

# Mikroelektronik 1

## Beispielklausur III (mittel)

**Autor:innen:**

Ismail Gemaledin, Iusuf Gemaledin

**Universität:**

Universität Stuttgart

**Modul:**

Mikroelektronik 1

**Stoffumfang:**

Kapitel 1–7

**Bearbeitungszeit:**

90 Minuten

**Gesamtpunkte:**

100 Punkte

**Hilfsmittel:**

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

### Hinweise

- Rechenwege müssen nachvollziehbar dargestellt werden.
- Nutzen Sie sinnvolle Näherungen (nicht-degeneriert, volle Ionisation) und nennen Sie diese.
- Achten Sie auf Vorzeichen bei Drift/Diffusion sowie auf Einheiten.

**Wichtige Beziehungen**

- $n = N_C \exp\left(-\frac{E_C - E_F}{k_B T}\right), \quad p = N_V \exp\left(-\frac{E_F - E_V}{k_B T}\right)$
- $np = n_i^2$
- $\sigma = q(n\mu_n + p\mu_p)$
- $V_{bi} = \frac{k_B T}{q} \ln\left(\frac{N_A N_D}{n_i^2}\right)$
- (Depletion, abrupt)  $W = \sqrt{\frac{2\varepsilon_s}{q} \left(\frac{N_A + N_D}{N_A N_D}\right) (V_{bi} - V_a)}$

**Aufgabe 1: Bandstruktur, direkte/indirekte Übergänge**

[15 P]

- (a) Erklären Sie den Unterschied zwischen direkter und indirekter Bandlücke mit Bezug auf Impulserhaltung. [7 P]
- (b) Warum ist die Lichtemission bei indirekten Halbleitern typischerweise schwach? Nennen Sie den zusätzlichen Prozess, der oft notwendig ist. [5 P]
- (c) Nennen Sie je ein Materialbeispiel für direkten und indirekten Halbleiter. [3 P]

**Aufgabe 2: Intrinsische Halbleiter:  $n_i$  und Leitfähigkeit**

[20 P]

- (a) Schreiben Sie die Gleichungen für  $n$  und  $p$  im nicht-degenerierten Gleichgewicht auf. [6 P]
- (b) Zeigen Sie durch geeignete Umformung, dass

$$n_i^2 = N_C N_V \exp\left(-\frac{E_g}{k_B T}\right).$$

[8 P]

- (c) Ein intrinsischer Halbleiter hat Leitfähigkeit  $\sigma_i = qn_i(\mu_n + \mu_p)$ . Erklären Sie qualitativ den Temperaturtrend von  $\sigma_i$ . [6 P]

**Aufgabe 3: Dotierung und Kompensation**

[20 P]

Gegeben:  $T = 300 \text{ K}$ ,  $n_i = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ ,  $N_D = 2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ,  $N_A = 5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ . Volle Ionisation, nicht-degeneriert.

- (a) Bestimmen Sie den Halbleitertyp und die Nettodotierung  $N_{\text{net}}$ . [5 P]
- (b) Nutzen Sie Neutralität und Massenwirkungsgesetz, um  $n$  und  $p$  zu bestimmen. Hinweis: verwenden Sie die Standardnäherung für  $|N_{\text{net}}| \gg n_i$ . [9 P]
- (c) Bestimmen Sie die Größenordnung der Minderheitsträgerkonzentration und kommentieren Sie, warum sie trotz großer Dotierung nicht verschwindet. [6 P]

**Aufgabe 4: Transport: Drift, Diffusion, Einstein**

[20 P]

Gegeben sei ein 1D-Profil  $n(x)$  in einem n-dotierten Bereich. Das elektrische Feld sei zunächst  $E = 0$ .

- (a) Schreiben Sie die Drift-Diffusions-Gleichung für den Elektronenstrom  $J_n$  auf. [6 P]
- (b) Angenommen  $dn/dx > 0$ . Geben Sie das Vorzeichen des Diffusionsanteils  $qD_n dn/dx$  an und interpretieren Sie physikalisch die Stromrichtung. [6 P]
- (c) Verwenden Sie die Einstein-Relation, um  $D_n$  in Abhängigkeit von  $\mu_n$  und  $T$  anzugeben. [4 P]
- (d) Im thermischen Gleichgewicht gilt  $J_n = 0$ . Leiten Sie aus  $J_n = 0$  (mit Einstein) eine Beziehung zwischen  $E(x)$  und  $n(x)$  her:

$$E(x) = -\frac{k_B T}{q} \frac{1}{n} \frac{dn}{dx}.$$

[4 P]

**Aufgabe 5: p–n-Übergang:  $V_{bi}$ ,  $W$ , Bias-Trends**

[25 P]

Ein abrunder p–n-Übergang habe  $N_A = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  und  $N_D = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  bei  $T = 300 \text{ K}$ . Es sei  $n_i = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ . Volle Ionisation und nicht-degeneriert. Die Permittivität  $\epsilon_s$  wird als bekannt angenommen.

- (a) Berechnen Sie die eingebaute Spannung  $V_{bi}$ . [8 P]
- (b) Unter Rückwärtsspannung  $V_a = -2 \text{ V}$ : Schreiben Sie die Formel für die Verarmungszonebreite  $W$  auf und geben Sie an, ob  $W$  größer oder kleiner als im Gleichgewicht ist. [7 P]
- (c) Erklären Sie qualitativ die Aufteilung der Verarmungszone auf p- und n-Seite: in welche Seite reicht die Zone stärker hinein und warum? [5 P]
- (d) Wie ändert sich die Sperrsichtkapazität bei wachsender Rückwärtsspannung? Geben Sie die funktionale Abhängigkeit  $C' \propto \dots$  an. [5 P]

**Zeitaufteilung (Empfehlung)**

- Aufgaben 1–2: ca. 25 Minuten
- Aufgaben 3–4: ca. 35 Minuten
- Aufgabe 5: ca. 30 Minuten

**Gesamtpunktzahl: 100 Punkte**