

Mikroelektronik 1

Beispielklausur I (schwer)

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

- Diese Klausur ist konzeptionell und rechnerisch anspruchsvoll.
- Alle Annahmen (nicht-degeneriert, volle Ionisation, abrupt) sind explizit zu nennen.
- Strukturierte Herleitungen werden bewertet.

Wichtige Beziehungen

- $np = n_i^2$
- $n = N_C \exp\left(-\frac{E_C - E_F}{k_B T}\right)$
- $V_{bi} = \frac{k_B T}{q} \ln\left(\frac{N_A N_D}{n_i^2}\right)$
- $W = \sqrt{\frac{2\varepsilon_s}{q} \left(\frac{N_A + N_D}{N_A N_D}\right) (V_{bi} - V_a)}$

Aufgabe 1: Bandstruktur und effektive Masse

[15 P]

- (a) Leiten Sie den Ausdruck für die effektive Masse

$$\frac{1}{m^*} = \frac{1}{\hbar^2} \frac{d^2 E}{dk^2}$$

aus der klassischen Bewegungsgleichung im Bandmodell her.

[7 P]

- (b) Erklären Sie, warum Löcher mit positiver effektiver Masse beschrieben werden, obwohl sie aus Elektronenzuständen entstehen.

[5 P]

- (c) Welche Konsequenzen hat eine große effektive Masse für Mobilität und Zustandsdichte?
[3 P]

Aufgabe 2: Intrinsische Halbleiter: vollständige Herleitung

[20 P]

- (a) Leiten Sie den Ausdruck für die Zustandsdichte $g_C(E)$ im Leitungsband her (Parabelnäherung, 3D).
[8 P]

- (b) Führen Sie die Integration explizit aus und zeigen Sie:

$$n = N_C \exp\left(-\frac{E_C - E_F}{k_B T}\right).$$

[8 P]

- (c) Diskutieren Sie die physikalische Bedeutung der Boltzmann-Näherung.

[4 P]

Aufgabe 3: Dotierte Halbleiter: allgemeine Lösung

[20 P]

Gegeben: N_D , N_A , n_i , volle Ionisation, nicht-degeneriert.

- (a) Stellen Sie die allgemeine Ladungsneutralitätsbedingung auf.
[5 P]
- (b) Leiten Sie aus Neutralität und $np = n_i^2$ die quadratische Gleichung für n her.
[7 P]
- (c) Diskutieren Sie die Grenzfälle: (i) $|N_D - N_A| \gg n_i$, (ii) $N_D \approx N_A$.
[8 P]

Aufgabe 4: Transport und Gleichgewichtsfeld

[20 P]

(a) Schreiben Sie die Drift-Diffusions-Gleichung für J_n auf.

[5 P]

(b) Zeigen Sie, dass im thermischen Gleichgewicht gilt:

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

[7 P]

(c) Interpretieren Sie diese Beziehung physikalisch (im Kontext eingebauter Felder). [8 P]

Aufgabe 5: p–n-Übergang: vollständige Depletion-Analyse

[25 P]

Ein abrunder p–n-Übergang mit N_A , N_D , n_i bei $T = 300\text{ K}$.(a) Leiten Sie V_{bi} aus der Ferminiveau-Angleichung her.

[7 P]

(b) Stellen Sie $\rho(x)$ im Depletionsgebiet auf und lösen Sie die Poisson-Gleichung für $E(x)$. [8 P](c) Bestimmen Sie E_{\max} und zeigen Sie $N_A x_p = N_D x_n$.

[5 P]

(d) Leiten Sie den Ausdruck für die Verarmungszonenbreite W her.

[5 P]

Zeitaufteilung (Empfehlung)

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

Gesamtpunktzahl: 100 Punkte