

Hinweis: Lösungsskizze (kurz, punktgerecht). Es wird die Standardannahme *nicht-degeneriert* verwendet, sofern nicht anders gefordert.

Aufgabe 1: Grundlagen und Energiebänder

- (a) **Definitionen:** Valenzband (VB), Leitungsband (CB); Bandlücke $E_g = E_C - E_V$.
- (b) **Temperaturabhängige Leitfähigkeit:** $n_i(T)$ steigt stark mit T (dominant exponentiell) $\Rightarrow \sigma \sim q(n\mu_n + p\mu_p)$ steigt typischerweise.
- (c) **Direkt/indirekt:** Direkt: CB-Minimum und VB-Maximum bei gleichem $k \Rightarrow$ optischer Übergang ohne Phonon. Indirekt: unterschiedliches $k \Rightarrow$ Phonon nötig \Rightarrow geringe Radiativität (Si).

Aufgabe 2: Kristallstruktur und Bandentstehung

- (a) Periodisches Potential \Rightarrow Bloch-Zustände \Rightarrow Niveaufspaltung zu Bändern + Bandlücken.
- (b) Si: Diamantstruktur = FCC-Gitter + Zwei-Atom-Basis, Koordinationszahl 4 (tetraedisch).
- (c) Defekte \Rightarrow Streuung (Impulsrelaxation) \Rightarrow geringere Mobilität μ .

Aufgabe 3: Intrinsische Halbleiter

- (a) **Nicht-degeneriert:**

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

- (b) **Massenwirkung:**

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

- (c) **Intrinsic:** $n = p = n_i \Rightarrow$

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

- (d) **Warum stark T -abhängig:** Exponentialterm $\exp(-E_g/2k_B T)$ dominiert.

Aufgabe 4: Dotierte Halbleiter ($N_D = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$)

- (a) **Neutralität (nur Donoren, voll ionisiert):**

$$p + N_D = n \quad \Leftrightarrow \quad n - p = N_D.$$

- (b) **Extrinsisch ($N_D \gg n_i$):**

$$n \approx N_D = 10^{16} \text{ cm}^{-3}, \quad p \approx \frac{n_i^2}{n} = \frac{10^{20}}{10^{16}} = 10^4 \text{ cm}^{-3}.$$

- (c) **Nicht-degeneriert?** Abschätzung über Abstand zu Bandkante: Wenn $n \ll N_C$ (typisch $N_C \sim 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ für Si bei 300K), dann $E_C - E_F = k_B T \ln(N_C/n)$ mehrere $k_B T \Rightarrow$ nicht-degeneriert plausibel.

- (d) **E_F -Lage:** n-Typ $\Rightarrow E_F$ Richtung E_C (oberhalb E_i).

Aufgabe 5: Transportmechanismen

- (a) **Elektronen:**

$$J_n = qn\mu_n E + qD_n \frac{dn}{dx}.$$

Drift: $qn\mu_n E$, Diffusion: $qD_n dn/dx$.

- (b) **Diffusion:** Random motion + Konzentrationsgradient \Rightarrow Nettofluss von hoch nach niedrig.
(c) **Einstein:** Gilt bei thermischem Gleichgewicht und nicht-degeneriert (Boltzmann):

$$\frac{D_n}{\mu_n} = \frac{k_B T}{q}.$$

Aufgabe 6: p–n-Übergang

- (a) Raumladungszone: Diffusion hinterlässt ionisierte Dotierstoffe \Rightarrow Feld baut sich auf, drift kompensiert diffusion.
(b) V_{bi} :

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

aus Fermi-niveau-Angleichung bzw. Mehrheits-/Minderheitsträgerrelationen.

- (c) Rückwärtsbias: $V_{bi} - V_a$ größer $\Rightarrow W$ größer $\Rightarrow C' = \varepsilon_s/W$ kleiner.