

Semesterabschlussklausur Wintersemester 2006/2007:**WERKSTOFFE UND BAUELEMENTE DER ELEKTROTECHNIK I (Bauelemente)**

Name:	Matrikelnummer:
-------	-----------------

- Es sind außer Ihrem Schreibzeug, **einfachem Zeichenmaterial**, einem **nicht programmierbaren Taschenrechner** und den ausgegebenen Unterlagen keine weiteren Hilfsmittel zugelassen (insbesondere **keine eigenen Unterlagen!**).
- Beschriften Sie bitte **alle Lösungsblätter** mit Ihrem Namen und Ihrer Matrikelnummer!
- Lesen Sie bitte vor dem Beginn der Bearbeitung die einzelnen Aufgaben vollständig durch.
- Verwenden Sie Vorder- und Rückseite der ausgegebenen Lösungsblätter!
- Geben Sie das Deckblatt mit den Aufgaben- und **allen Lösungsblättern** (auch den Unbenutzten) am Ende der Bearbeitung ab. **Sortieren Sie bitte Ihre Lösungen in der Reihenfolge der Aufgaben!**
- Die Noten hängen nach der Korrektur ab Dienstag, dem 27.02.07 im *Institut für Hochfrequenz- und Halbleiter-Systemtechnologien*, am Infobrett nahe Raum EN127 aus. Der Termin für die Einsicht in die Klausur wird zusammen mit den Ergebnissen bekannt gegeben.
- **Beginnen Sie bitte jede Aufgabe auf einem neuen Blatt!**
- **Betrugsversuche führen zum sofortigen Ausschluss von der Klausur!**
- **Wir wünschen Ihnen bei der Bearbeitung viel Erfolg!**

Prof. C. Boit

R. Schlangen

P. Scholz

Aufgabe 1: Halbleiterphysik I**Punkte**

<p>1.1) Skizzieren Sie das Bändermodell eines n-Halbleiters. Zeichnen Sie das Störstellenniveau, das intrinsische Fermienergielevel und das Fermienergielevel bei Raumtemperatur, sowie die Ladungszustände (beweglich / ortsfest) ein! In welche Richtung verschiebt sich das Fermienergielevel mit abnehmender Temperatur und wo liegt W_F bei $T \sim 0K$? (Skizze)</p>	6
<p>1.2) Bild 1.1 zeigt die Verläufe der Zustandsdichten $D_L(W)$ & $D_V(W)$ sowie der Fermi-Verteilungsfunktion $f_F(W)$ für einen undotierten Si-Halbleiter. Wie ist $f_F(W)$ definiert? Wie lautet die Definitionsgleichung zur Bestimmung der Elektronen- und Löcherkonzentrationen (jeweils einfache Formel und den zu betrachtenden Energiebereich angeben)? Welche Voraussetzung muss für W_F erfüllt sein, damit die Fermi-Verteilungsfunktion $f_F(W)$ durch die Boltzmann-Verteilung $f_B(W)$ angenähert werden darf?</p>	6
<p>1.3) Stellen Sie grafisch den Verlauf der Ladungsträgerkonzentration über der reziproken Temperatur ($1/T$) eines dotierten HL dar. Benennen Sie die unterschiedlichen Bereiche. In welchem Bereich hat die Dotierung auf den Ladungsträgerverlauf keinen merklichen Einfluss mehr? (Skizze, Stichpunkte)</p>	6
<p>1.4) Bestimmen Sie grafisch die Fermienergie eines mit Arsen (V-Hauptgruppe) dotierten Halbleiters bei 300 K. Die Arsen-Konzentration beträgt $N = 10^{17} \text{cm}^{-3}$. Vereinfachte Zahlenwerte: das Energieniveau von Arsen liegt 100meV unterhalb der Leitungsbandkante; $N_L = N_V = 1 \cdot 10^{19} \text{cm}^{-3}$; $n_i = 1 \cdot 10^{10} \text{cm}^{-3}$. (Zeichnen Sie alle benötigten Verläufe, sowie die Lösung in Diagramm 1.2 ein und geben Sie außerdem W_F als Zahlenwert an!)</p>	6
<p>1.5) Geben Sie die vollständigen Stromgleichungen und die Bilanzgleichungen für beide Ladungsträgertypen an! (Formel)</p>	4

Gesamtpunkte Aufgabe 1 : 28

Bild 1.1

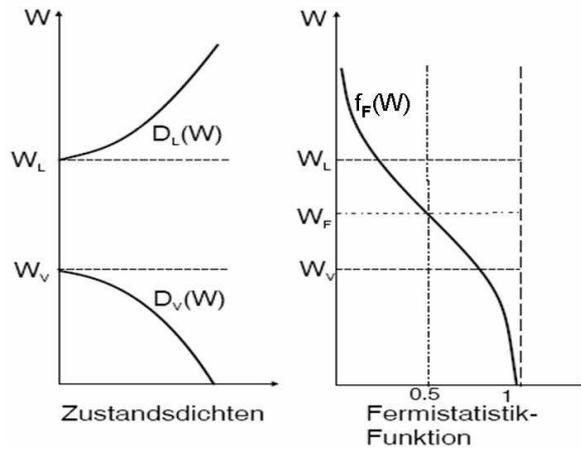
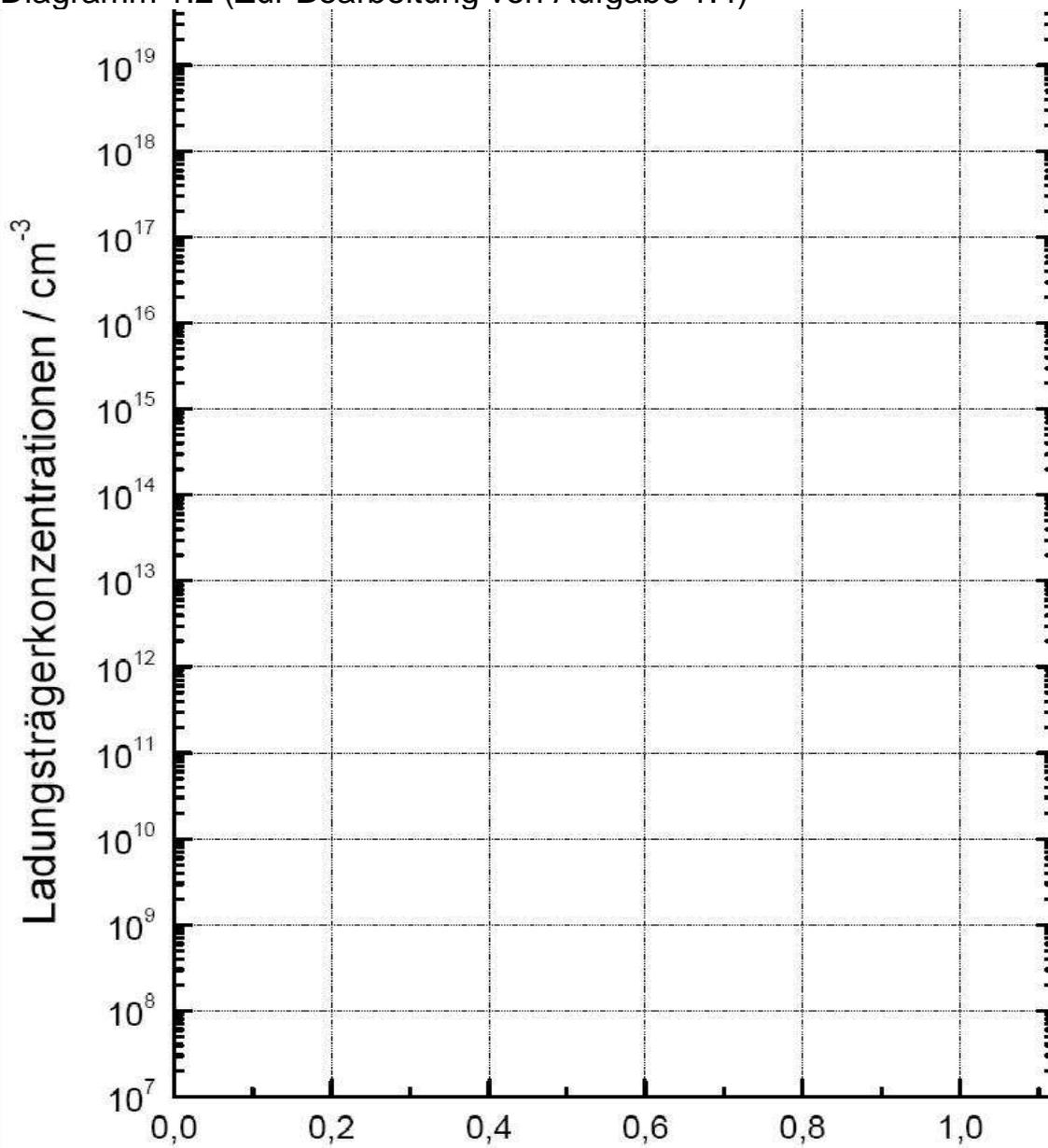


Diagramm 1.2 (Zur Bearbeitung von Aufgabe 1.4)



Aufgabe 2: pn-Übergang**Punkte**

<p>2.1) Zur Bearbeitung benutzen Sie Diagramm 2.1 auf der nächsten Seite. Skizzieren Sie den Verlauf der Raumladungsdichte, der elektrischen Feldstärke und des elektrischen Potentials eines abrupten pn-Übergangs und einer idealen pin-Diode ohne außen angelegte Spannung. Innerhalb der RLZ wird vollständige Ionisation angenommen. Welche Vorteile hat die pin-Struktur gegenüber dem normalen pn-Übergang? (Skizze & Stichpunkte)</p>	7
<p>2.2) Gegeben ist ein idealer pn-Übergang mit $N_A = 2 \cdot N_D = 2 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$. Angegeben ist die Formel zur Berechnung der RLZ- Weite innerhalb des n-Halbleiters. Wie ändert sich diese Formel mit anlegen einer äußeren Spannung? Berechnen Sie die Ausdehnung der RLZ in den n- sowie den p-Bereich bei einer angelegten Sperrspannung von $U_S = -5V$. $U_D \approx 0,86V$</p> $w_n = \sqrt{\frac{2\epsilon_0\epsilon_{Si}}{e} \frac{N_A}{N_D(N_D + N_A)} U_D} ; \epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ As/Vm}; \epsilon_{Si} = 11,7 ; e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$	8
<p>2.3) Wie lauten die Shockley'schen Voraussetzungen zur Bestimmung der Kennliniengleichung eines pn-Übergangs? (<i>Stichpunkte</i>)</p>	3
<p>2.4) Wie lauten die Boltzmann-Faktoren zur Bestimmung der Minoritätsträgerkonzentration an den Sperrschichtträndern ? (<i>Formel</i>)</p>	2
<p>2.5) Zeichnen Sie (in Diagramm 2.2) den Verlauf der logarithmischen Ladungsträgerkonzentrationen einer p^+n-Diode ($N_A \gg N_D$) außerhalb der RLZ im Gleichgewichtsfall ($U = 0V$) und benennen Sie alle relevanten Größen (w_n, w_p, p_{p0}, n_{p0}, usw.). Wie ändern sich die Minoritätsträgerkonzentrationen an den Grenzen der RLZ mit dem Anlegen einer Spannung in Durchlassrichtung? Kann einer der Minoritätsträgerströme vernachlässigt werden? Wenn ja, welcher und aus welchem Grund? (<i>Skizze und kurze Begründung</i>)</p>	6
<p>2.6) 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? (<i>Formel und Skizze</i>)</p>	5

Gesamtpunkte Aufgabe 2 : **31**

Aufgabe 3: Bauelemente**Punkte**

3.1) Skizzieren Sie den Aufbau eines in Planartechnologie hergestellten bipolaren npn-Transistors. Benennen Sie die einzelnen Kontakte, die Dotierstofftypen (n^{++} , p^+ , usw) und markieren Sie die wichtigste geometrische Größe dieser Anordnung.	4
3.2) Gegeben ist das Kastenmodell eines npn-Transistors. Ergänzen Sie die notwendigen Spannungsquellen um den Transistor in Basisschaltung im aktiven Modus zu betreiben. Zeichnen Sie die internen Stromanteile ein und benennen Sie diese. (Verwenden Sie Diagramm 3.1)	4
3.3) Geben Sie den formalen Zusammenhang zwischen Eingangs- und Ausgangsstrom eines Bipolartransistors in Basisschaltung an. Wie ist in Bezug auf die Stromanteile aus Aufgabe 3.2 der Emitterwirkungsgrad und der Transportfaktor definiert? <i>(Formel)</i>	4
3.4) Zeichnen Sie das Eingangs-, Übertragungs- und Ausgangskennlinienfeld (AKF) eines npn-Transistors in Emitterschaltung und benennen Sie die drei markanten Bereiche des AKF.	4
3.5) Diagramm 3.2 zeigt das AKF eines n-MOSFET 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.	4
3.6) 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 Diagramm 3.2 ein und bestimmen Sie für den AP mit $U_{GS}=0,8V$ die Werte für g_m und g_D .	6

Gesamtpunkte Aufgabe 3 : 26

Diagramm 3.1

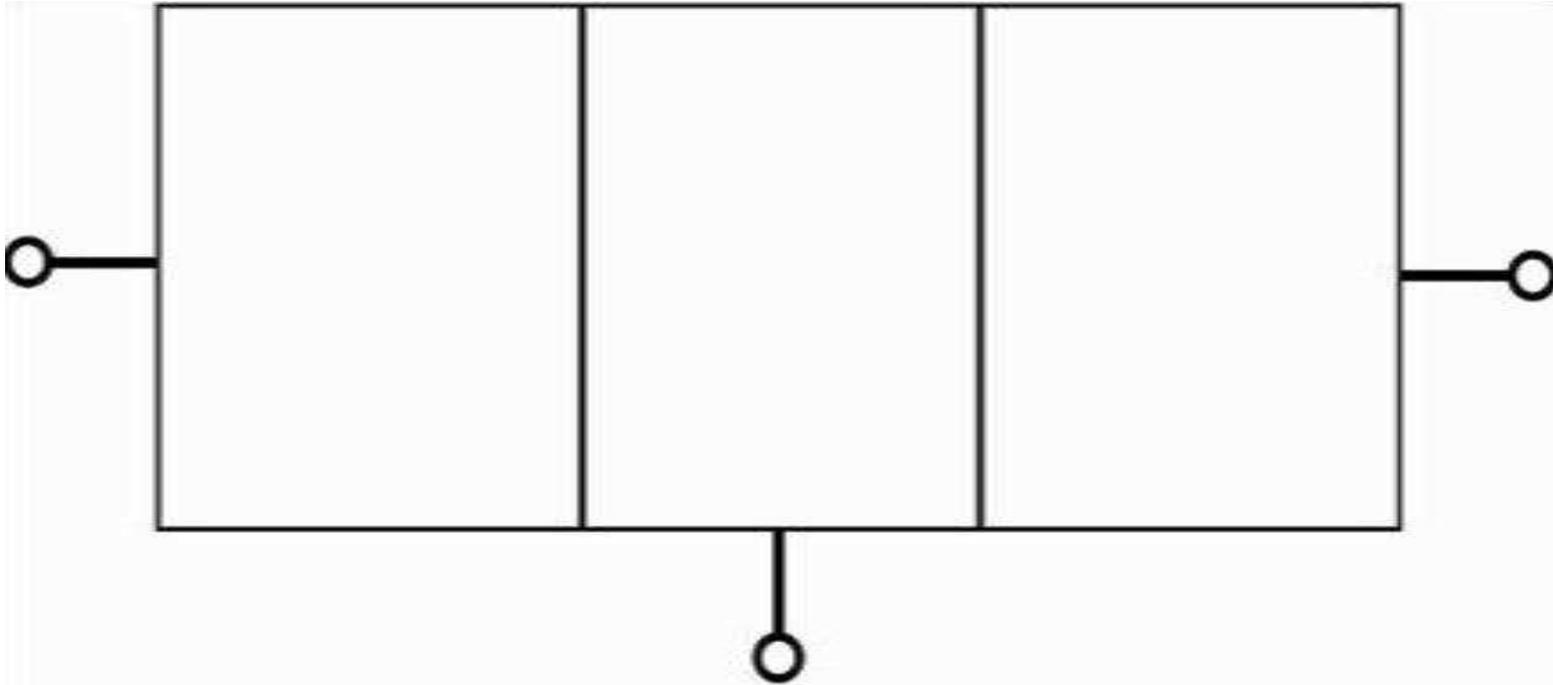


Diagramm 3.2

