

Mikroelektronik 1

Beispielklausur I (leicht)

Autor:innen:

Ismail Gemaledin, Iusuf Gemaledin

Universität:

Universität Stuttgart

Kursbezug:

Mikroelektronik 1 (ME1)

Stoffumfang:

Kapitel 1–7 (Sze & Ng, Parts I–III)

Bearbeitungszeit:

90 Minuten

Gesamtpunkte:

90 Punkte

Hilfsmittel:

1 handschriftliches DIN-A4-Blatt (beidseitig), nicht programmierbarer Taschenrechner

Hinweise

- Begründen Sie Ihre Antworten kurz und präzise. Rechenwege müssen nachvollziehbar sein.
- Verwenden Sie, falls nötig, klare Annahmen (z. B. volle Ionisation, nicht-degeneriert) und nennen Sie diese.
- Achten Sie auf Einheiten (cm^{-3} vs. m^{-3}) und Vorzeichenkonventionen.

Kurze Formelsammlung (falls benötigt)

- Nicht-degeneriert:

$$n = N_C \exp\left(-\frac{E_C - E_F}{k_B T}\right), \quad p = N_V \exp\left(-\frac{E_F - E_V}{k_B T}\right)$$

- Massenwirkungsgesetz: $np = n_i^2$
- Eingebaute Spannung (abrupt, voll ionisiert):

$$V_{bi} = \frac{k_B T}{q} \ln\left(\frac{N_A N_D}{n_i^2}\right)$$

- Einstein-Relation (nicht-degeneriert): $\frac{D}{\mu} = \frac{k_B T}{q}$

Aufgabe 1: Grundlagen der Halbleiterphysik

[10 P]

- (a) Erklären Sie den Unterschied zwischen Leitungsband und Valenzband. Was versteht man unter der Bandlücke E_g ? [4 P]
- (b) Warum ist Silizium bei Raumtemperatur ein Halbleiter und kein Isolator? Gehen Sie qualitativ auf die Größenordnung von $k_B T$ bei $T = 300$ K ein. [3 P]
- (c) Nennen Sie zwei Gründe, warum Halbleiterbauelemente gezielt dotiert werden. [3 P]

Aufgabe 2: Kristallstruktur

[10 P]

- (a) Definieren Sie die Begriffe *Gitter* und *Basis*. Wie ergibt sich daraus die Kristallstruktur? [4 P]
- (b) Beschreiben Sie die Kristallstruktur von Silizium. Geben Sie den Gittertyp (z. B. FCC + Basis) und die Koordinationszahl an. [4 P]
- (c) Welche Bedeutung haben typische Waferorientierungen wie (100) und (111) in der Siliziumtechnologie? (qualitativ) [2 P]

Aufgabe 3: Energiebänder und effektive Masse

[15 P]

- (a) Geben Sie die Energie-Impuls-Relation eines freien Elektrons an:

$$E(k) = ?$$

Warum ist dieses Modell für Halbleiter unzureichend? [5 P]

- (b) Definieren Sie die effektive Masse m^* über die Krümmung von $E(k)$. Erklären Sie den physikalischen Sinn der effektiven Masse. [6 P]
- (c) Was bedeutet *direkte* bzw. *indirekte* Bandlücke? Nennen Sie jeweils ein typisches Materialbeispiel. [4 P]
-

Aufgabe 4: Intrinsische Halbleiter

[20 P]

Ein intrinsischer Halbleiter befindet sich im thermischen Gleichgewicht und sei nicht-degeneriert.

- (a) Schreiben Sie die Gleichungen für Elektronen- und Lochkonzentration n und p im nicht-degenerierten Fall auf. [6 P]
- (b) Leiten Sie daraus das Massenwirkungsgesetz

$$np = n_i^2$$

her. [6 P]

- (c) Erklären Sie qualitativ, warum $n_i(T)$ stark mit der Temperatur steigt. Welche Größe dominiert die Temperaturabhängigkeit? [5 P]
- (d) Wo liegt das intrinsische Fermi niveau E_i typischerweise innerhalb der Bandlücke? Unter welcher Bedingung liegt E_i exakt in der Bandmitte? [3 P]
-

Aufgabe 5: Dotierte Halbleiter

[15 P]

Ein Siliziumkristall sei ausschließlich mit Donatoren der Konzentration N_D dotiert. Akzeptoren seien nicht vorhanden. Volle Ionisation und nicht-degeneriertes Verhalten werden angenommen.

- (a) Handelt es sich um n- oder p-dotiertes Material? Begründen Sie kurz. [3 P]
- (b) Schreiben Sie die Ladungsneutralitätsbedingung für diesen Fall auf. [4 P]
- (c) Bestimmen Sie n und p im extrinsischen Bereich ($N_D \gg n_i$). Nutzen Sie geeignete Näherungen und geben Sie die Ergebnisse in Symbolform an. [5 P]
- (d) Beschreiben Sie qualitativ, wie sich das Fermi niveau E_F im Vergleich zum intrinsischen Fall verschiebt. [3 P]
-

Aufgabe 6: p–n-Übergang (abrupt)

[20 P]

Ein abrupter p–n-Übergang mit Akzeptorkonzentration N_A und Donatorkonzentration N_D befindet sich im thermischen Gleichgewicht.

- (a) Erklären Sie qualitativ die Entstehung der Verarmungszone (Raumladungszone). [5 P]

(b) Begründen Sie (kurz, aber nachvollziehbar), warum die eingebaute Spannung die Form

$$V_{bi} = \frac{k_B T}{q} \ln\left(\frac{N_A N_D}{n_i^2}\right)$$

hat. [6 P]

(c) Wie verändert sich die Verarmungszonenbreite W bei Vorwärts- bzw. Rückwärtsbias? Begründen Sie qualitativ über $V_{bi} - V_a$. [5 P]

(d) Wie verhält sich die Sperrschichtkapazität C' bei wachsender Rückwärtsspannung? (Richtung der Änderung + kurze Begründung.) [4 P]

Zeitmanagement (Empfehlung)

- Aufgaben 1–3: ca. 30 Minuten (Definitionen, Konzepte, kurze Begründungen)
- Aufgaben 4–6: ca. 60 Minuten (Standardgleichungen, Herleitungen, qualitative Bias-Effekte)

Gesamtpunktzahl: 90 Punkte