

Klausur Elektronik I

Sommersemester 2006



Name:

Vorname:

Matrikelnummer:.....

Wichtige Hinweise zur Bearbeitung:

Die Bearbeitungszeit der Aufgaben beträgt 120 Minuten. Es sind alle Hilfsmittel erlaubt, mit Ausnahme elektronischer Geräte, die zur Kommunikation verwendet werden können. Dazu gehören zum Beispiel: Laptops, PDAs, Handys, etc.

Versehen Sie bitte ALLE von Ihnen verwendeten zusätzlichen Lösungsblätter mit Ihrem Namen, Ihrer Matrikelnummer und der Nummer der darauf bearbeiteten Aufgaben.

Die maximale Punktzahl der Klausur beträgt 159 Punkte. Etwa die Hälfte dieser Punktzahl ist zum Bestehen erforderlich.

Beachten Sie bitte die an jeder Aufgabe in []-Klammern angegebene Punktzahl. Sie ist ein Anhaltspunkt für die Schwierigkeit und den erforderlichen Arbeitsaufwand.

Bei Multiple-Choice Aufgaben: Setzen Sie ein Kreuz in das jeweilige Kästchen dessen Aussage zutrifft. Möchten Sie Ihre Angaben korrigieren, so streichen Sie die GESAMTE Kästchenzeile der Aufgabe deutlich erkennbar durch und ersetzen Sie sie durch eine neue Kästchenzeile mit den richtigen Kreuzen. Falsche oder missverständlich gesetzte Kreuze ergeben Punktabzug.

Heften Sie bitte ALLE Aufgaben- und Lösungsblätter die Sie abgeben zusammen.

Ergebnis:

1) [1]	2) [1]	3) [2]	4) [4]	5) [4]	6) [3]	7) [3]	8) [4]	9) [4]	10) [3]	11) [9]	12) [3]	
13) [8]	14) [8]	15) [3]	16) [3]	17) [2]	18) [4]	19) [8]	20) [9]	21) [4]	22) [4]	23) [3]	24) [6]	
25) [4]	26) [4]	27) [4]	28) [2]	29) [5]	30) [12]	31) [10]	32) [4]	33) [3]	34) [2]	35) [6]	36) [4]	
									∑ [159]	Note		

Festkörperphysik

1) [1] Die Größe eines Festkörpers wird im wesentlichen durch die Größe der darin enthaltenen Elektronen bestimmt,
 trifft nicht zu.

2) [1] Je schneller sich ein Teilchen bewegt, umso größer ist seine de Broglie Wellenlänge,
 trifft nicht zu.

3) [2] Was trifft für ein Elektron, das sich im Bohrschen Atommodell auf einer stabilen Bahn um den Kern bewegt, zu?
 1. Die Energie des Elektrons auf dieser Bahn ist konstant,
 2. Das Elektron kann mehrere diskrete Energiewerte auf dieser Bahn annehmen.
 3. Weder 1. noch 2. trifft zu.

4) [4] Betrachtet wird die Welle $\psi(\vec{r}, t) = \psi_1 + \psi_2$, die sich durch die Überlagerung der beiden ebenen Wellen

$$\psi_1 = a e^{j(\omega t + \vec{k} \vec{r})}, \quad \psi_2 = a e^{-j(\omega t + \vec{k} \vec{r})}$$

ergibt. Was trifft zu:

- 1. Am Ort $\vec{r} = 0$ ist $\psi(\vec{r}, t = 0) = 0$
- 2. Am Ort $\vec{r} = 0$ ist $\psi(\vec{r}, t = 0) = a$
- 3. In Richtung $\vec{r} = \vec{k}$ nimmt $|\psi(\vec{r}, t = 0)|$ mit wachsendem $|\vec{r}|$ stetig zu.
- 4. In Richtung $\vec{r} \perp \vec{k}$ ist $|\psi(\vec{r}, t)|$ zeitunabhängig (konstant)
- 5. nichts trifft zu.

Festkörperphysik

5) a) [1] Wieviele Quantenzustände sind in dem 3p-Orbital eines einzelnen Si-Atoms durch Elektronen besetzbar (Tragen Sie den Zahlenwert in das Kästchen ein.)?

b) [1] Wieviele Elektronen befinden sich in einem einzelnen Si-Atom (Tragen Sie den Zahlenwert in das Kästchen ein.)?

c) [1] Wieviele Elektronen trägt jedes Si-Atom in einem Si-Kristall zur kovalenten Bindung bei und zu welchen Quantenzahlen des Einzelatoms gehören diese (Tragen Sie den Zahlenwert in das Kästchen und die Quantenzahlen auf untenstehende Linie ein.)?

.....

d) [1] Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Linearität der Schrödingergleichung und der Bildung der sp^3 -Orbitale in einem Si-Kristall?

.....

.....

.....

.....

.....

- 6) [3] Der Abstand der Atome in einem Kristall ist genauso groß, daß
- 1. anziehende und abstoßende Energien den gleichen Betrag besitzen,
 - 2. die Wellenfunktionen der Elektronen sich nicht mehr überlappen,
 - 3. die potentielle Energie der Bindung ein Minimum hat.
 - 4. Nichts trifft zu.

Festkörperphysik

- 7) [3] Die Bandlücke zwischen Valenz- und Leitungsband eines Halbleiterkristalls
- 1. verschwindet bei hinreichend großem Abstand zwischen den Atomen,
 - 2. wird durch die Überlappung der Wellenfunktionen der Elektronen verursacht,
 - 3. hängt von der Gitterkonstanten des Kristalls ab.
 - 4. Nichts trifft zu.

- 8) [4] Im Valenzband von eigenleitendem Silizium befinden sich
- 1. Löcher bei Raumtemperatur,
 - 2. Löcher bei $T=0$ K,
 - 3. Elektronen bei Raumtemperatur,
 - 4. Elektronen bei $T=0$ K.
 - 5. Nichts trifft zu.

- 9) [4] In einem Halbleiterquader der Kantenlänge L , beträgt die Wahrscheinlichkeit ein freies Elektron in einem Volumenelement der Größe $L^3 \cdot 10^{-9}$ anzutreffen 8 %. Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, in dem selben Volumenelement ein Elektron anzutreffen, wenn die Kantenlänge des Halbleiterquaders halbiert wird (Tragen Sie den Zahlenwert in das Kästchen ein.)?

Festkörperphysik

12) [3] Wieviele freie Elektronen entfallen anteilig auf das Volumen einer kubisch raumzentrierten Elementarzelle, wenn jedes Atom in den Ecken der Elementarzelle ein freies Elektron abgibt und das raumzentrierte Atom ein Elektron aufnimmt (Tragen Sie den Zahlenwert in das Kästchen ein.)?

13) [8] Gegeben ist ein kubisch-raumzentriertes Kristallgitter mit der Gitterkonstanten a_0 . Geben Sie die Miller-Indizes von mindestens fünf Kristallebenen an, in denen jeweils fünf Atome einer kubisch raumzentrierten Elementarzelle liegen.

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Festkörperphysik

- 15) [3] Wann erfüllt ein Wellenvektor die Bragg-Bedingung?
1. Immer, wenn er zwei reziproke Gitterpunkte verbindet.
 2. Immer, wenn er das Zentrum mit dem Rand einer Brillouin Zone verbindet.
 3. Immer, wenn die Wellenlänge seiner Normalkomponente auf einer Ebenenschar dem Abstand der Ebenen entspricht.
 4. Nichts trifft zu.

- 16) [3] Die Oberkante des Valenzbandes wird näherungsweise durch $W_{VB} = -\alpha k^2 + \beta$ beschrieben. Welche Beziehung $W_{LB}(k)$ muß für die Unterkante des Leitungsbandes gelten, damit ein Elektron an der Leitungsbandkante die gleiche Masse wie ein Loch an der Valenzbandkante besitzt?
1. $W_{LB}(k) = W_{VB}(k)$
 2. $W_{LB}(k) = -W_{VB}(k)$
 3. $W_{LB}(k) = \frac{1}{W_{VB}(k)}$
 4. Nichts trifft zu.

- 17) [2] Wenn ein Energieniveau W_d mit der Wahrscheinlichkeit $f(W_d)$ durch ein Elektron besetzt wird, wie hoch ist dann die Wahrscheinlichkeit ein Loch in einem Donatorzustand mit dieser Energie zu finden (Geben Sie eine Formel an!)?
-
-
-

Elektronen in Valenz- und Leitungsband

20) [9] An einem mit $N_D = 10^{16} \text{cm}^{-3}$ dotierten Silizium-Halbleiter wird eine Spannung angelegt, so daß im Halbleiter eine Feldstärke von $1,0 \frac{\text{V}}{\text{m}}$ herrscht. Der Strom im Halbleiter beträgt $1,0 \text{ mA}$. Die Ladungsträgerdichte im gesamten Halbleiter ist in erster Näherung identisch mit der Ladungsträgerdichte im thermodynamischen Gleichgewicht bei $T = 300\text{K}$. Es herrschen homogene Verhältnisse.

Es gilt: $\mu_n = 1000 \frac{\text{cm}^2}{\text{Vs}}$, $\mu_p = 500 \frac{\text{cm}^2}{\text{Vs}}$, $n_i = 10^{10} \frac{1}{\text{cm}^3}$.

Verwenden Sie, wenn nötig, für die Berechnung ein getrenntes Blatt und tragen Sie die Ergebnisse hier an die vorgesehenen Stellen ein.

1. Wie hoch ist der Anteil der Diffusionsstromdichte J_D an der Gesamtstromdichte J (Bitte nur Lösungen mit Rechnung/Begründung, Näherungen sind erlaubt.)?

$\frac{J_D}{J} =$

.....

2. Wie groß ist der Querschnitt A des Halbleiters (Bitte Lösungen mit Rechnung/Begründung, Näherungen sind erlaubt.)?

$A =$

.....

3. Weisen Sie durch kurze Rechnung nach, daß der Anteil des Löcherstroms vernachlässigbar ist.

.....

p-n-Übergang

21) [4] Betrachtet wird ein Halbleiter mit p-n-Übergang und den angrenzenden Bahngebieten. Es gelten die Näherungen der Rechteck-Profil-Näherung. Was läßt sich über die Verhältnisse im Halbleiter im thermodynamischen Gleichgewicht sagen?

- 1. Die Raumladungsdichte ist wegen der Neutralitätsbedingung im gesamten Halbleiter gleich Null.
- 2. Über den p-n-Übergang fließen Ströme.
- 3. Die quasi-Fermipotential von Elektronen und Löchern sind gleich.
- 4. Durch Diffusion klingt der Strom in den Bahngebieten auf Null ab.
- 5. Nichts trifft zu.

22) [4] Ein Si-Halbleiter weist zwischen $x=0$ und $x=L$ eine linear mit x steigende Dotierung $N_D(x)$ mit Donatoren auf (kein p-n-Übergang!). Welche Aussagen über die Verhältnisse im Halbleiter bei Störstellenerschöpfung im thermodynamischen Gleichgewicht treffen zu?

- 1. Für die Dichte der freien Ladungsträger im Leitungsband gilt $n_0(x) \approx N_D(x)$.
- 2. Im Halbleiter fließt ein Diffusionsstrom.
- 3. Im Halbleiter fließt ein Driftstrom.
- 4. Für die Raumladungsdichte im Halbleiter gilt: $\rho(0) > \rho(L)$
- 5. Nichts trifft zu.

p-n-Übergang

23) [3] Was trifft auf die indirekte Rekombination über Rekombinationszentren zu?

- 1. Die Einfangraten der Ladungsträger (Elektronen und Löcher) sind proportional dem Produkt aus Zustandsdichte der Rekombinationszentren und deren Besetzungswahrscheinlichkeit durch den jeweils anderen Ladungsträgertyp.
- 2. Die Ladungsträgerdichten in Leitungs- und Valenzband haben vernachlässigbaren Einfluß auf die Reemissionsraten der Trap-Niveaus.
- 3. Indirekte Rekombination ist ein Vorgang, der an der Neutralisation von Raumladungen durch dielektrische Relaxation beteiligt ist.
- 4. Nichts trifft zu.

24) [4] In ein Halbleitersubstrat mit $\epsilon_r = 12$ und $\sigma = 0,1 \frac{1}{\Omega m}$ wird eine Raumladungsdichte $\rho_0(x)$ eingebracht. Wie lange dauert es, bis die Raumladungsdichte auf die Hälfte ihres Anfangswertes abgeklungen ist? Tragen Sie die Dauer T in das Kästchen ein.

.....

$T =$

[2] Wie unterscheiden Sie beim Abbau der Raumladungsdichte, ob ein Relaxations- oder ein Rekombinationsvorgang vorliegt?

.....

p-n-Übergang

25) [4] Sie wollen einen n-dotierten Halbleiter mit der Dotierungskonzentration N_D in einem sehr großen Temperaturbereich einsetzen. Welche Konzentration (Formel) an freien Ladungsträgern im Leitungsband erwarten Sie **a)** bei Raumtemperatur $T = T_0$, **b)** bei sehr tiefen ($T \ll T_0$) und **c)** sehr hohen ($T \gg T_0$) Temperaturen? Unterscheiden Sie die drei Bereiche mit Hilfe der Begriffe: Störstellenreserve, Störstellenerschöpfung und Eigenleitung. Begründen Sie Ihre Angaben anhand der Lage der Fermi-Energie.

.....

In welchem der drei Bereiche hängt die Ladungsträgerkonzentration von der Donator-Dotierung ab? Begründen Sie Ihre Aussage.

.....

26) [4] Die Besetzungswahrscheinlichkeit eines Trap-Energieniveaus in der Bandmitte beträgt bei $T = 300\text{ K}$ gerade $w(300\text{ K}) = 50\%$. Wie groß ist die Besetzungswahrscheinlichkeit $w(600\text{ K})$ bei $T = 600\text{ K}$, wenn das Fermi-Niveau bei beiden Temperaturen näherungsweise gleich bleibt?

$w(600\text{ K}) =$

p-n-Übergang

27) Ein Si-Halbleiter ist sowohl mit einer Bor-Konzentration N_B als auch mit einer Phosphor-Konzentration N_P dotiert.

[2] Geben Sie eine Formel zur Berechnung (nicht berechnen!) der Fermi-Energie aus N_B , N_P und den effektiven Zustandsdichten an.

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

[2] Erläutern Sie die einzelnen Schritte, die notwendig sind, um mit Hilfe dieser Beziehung die Dichte der freien Ladungsträger in Leitungs- und Valenzband zu ermitteln.

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

p-n-Übergang

28) [2] Die Diffusionsspannung $U_D(N_A, N_D)$ einer Silizium-Diode mit abruptem Übergang wird für zwei verschiedene Akzeptordotierungen N_{A1}, N_{A2} im Bereich der Störstellenerschöpfung ermittelt. Was gilt für die Differenz

$$\Delta U_D = U_{D1}(N_{A1}, N_D) - U_{D2}(N_{A2}, N_D)$$

der Diffusionsspannungen für die beiden Dotierungen?

1. $\Delta U_D \propto \frac{N_{A1}}{N_{A2}}$

2. $\Delta U_D \propto \ln \frac{N_{A1}}{N_{A2}}$

5. Nichts trifft zu, richtig wäre $\Delta U_D \propto$.

29) [5] Was trifft auf eine ideale lange p-n-Diode bei Flußpolung zu?

1. Die Majoritätsträgerdichte steigt gegenüber der Sperrpolung an.

2. Die Minoritätsträgerdichte steigt gegenüber der Sperrpolung an.

3. Der Diodenstrom wird in erster Näherung durch die in der Raumladungszone generierten Ladungsträger bestimmt.

4. Der Diodenstrom wird in erster Näherung durch die in den Bahngebieten rekombinierten Minoritätsträger bestimmt.

5. Ohne Spannungsabfall über den Bahngebieten würde kein Diodenstrom fließen.

6. Nichts trifft zu.

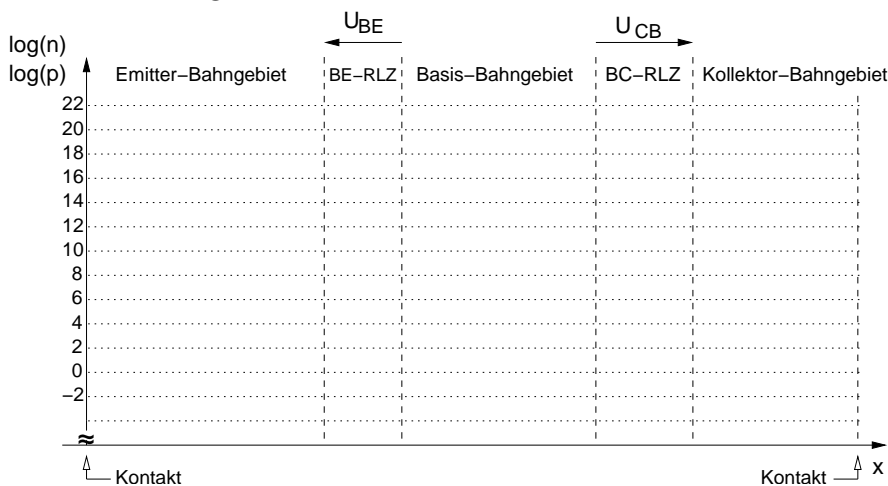
Bipolar-Transistor

30) Ein Si-Bipolar-npn-Transistor mit abrupten Übergängen besitzt die Emitter-, Basis- und Kollektor-Dotierungen $N_E = 10^{20} \frac{1}{\text{cm}^3}$, $N_B = 10^{18} \frac{1}{\text{cm}^3}$, $N_C = 10^{16} \frac{1}{\text{cm}^3}$. Für die Eigenleitungsichte gilt $n_i = 10^{10} \frac{1}{\text{cm}^3}$. Über den Raumladungszonen (RLZ) des Transistors liegen die Spannungen $U_{BE} = 600 \text{ mV}$, $U_{BC} = 240 \text{ mV}$. Es gilt $U_T = 26 \text{ mV}$. Die Geschwindigkeit der Rekombination an den Kontakten soll unendlich hoch sein.

[2] In welchem Betriebszustand wird der Transistor betrieben (Begründung)?

.....

[8] Skizzieren Sie qualitativ die Verläufe der Minoritäts- und Majoritätsträgerdichten im Verlauf des gesamten Transistors (in allen Bahngebieten und Raumladungszonen (RLZ) bis zu den Kontakten). Verwenden Sie bei Bedarf Geradenabschnitte als Näherung für den tatsächlichen Verlauf. Die Bahngebiete sollen kurz gegenüber der Diffusionslänge der Minoritätsträger sein.

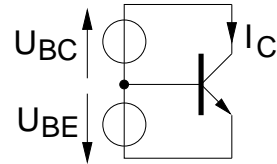


[2] Begründen Sie die Lage der Schnittpunkte von Elektronen- und Löcherdichte in der Raumladungszone, in Bezug auf die Lage der Eigenleitungsichte.

.....

Bipolar-Transistor

31) [10] Ein Bipolar-Transistor wird in der rechts gezeigten Schaltung betrieben. Die Diffusionsspannungen der Basis-Kollektor- und Basis-Emitter-Diode betragen $U_{BED} = U_{BCD} = 0,7 \text{ V}$.



- Geben Sie die Grenzen der Basis-Kollektor- und Basis-Emitter-Spannung für den Fall an, daß der Transistor im normal-aktiven Bereich betrieben werden soll.

$\dots < U_{BE} < \dots$

Hinweis: Für den Maximalwert der Fluß-Spannung besitzt die jeweilige Sperrschichtkapazität gerade ihre Polstelle (Maximum). Der Maximalwert der Sperrspannung ist durch die Durchbruchspannung (U_{EBX} , U_{CBX}) der jeweiligen Sperrschicht gegeben.

$\dots < U_{BC} < \dots$

- Geben Sie das allgemeine Transferstrommodell des Transistors an.
 - Zeichnen Sie zusätzlich daneben noch eine vereinfachte Variante für den normal-aktiven Betrieb.

- Berechnen Sie für $U_{BC} = U_T$ den Minimalwert für U_{BE} , für den das vereinfachte Transistormodell aus Aufgabenpunkt 2b) gilt.

$U_{BE} >$

Hinweis: Die Vereinfachung ist gerechtfertigt, wenn der durch U_{BC} gesteuerte Beitrag im Transferstrom $\leq \frac{1}{10}$ des von U_{BE} gesteuerten Beitrags beträgt.

.....

- 32) [4] Der Early Effekt bei einem normal-aktiv betriebenen npn-Transistor
1. wird umso größer, je höher das Kollektorpotential über dem Basispotential (Kollektor-Basis-Spannung) liegt,
 2. ist bei genauer Betrachtung auch von der Basis-Emitter-Spannung abhängig,
 3. führt zu einem höheren Kollektorstrom aufgrund eines spannungsabhängigen Sättigungsstroms,
 4. führt zu einer Abhängigkeit des Ausgangsleitwerts h_{22} vom Arbeitspunkt des Kollektorstroms.
 5. Nichts trifft zu.

Unipolare Bauelemente

- 33) [3] Wenn die Austrittsarbeit von Metall und Halbleiter eines Metall-Halbleiterkontaktes gleich sind,
1. ist im thermodynamischen Gleichgewicht das Makropotential konstant über dem Ort,
 2. ist im thermodynamischen Gleichgewicht das Makropotential stetig über dem Ort,
 3. müssen Elektronen vom Metall in den Halbleiter die Energiebarriere der Elektronenaffinität überwinden.
 5. Nichts trifft zu.

- 34) [2] An einem n-Kanal Sperrschicht-Feldeffekttransistor mit einer Pinch-off Spannung von -2V liegt eine Drain-Source Spannung von 2V.

Wie hoch darf die Gate-Source-Spannung maximal sein, damit der Transistor im Abschnürbereich arbeitet?

Unipolare Bauelemente

35) [2] Geben Sie eine Gleichung für den Drainstrom I_D eines n-Kanal-MOS-Feldeffekttransistors im aktiven Bereich in Abhängigkeit von der Gate-Source Spannung U_{GS} und der Drain-Source Spannung U_{DS} an.

.....
.....
.....
.....

[4] Welche Bedingung muß erfüllt sein, damit sich im aktiven Bereich des MOS-FETs ein linearer Zusammenhang zwischen I_D und U_{DS} der Form $I_D = R(U_{GS})U_{DS}$ ergibt (Der Wert der Proportionalitätskonstanten $R(U_{GS})$ kann darin über U_{GS} eingestellt werden.)?

.....
.....
.....
.....

Unipolare Bauelemente

- 36) [4] Erläutern Sie für einen n-Kanal MOS-FET mit wenigen Worten,
1. ob Bor oder Phosphor zur Substratdotierung verwendet werden, muß (mit Begründung),
 2. was beim Vorgang der Inversion geschieht,
 3. wie sich die Schwellenspannung U_P ändert, wenn ein dünneres Gate-Oxid verwendet wird.

1:

.....

.....

.....

2:

.....

.....

.....

.....

.....

3:

.....

.....

.....