 4 gekennzeichneten Bereiche und zeichnen Sie in die vorbereiteten Gate-Strukturen die qualitativen Verläufe der Inversionskanäle ein.</p>	<p>4</p>
---	----------

Abbildung 4



Beispielklausur 6 - Halbleiterbauelemente

3.3) Skizzieren Sie das einfache Ersatzschaltbild (nur mit g_m und g_D) für einen FET in Sourceschaltung. Tragen Sie nun die Arbeitsgerade für $U_{dd}=1,2V$ und einen Lastwiderstand von $R_L=400\Omega$ in **Abbildung 4** ein und bestimmen Sie für den Arbeitspunkt mit $U_{GS}=0,8V$ die Werte für g_m und g_D .

6

3.4) Tragen sie **in Abbildung 5** die passenden Werte in die Wahrheitstabelle des Inverters ein.

6

Abbildung 6 zeigt die Schaltung eines CMOS-Inverters. Gegeben ist ein niedriges Eingangspotential von 0 Volt. Tragen sie das Potential am Ausgang und die Spannungsversorgung 0 V und +5 V **in Abbildung 6** ein. Markieren Sie außerdem Source, Drain und Gate mit S, D, G in den vorgegebenen Quadraten. Abschließend benennen Sie den FET-Typ (n- oder p-FET) und die Spannungen U_{DS} und U_{GS} des jeweiligen Transistors.

Abbildung 5

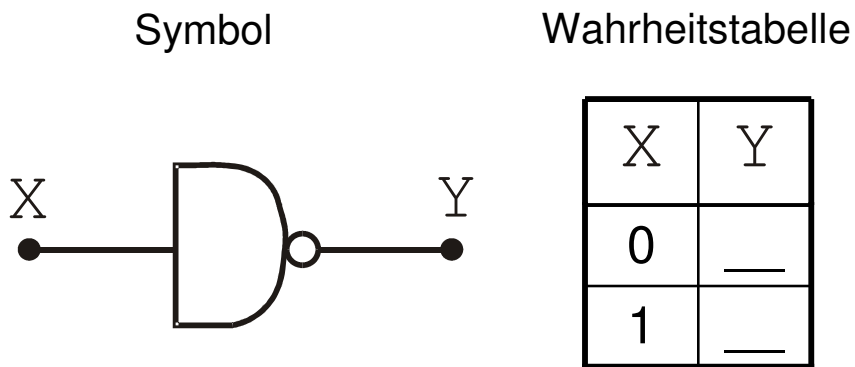
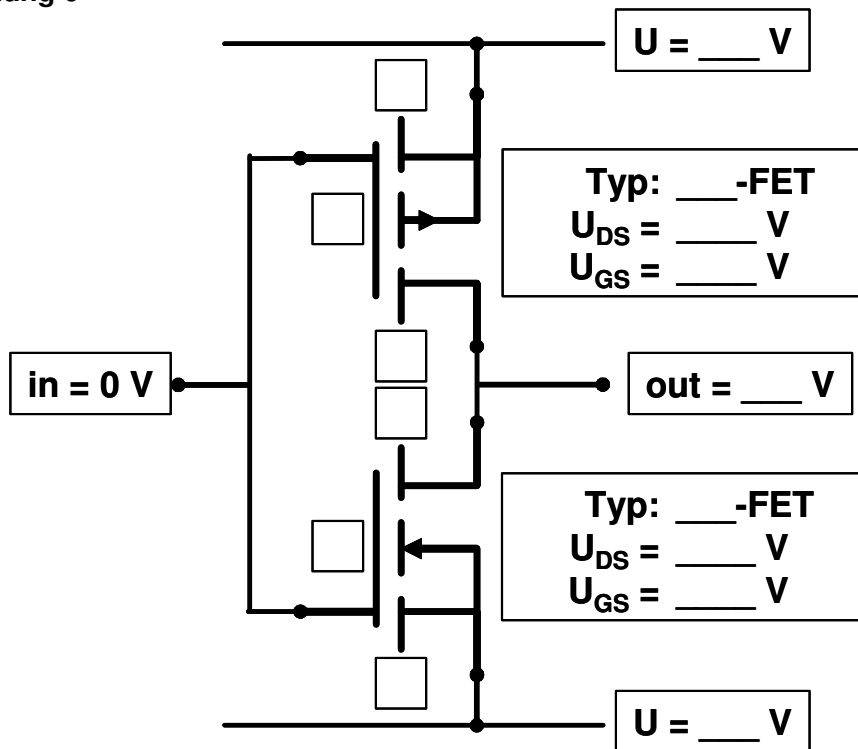


Abbildung 6



Beispielklausur 6 - Halbleiterbauelemente

<p>3.5) Skizzieren Sie den Aufbau eines in Planartechnologie hergestellten bipolaren npn-Transistors. Benennen Sie die einzelnen Kontakte und die Dotierstofftypen (n^{++}, p^+, usw). Zeichnen Sie außerdem die wichtigste geometrische Größe dieser Anordnung ein. (Skizze)</p>	4
---	---

<p>3.6) Zeichnen Sie das Eingangs- (EKF), Übertragungs- (ÜKF) und Ausgangskennlinienfeld (AKF) eines npn-Transistors in Emitterschaltung in <u>Abbildung 7</u> ein (inkl. Bezeichnung der Achsen und des jeweiligen Parameters). Benennen Sie außerdem die drei markanten Bereiche des AKF. (Skizze)</p>	4
---	---

Gesamtpunkte Aufgabe 3 : 29

Abbildung 7

