

**Semesterabschlussklausur Wintersemester 2004/2005:****WERKSTOFFE UND BAUELEMENTE DER ELEKTROTECHNIK I (Bauelemente)**

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

- Lesen Sie bitte vor dem Beginn der Bearbeitung die einzelnen Aufgaben vollständig durch.
- Verwenden Sie Vorder- und Rückseite der ausgegebenen Lösungsblätter!
- Es sind **drei Aufgaben** auf insgesamt sechs Seiten (drei Blätter) zu bearbeiten!
- Beschriften Sie bitte **alle Lösungsblätter** mit Ihrem Namen und Ihrer Matrikelnummer!
- 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!**
- Sie erhalten zunächst 8 leere Lösungsblätter. Weitere Lösungsblätter gibt es auf Anfrage von den Betreuern!
- Sie benötigen außer Ihrem Schreibzeug und den ausgegebenen Unterlagen keine weiteren Hilfsmittel (**auch keinen Taschenrechner, Handy oder ähnliches!**).
- Die Noten hängen nach der Korrektur ab Dienstag, dem 01.03.05 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

**Aufgabe 1: Halbleiterphysik I****Punkte**

1.1) Skizzieren Sie das Bändermodell eines p-Halbleiters. Zeichnen Sie das Störstellenniveau, das intrinsische Fermienergielevel und das Fermienergielevel bei Raumtemperatur, sowie die Ladungszustände ein! In welche Richtung verschiebt sich das Fermienergielevel mit zunehmender Temperatur? (Skizze)	6
1.2) Die Minoritätsträgerkonzentration $n_p$ in einem p-leitenden Halbleiter beträgt $n_p = 10^5 \text{ cm}^{-3}$ . Wie groß ist die Majoritätsträgerkonzentration $p_p$ ? Geben Sie die zugehörige Bestimmungsgleichung an. (Rechnung, Formel, Hinweis: $T = 300\text{K}$ )	3
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)	6
1.4) Bestimmen Sie grafisch die Fermi-Energie eines p-dotierten Halbleiters. Die Akzeptorkonzentration beträgt $N_A = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ . Bei $T = 300\text{K}$ herrscht vollständige Ionisation. Hinweise: $N_V = 1 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ; $n_i(T = 300\text{K}) = 1 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ ; $W_F$ liegt bei Eigenleitung etwa in der Mitte der Bandlücke. Das Energieniveau $W_A$ der Akzeptoren liegt bei etwa $0.1\text{eV}$ . (Zeichnen Sie die benötigten Verläufe, sowie die Lösung, in das vorbereitete Diagramm auf der folgenden Seite ein!)	8
1.5) Geben Sie die vollständigen Stromgleichungen und die Bilanzgleichungen für beide Ladungsträgertypen an! (Formel)	5

Gesamtpunkte Aufgabe 1 : **28**

## Lösungsdiagramm für Aufgabe 1.4)

**Aufgabe 2: pn- Übergang****Punkte**

2.1) Wie lauten die Shockley'schen Voraussetzungen zur Bestimmung der Kennliniengleichung eines pn- Überganges? ( <i>Stichpunkte</i> )	3
2.2) Zeichnen Sie (ausreichend groß) den Verlauf der logarithmischen Ladungsträgerkonzentrationen einer p <sup>+</sup> n- Diode ( $N_A \gg N_D$ ) 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? Verdeutlichen Sie dabei besonders die Unsymmetrie der Auswirkungen auf p <sup>+</sup> - und n-Gebiet. ( <i>Skizze</i> )	6
2.3) Wie lauten die Boltzmann-Faktoren zur Bestimmung der Minoritätsträgerkonzentration an den Sperrschichtträgern ? ( <i>Formel</i> )	2
2.4) Geben Sie die Kennliniengleichung eines pn- Überganges an. Skizzieren Sie den Kennlinienverlauf eines pn- Überganges in linearer und halblogarithmischer Darstellung. ( <i>Formel und Skizze</i> )	3
2.5) Was versteht man unter der Sperrschichtkapazität eines Halbleiter Bauelementes? Geben Sie eine Bestimmungsgleichung an und erklären Sie wie die Ladungen der Sperrschichtkapazität entstehen! ( <i>Stichpunkte, Formeln</i> )	5
2.6) Geben Sie eine graphische Lösung an, um aus der Messung der spannungsabhängigen Sperrschichtkapazität $C_S(U)$ die Diffusionsspannung $U_D$ zu bestimmen. ( <i>graphische Lösung</i> )	4
2.7) Wie kann im Fall einer p <sup>+</sup> n- Diode die Dotierstoffkonzentration der schwächer dotierten Seite (Donatorkonzentration) aus der speziellen graphischen Darstellungsform der Lösung von Aufgabe 2.6 ermittelt werden? ( <i>Skizze, Stichpunkte</i> )	3
2.8) Berechnen Sie den Wert der Akzeptorkonzentration $N_A$ eines pn- Überganges, bei dem die Diffusionsspannung $U_D = 0.7V$ beträgt. Die Donatorkonzentration beträgt $N_D = 10^{14} \text{cm}^{-3}$ . ( <i>Rechnung; Zur Hilfe : <math>e^{28} \approx 1.4 \cdot 10^{12}</math></i> )	4

**Gesamtpunkte Aufgabe 2 : 30**

**Aufgabe 3: Bauelemente****Punkte**

3.1) Zeichnen Sie in das Kastenmodell eines in Basisschaltung betriebenen bipolar npn- Transistors die internen Stromanteile ein und benennen Sie diese. (Verwenden Sie die vorgefertigte Skizze im Anhang)	4
3.2) Wie ist in Bezug auf die Stromanteile aus Aufgabe 3.1 der Emitter-Wirkungsgrad und der Transportfaktor definiert? (Formel)	3
3.3) Geben Sie den formalen Zusammenhang zwischen Eingangs- und Ausgangsstrom eines bipolar Transistors in Basisschaltung an. Zeichnen Sie das Eingangs- und Ausgangskennlinienfeld des npn- Transistors in Basisschaltung (Formeln, Diagramm)	6
3.4) Skizzieren Sie den Querschnitt eines n-Kanal-MOSFET's und beschalten Sie den Transistor so, dass sich ein Kanal ausbilden kann. Benennen Sie alle relevanten Bauteilparameter (Dotierungsarten, Gate- Schichten, usw.) und zeichnen Sie den Kanal in die Skizze ein! (Skizze)	5
3.5) Skizzieren Sie das Eingangs-, Ausgangs-, und Übertragungskennlinienfeld eines MOSFET's in Source- Schaltung. Kennzeichnen und benennen Sie im Ausgangskennlinienfeld die drei unterschiedlichen Bereiche! (Skizze)	4

Gesamtpunkte Aufgabe 3 : 22

Hilfsblatt zur Lösung von Aufgabe 3.1)

