

Klausur Halbleiterbauelemente

Halbleiterbauelemente WS 18/19

Name: _____

Matrikelnummer: _____

Bitte lesen Sie sich zuerst die folgenden Anmerkungen gründlich durch:

- **Zunaechst** tragen Sie bitte Ihren Namen und Ihre Matrikelnummer auf dem Deckblatt und *allen* weiteren Blättern ein. Diese Klausur hat 21 Seiten, Sie müssen also 21 mal Ihren Namen und Ihre Matrikelnummer schreiben.
- Die Bearbeitungszeit der Klausur beträgt 90 min (neunzig Minuten).
- Die Klausur kann nur mitgeschrieben werden, wenn Sie sich über Qispos oder das Prüfungsamt (gelber Zettel) angemeldet haben.
- Lesen Sie bitte vor dem Beginn der Bearbeitung die einzelnen Aufgaben *vollständig* durch.
- Zugelassene **Hilfsmittel** sind:
 - Ein *nicht programmierbarer* Taschenrechner
 - Permanente Stifte aller Farben *außer rot* (*kein* Bleistift)
 - Zeichenmaterial wie Lineal und Geodreieck
- **Nicht zugelassen** während der Klausur sind:
 - *Jegliche* Art von Unterlagen
 - Selbst mitgebrachtes Papier
- Bitte beachten Sie, dass die Klausur auf mehrere Aufgaben aufgeteilt ist.
- Bitte schreiben Sie nur auf dem ausgeteilten Papier. Sie dürfen die Rückseiten benutzen. Bitte markieren Sie das entsprechend direkt unter der jeweiligen Aufgabe! Sollten Sie zusätzliches Papier benötigen, heben Sie bitte die Hand und wir werden Ihnen gerne helfen.
- und nun: **viel Erfolg!**

Ausgegebene Extraseiten (Nummern):

Aufgabe:	1	2	3	4	5	Σ
Maximale Punkte:	6	9.5	9.5	11	4	40
Erreichte Punkte:	_____	_____	_____	_____	_____	_____

Note: _____

Name: _____

Matrikelnummer: _____

1 Multiple Choice Aufgaben

6 Punkte

Aufgabe 1.1)

Bitte kreuzen Sie an, ob folgende Aussagen zutreffen! Setzen Sie pro Aussage maximal 1 Kreuz. Je richtig gesetzter Ankreuzung bei „trifft zu“ oder „trifft **nicht** zu“ erhalten Sie 1 Punkt. Sollten Sie sich nicht sicher sein, können Sie „ungewiss“ ankreuzen, für jeweils zwei „ungewiss“ Ankreuzungen erhalten Sie 0.5 Punkte. Für falsche Ankreuzungen oder Mehrfachankreuzungen erhalten Sie 0 Punkte.

Hinweis: Zu den Inhalten der Multiple Choice Fragen werden während der Klausurbearbeitungszeit keine Fragen beantwortet.

Nr	Aussage	trifft zu	ungewiss	trifft nicht zu
1	Der Gesamtstrom im Kanal eines MOSFETs ist unabhängig vom Ort entlang der Kanal-länge.	[]	[]	[]
2	Der Laststrom eines Bipolartransistors in Planartechnologie fließt in der Basis in vertikaler Richtung.	[]	[]	[]
3	Ein Diffusionsstrom entsteht bei konstantem elektrischen Feld.	[]	[]	[]
4	Generation in einem dotierten Halbleiter führt vor allem zur Erhöhung der Majoritätsladungsträger.	[]	[]	[]
5	In Akkumulation ist die Bandverbiegung eines p-Varaktors im Bändermodell an der Grenzfläche zwischen Oxid und Halbleiter zu niedrigeren Energien gerichtet.	[]	[]	[]
6	In einem abrupten pn-Übergang ändert sich die Raumladung innerhalb der gesamten Raumladungszone näherungsweise linear über dem Ort.	[]	[]	[]

_____ / 6 Punkte

Name: _____

Matrikelnummer: _____

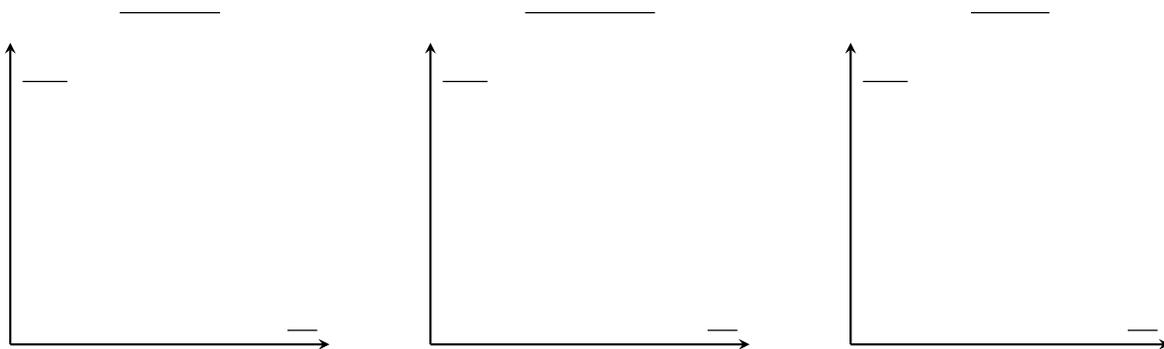
Falls nicht anders angegeben, können Sie folgende Parameter und Konstanten für die Berechnungen in dieser Klausur annehmen:	
Temperatur	$T = 300 \text{ K}$
Boltzmann-Konstante	$k_B = 8,617 \cdot 10^{-5} \text{ eV/K}$
absolute Dielektrizitätskonstante	$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ As/(Vm)}$
Elementarladung	$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As}$
effektive Zustandsdichten in Si	$N_V, N_C = 1 \cdot 10^{19} / \text{cm}^3$

2 Halbleiterphysik

9.5 Punkte

Aufgabe 2.1) Bändermodell

Skizzieren Sie das Bändermodell eines Isolators, eines Halbleiters und eines Leiters. Die Unterschiede in den Materialien sollen im Bändermodell sichtbar sein (Charakteristischer Bandabstand)! Nennen Sie zu jedem der drei Materialien je ein Beispiel. Achten Sie auf vollständige Beschriftung (Skizzen und Achsen)
(Skizzen, Beschriftungen, Stichwörter)



_____ / 5 Punkte

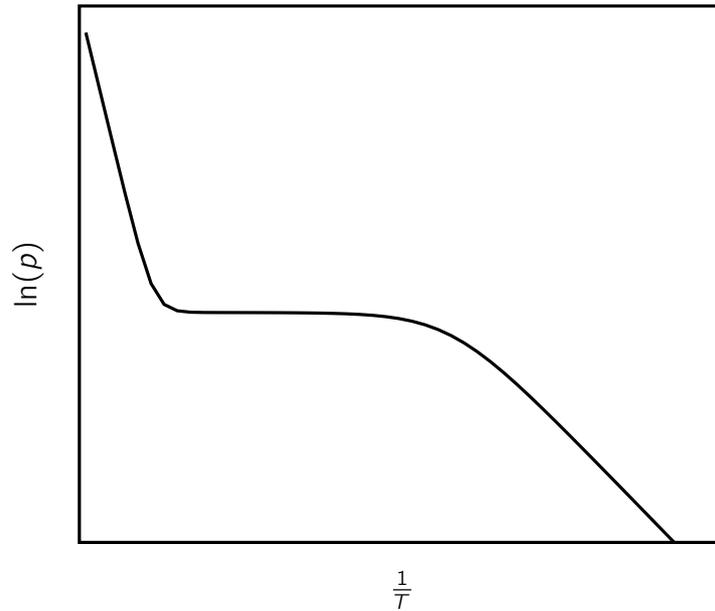
Name: _____

Matrikelnummer: _____

Aufgabe 2.2) Arrhenius Plot

Benennen Sie im folgenden Diagramm zwei der drei Bereiche in denen sich ein p-dotierter Halbleiter befinden kann. Zeichnen Sie außerdem qualitativ folgenden Wert der reziproken Temperatur in das Diagramm: $\frac{1}{T} = \frac{1}{50\text{K}}$

Kennzeichnen Sie die Dotierstoffkonzentration in diesem Diagramm.
(Markierung, Benennung)



_____ / 2 Punkte

Name: _____

Matrikelnummer: _____

Aufgabe 2.3)

Leiten Sie die Formel zur Berechnung der intrinsischen Ladungsträgerkonzentration her. Nutzen Sie hierfür die abgeleiteten Gleichungen für die Konzentration von Elektronen und Löchern sowie das Massenwirkungsgesetz.

(3 Formeln, Herleitung)

_____ / 1.5 Punkte

Aufgabe 2.4)

Betrachten Sie zwei separate Halbleiter, einen n-dotierten und einen p-dotierten Silizium-Halbleiter. Beide Halbleiter sind jeweils gleich stark dotiert ($N_A = N_D$). Welcher der beiden Halbleiter hat die geringere Leitfähigkeit? Warum?

(Typ, Erläuterung)

_____ / 1 Punkte

Name: _____

Matrikelnummer: _____

3 pn-Übergang

9.5 Punkte

Aufgabe 3.1)

Wie lauten die drei Shockley-Bedingungen zur Bestimmung der Kennliniengleichung eines pn-Übergangs?

(Stichpunkte)

_____ / 1.5 Punkte

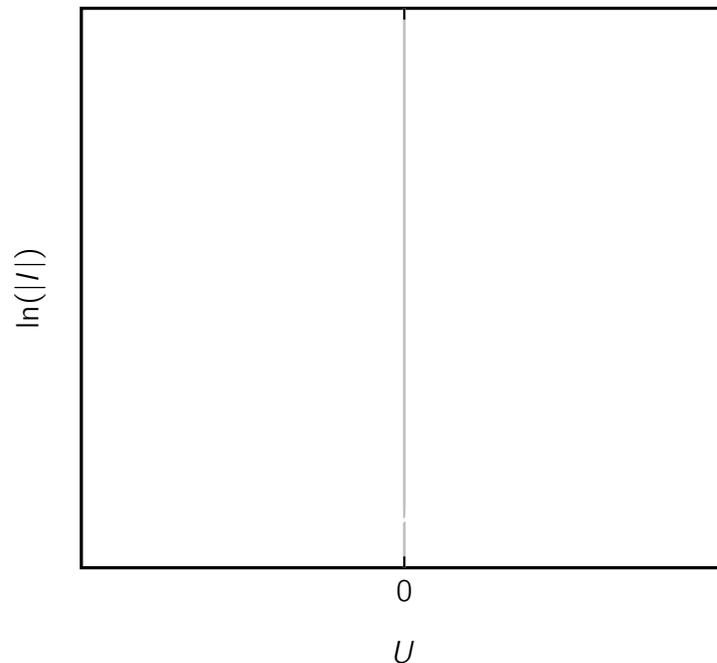
Name: _____

Matrikelnummer: _____

Aufgabe 3.2)

Kennlinie der Diode

1. Zeichnen Sie die Kennlinie der Diode nach Shockley in halblogarithmischer Darstellung in das untenstehende Koordinatensystem für positive und negative Spannungswerte ein.
(Skizze)
2. Markieren und benennen Sie dabei auf der Y-Achse den wichtigen Wert der Kennlinie durch den das Sperrverhalten charakterisiert wird.
(Beschriftung)
3. Skizzieren Sie außerdem, wie sich dieser Wert grafisch aus dem **Durchlassbereich** der Kennlinie ermitteln lässt.
(Skizze)



_____ / 1.5 Punkte

Name: _____

Matrikelnummer: _____

Aufgabe 3.3)

Erklären Sie anhand einer geeigneten Skizze und Stichpunkten die Sperrschichtkapazität eines pn-Übergangs. Gehen Sie folgendermaßen vor:

1. Erklären Sie anhand weniger Worte, wodurch die Sperrschichtkapazität eines pn-Übergangs entsteht.
2. In welchem Spannungsbereich wirkt sich diese Kapazität hauptsächlich auf das Bauteilverhalten aus?

(Stichpunkte)

_____ / 1 Punkte

Name: _____

Matrikelnummer: _____

Aufgabe 3.4)

Leiten Sie unter Veranschaulichung der Poissongleichung das Bändermodell des pn-Übergangs qualitativ her. Der betrachtete pn-Übergang bildet eine pn⁺-Diode. Es liegt keine Spannung an. Gehen Sie davon aus, dass keine beweglichen Ladungsträger in der Raumladungszone sind. Zeichnen Sie in jedes Diagramm die charakteristischen Werte auf der y-Achse ein!

1. Zeichnen Sie in das erste Diagramm die Raumladungsdichte als Funktion des Ortes ein.
(*Skizze, Beschriftung markanter x - Werte (drei) und y - Werte (zwei)*)
2. Wie lautet die Bestimmungsgleichung zur Bestimmung des Potentials aus der Raumladungsdichte?
(*Formel*)
3. Ausgehend vom ersten Diagramm: bilden Sie nun das elektrische Feld im Halbleiter und tragen Sie die resultierende Kurve im zweiten Koordinatensystem ein. Der Zusammenhang zum ersten Diagramm muss erkennbar sein
(*Skizze, Beschriftung*)
4. Tragen Sie in das dritte Koordinatensystem den Verlauf des Potentials ein. Der Zusammenhang zum ersten Diagramm muss erkennbar sein
(*Skizze, Beschriftung*)
5. Mit welcher Beziehung lässt sich das Potential in das Bänderdiagramm überführen?
(*Formel*)
6. Benennen Sie in Ihrem letzten Diagramm den Potentialunterschied zwischen der linken und rechten Seite Ihres Graphen.
(*Markierung, Bezeichnung*)

Name: _____

Matrikelnummer: _____



_____ / 3.5 Punkte

Name: _____

Matrikelnummer: _____

Aufgabe 3.5)

Gegeben ist ein idealer pn-Übergang mit $N_A = 5 * N_D = 1 \cdot 10^{18}/\text{cm}^3$. Angegeben ist die Formel zur Berechnung der gesamten RLZ - Weite sowie der Wert der Diffusionsspannung $U_D = 0,91 \text{ V}$ und die relative Permittivität von Silizium $\epsilon_{\text{Si}} = 11,7$.

$$w_{\text{RLZ}} = \sqrt{\frac{2\epsilon_0\epsilon_r}{e} \left(\frac{N_A + N_D}{N_A N_D} \right)} (U_D) \quad (1)$$

1. Berechnen Sie die gesamte Ausdehnung der Raumladungszone.
(Zahlenwert)
2. Wie groß ist die jeweilige Ausdehnung der Raumladungszone in das n- bzw. p-Gebiet?
(zwei Zahlenwerte)
3. Wie ändert sich die Formel zur Berechnung der Raumladungszonenweite bei einer außen an den pn-Übergang angelegten Spannung U ?
(Formel)

_____ / 2 Punkte

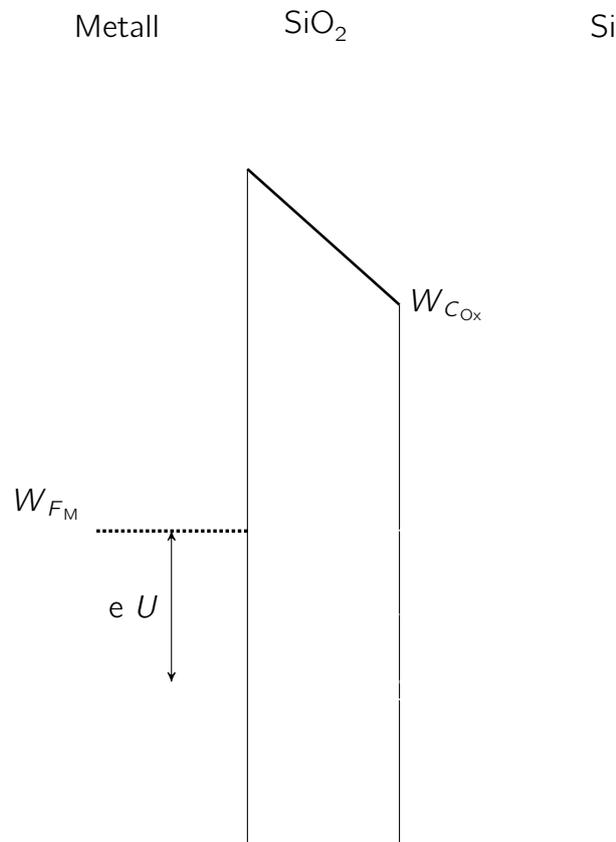
4 Bauelemente

11 Punkte

Aufgabe 4.1)

Es soll das Bänderdiagramm eines MOS-Varaktors entwickelt werden. Beginnen Sie mit der Zeichnung erst, wenn Sie alle Aufgaben gelesen haben! Nutzen Sie den Platz auf Ihrem Blatt Papier sinnvoll. Gehen Sie anhand folgender Unteraufgaben vor:

1. Vervollständigen Sie das Bändermodell des unten abgebildeten MOS Varaktors in starker Inversion. Gehen Sie von einem n-dotieren Substrat bei Raumtemperatur aus.
(Skizze)
2. Zeichnen Sie die Größe Φ_B ein.
3. Wie groß muss die Verbiegung mindestens sein, um starke Inversion zu erreichen?
(relativer Wert)
4. Markieren Sie, wo Sie in Ihrem Bänderdiagramm folgende Zustände finden: Moderate Inversion; Midgap; Verarmung.
(Skizze)



Name: _____

Matrikelnummer: _____

_____ / 3.5 Punkte

Name: _____

Matrikelnummer: _____

Aufgabe 4.2)

Zeichnen Sie den Querschnitt eines in Planartechnologie hergestellten n-MOSFETs. Benennen Sie die einzelnen Kontakte und die Dotierstofftypen (n, p⁺, usw.). Zeichnen und **benennen** Sie außerdem einen der wichtigsten geometrischen Bauelementparameter dieser Anordnung.
(*Skizze, Beschriftung*)

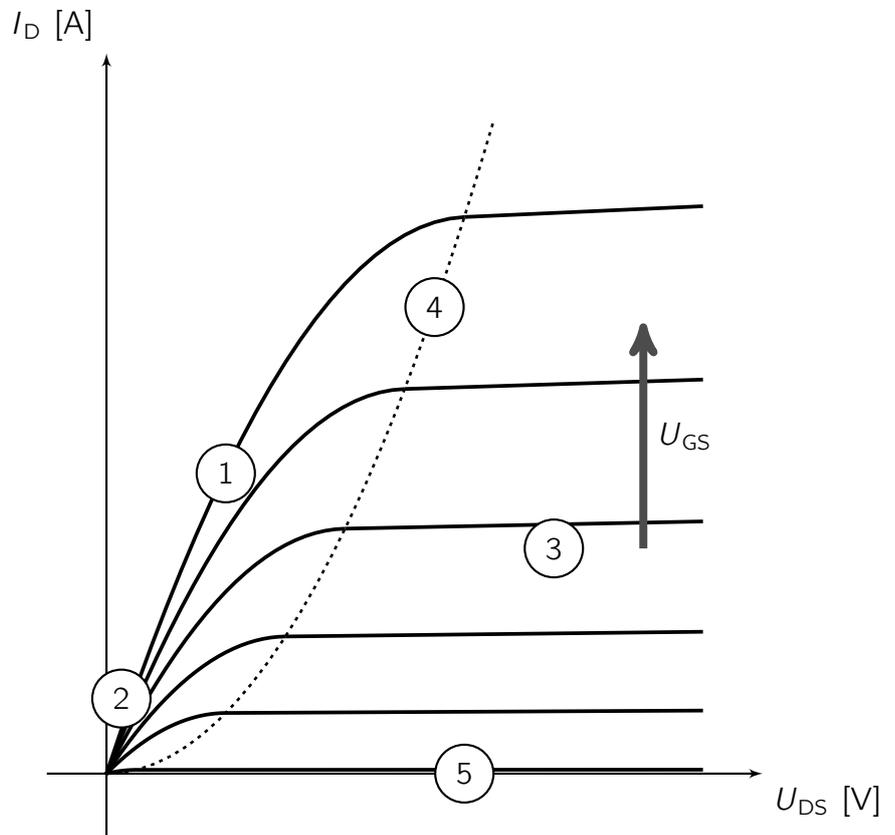
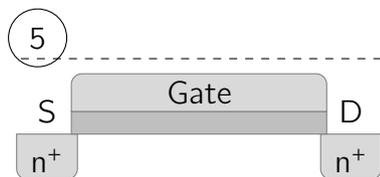
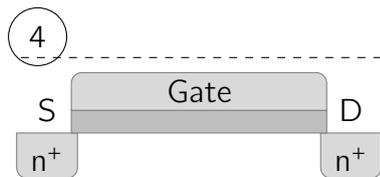
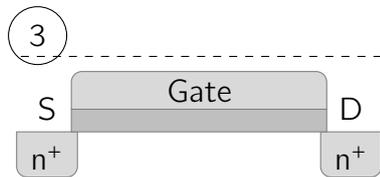
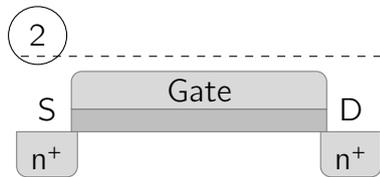
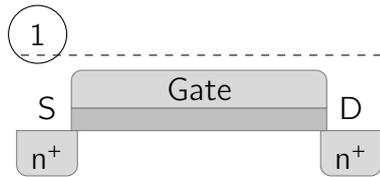
_____ / 2.5 Punkte

Name: _____

Matrikelnummer: _____

Aufgabe 4.3)

Die folgende Abbildung zeigt das Ausgangskennlinienfeld eines MOSFETs in Sourceschaltung. Benennen Sie die in dem Kennlinienfeld mit 1 bis 5 gekennzeichneten Bereiche. Nutzen Sie zur Bezeichnung die gestrichelten Linien oberhalb der vorbereiteten MOSFET-Strukturen. Zeichnen Sie außerdem die zu diesen Bereich der Kennlinie gehörenden qualitativen Verlauf des Inversionskanals in die vorbereiteten MOSFET-Strukturen ein.



(Benennung, Skizze)

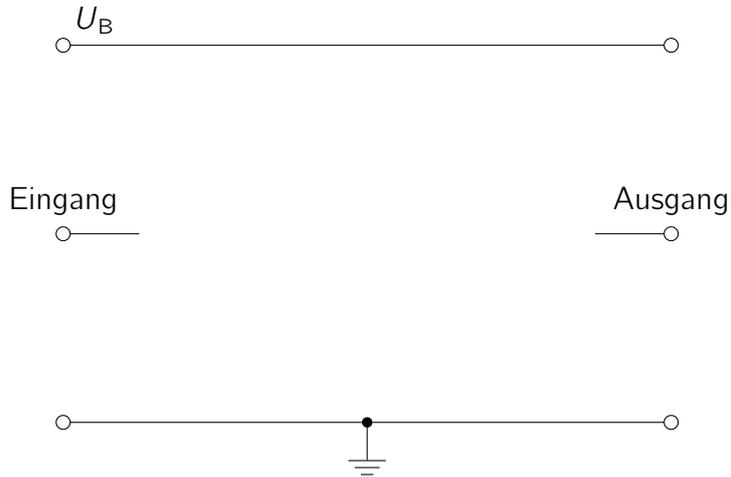
_____ / 2.5 Punkte

Name: _____

Matrikelnummer: _____

Aufgabe 4.4)

Vervollständigen Sie das Schaltbild des CMOS Inverters. Benennen Sie Source, Drain, Bulk und Gate aller Transistoren sowie die verwendeten Transistortypen.



_____ / 1.5 Punkte

Aufgabe 4.5)

Welche Ströme setzt der Emitterwirkungsgrad eines Bipolartransistors in Beziehung zueinander, wie ist diese Beziehung? Welche Werte erwarten Sie für einen guten Emitterwirkungsgrad? (Stichpunkte oder Formel, idealer Wert)

_____ / 1 Punkte

Name: _____

Matrikelnummer: _____

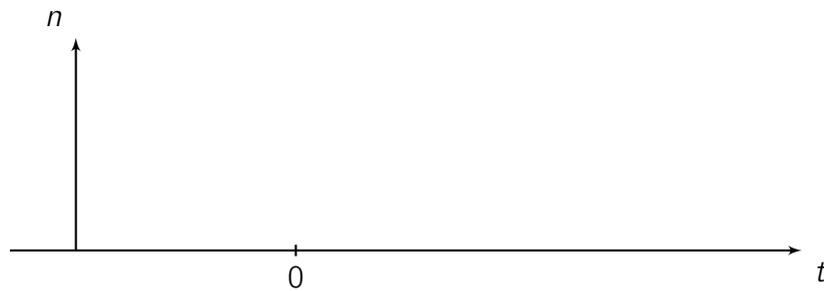
5 Praktikumsfragen

4 Punkte

Aufgabe 5.1)

Skizzieren Sie das Abklingverhalten der Minoritätsträgerkonzentration eines homogen dotierten Halbleiters, der von einem beleuchteten stationären Zustand in einen unbeleuchteten stationären Zustand übergeht. Umschaltzeitpunkt der Zustände ist $t = 0$.

(Skizze)



_____ / 0.5 Punkte

Name: _____

Matrikelnummer: _____

Aufgabe 5.2)

Skizzieren Sie qualitativ eine Kurvenchar der $I - U$ - Kennlinie einer Diode bei drei verschiedene Temperaturen (z.B. 30° , 40° , 60° C). Es muss eine eindeutige Zuordnung der Temperaturen zu den Kurven zu erkennen sein. Skizzieren Sie die Kennlinie in linearer Darstellung nur im ersten Quadranten.

(Skizze, Beschriftung)



_____ / 0.5 Punkte

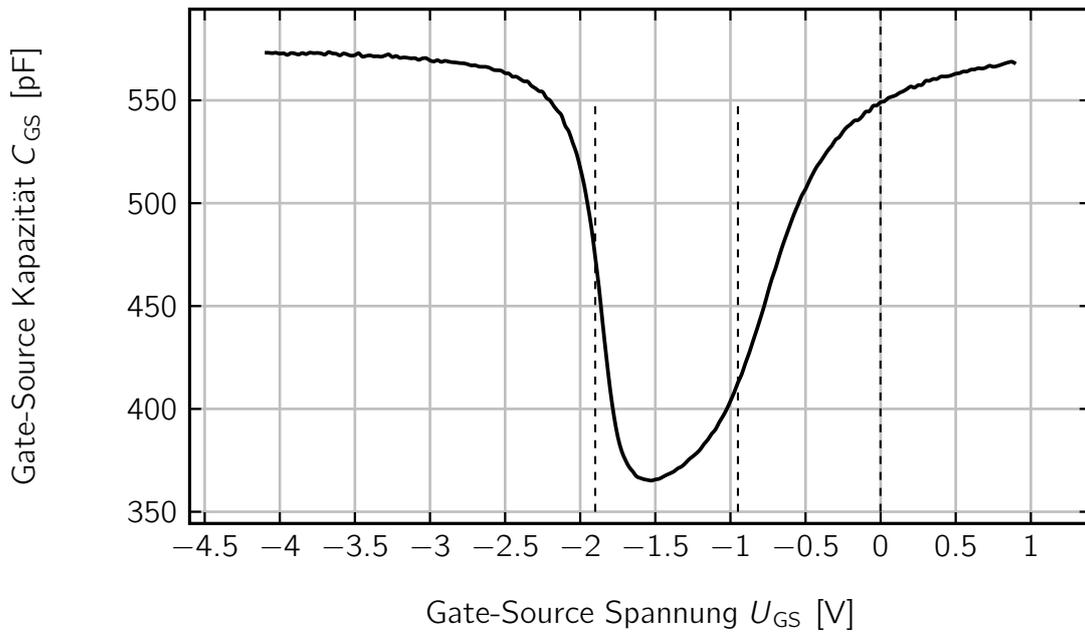
Name: _____

Matrikelnummer: _____

Aufgabe 5.3)

Im folgenden Diagramm ist die Kapazität eines MOS-Varaktors zu sehen. Ordnen Sie den vorgegebenen Bereichen im Diagramm folgende Zustände zu: starke Inversion, moderate Inversion, Verarmung, Anreicherung.

(Bezeichnung)



_____ / 0.5 Punkte

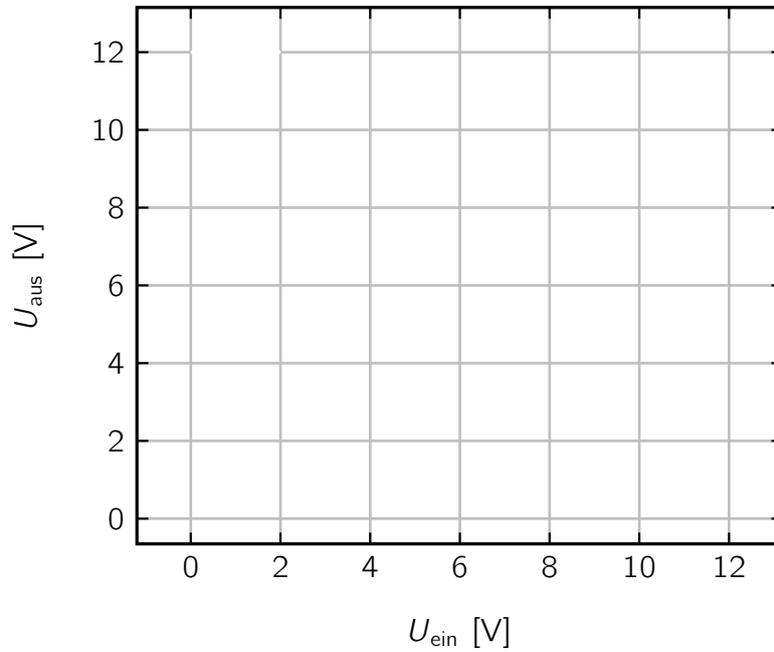
Name: _____

Matrikelnummer: _____

Aufgabe 5.4)

Zeichnen Sie die reale Übertragungskennlinie eines übertragungssymmetrischen CMOS Inverters. Der Inverter wird mit einer Betriebsspannung (U_B) von 12 V betrieben.

(Skizze, Bezeichnung)



_____ / 0.5 Punkte

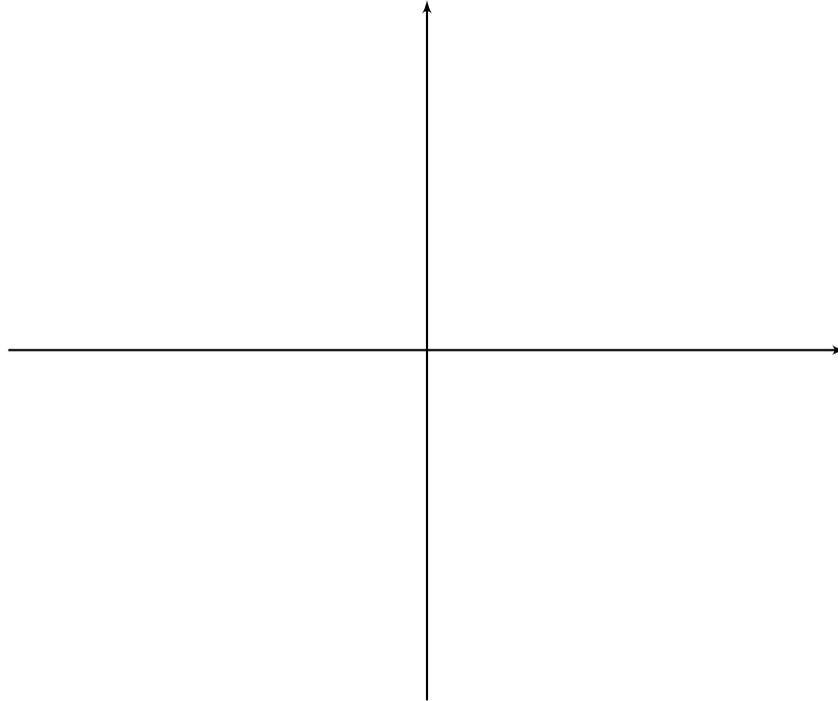
Name: _____

Matrikelnummer: _____

Aufgabe 5.5)

Skizzieren Sie das Ausgangskennlinienfeld eines npn-Transistors in Basisschaltung. Bezeichnen Sie die Achsen und den Parameter der Kurvenschar.

(Skizze, Beschriftung)



_____ / 1.5 Punkte

Aufgabe 5.6)

Welcher Punkt der Kennlinie einer beleuchteten Solarzelle eignet sich am besten um den Parallelwiderstand zu bestimmen?

(Stichpunkt)

_____ / 0.5 Punkte

— Ende der Aufgaben —