

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) $W = \sqrt{\frac{2\epsilon_s}{q} \left(\frac{N_A + N_D}{N_A N_D}\right) (V_{bi} - V_a)}$

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 σ_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_{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 μ_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 abrupter 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 ϵ_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 Verarmungszonenbreite 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 Sperrschichtkapazität 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