

Mikroelektronik 1

Beispielklausur II (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

- Strukturierte Herleitungen werden bewertet.
- Alle Annahmen explizit nennen (nicht-degeneriert, volle Ionisation, abrupt, Depletion).
- Achten Sie auf Einheiten (cm^{-3} vs. m^{-3}), Vorzeichen und Randbedingungen.

Wichtige Beziehungen

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

Aufgabe 1: Zustandsdichte und Trägerkonzentrationen

[20 P]

- (a) Leiten Sie die 3D-Zustandsdichte im Leitungsband (Parabelnäherung) bis auf eine Konstante her, und erläutern Sie die Herkunft der $\sqrt{E - E_C}$ -Abhängigkeit. [8 P]
- (b) Führen Sie die Integration im Boltzmann-Limes durch und zeigen Sie die Struktur

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

[8 P]

- (c) Nennen Sie ein physikalisches Kriterium für “nicht-degeneriert” und interpretieren Sie es. [4 P]

Aufgabe 2: Dotierung mit Kompensation: allgemeine Lösung

[20 P]

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

- (a) Stellen Sie Neutralität und Massenwirkungsgesetz auf und formen Sie zu

$$n^2 - (N_D - N_A)n - n_i^2 = 0$$

um. [8 P]

- (b) Lösen Sie die quadratische Gleichung nach n und geben Sie eine sinnvolle Wahl der physikalisch korrekten Lösung an. [6 P]
- (c) Diskutieren Sie die Grenzfälle: (i) $|N_D - N_A| \gg n_i$, (ii) $N_D \approx N_A$. [6 P]

Aufgabe 3: Transport: Kontinuität und stationärer Fall

[20 P]

Betrachten Sie den eindimensionalen Elektronentransport.

- (a) Schreiben Sie die Kontinuitätsgleichung für Elektronen auf und erklären Sie jedes Glied. [7 P]
- (b) Für stationären Betrieb ($\partial n / \partial t = 0$) und ohne Generation ($G_n = 0$): Welche Beziehung ergibt sich zwischen Stromdivergenz und Rekombination? [5 P]

- (c) Interpretieren Sie physikalisch, was es bedeutet, wenn $\partial J_n / \partial x > 0$ ist. [4 P]
- (d) Nennen Sie zwei Rekombinationsmechanismen und sagen Sie, wann sie typischerweise wichtig sind. [4 P]

Aufgabe 4: p–n-Übergang: Feld, Potential, Kapazität

[40 P]

Ein abrupter p–n-Übergang bei $T = 300\text{ K}$ mit N_A , N_D , n_i . Depletion-Näherung, volle Ionisation, nicht-degeneriert. Die Permittivität ε_s ist bekannt. Angelegte Spannung V_a ist positiv bei Vorwärtsbias.

- (a) Stellen Sie die Raumladungsdichte $\rho(x)$ im Verarmungsgebiet stückweise auf (inkl. korrekter Vorzeichen) und definieren Sie x_p , x_n . [8 P]
- (b) Lösen Sie Poisson in 1D und bestimmen Sie das elektrische Feld $E(x)$ in beiden Bereichen unter den Randbedingungen $E(-x_p) = 0$ und $E(x_n) = 0$. [12 P]
- (c) Zeigen Sie aus der Feldkontinuität am Übergang $x = 0$, dass

$$N_A x_p = N_D x_n$$

gilt, und bestimmen Sie E_{\max} . [8 P]

- (d) Bestimmen Sie die Potentialdifferenz über die Raumladungszone als Fläche unter $E(x)$ und zeigen Sie:

$$V_{bi} - V_a = \frac{q}{2\varepsilon_s} (N_A x_p^2 + N_D x_n^2).$$

[6 P]

- (e) Leiten Sie daraus $W = x_p + x_n$ als Funktion von $V_{bi} - V_a$ her und geben Sie die Abhängigkeit der Sperrsichtkapazität pro Fläche $C' = \varepsilon_s/W$ von der Spannung an. [6 P]

Zeitaufteilung (Empfehlung)

- Aufgaben 1–2: ca. 30 Minuten
- Aufgabe 3: ca. 20 Minuten
- Aufgabe 4: ca. 40 Minuten

Gesamtpunktzahl: 100 Punkte