

**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  $\Rightarrow$  Niveaupaltung zu Bändern + Bandlücken.
- (b) Si: Diamantstruktur = FCC-Gitter + Zwei-Atom-Basis, Koordinationszahl 4 (tetraedrisch).
- (c) Defekte  $\Rightarrow$  Streuung (Impulsrelaxation)  $\Rightarrow$  geringere Mobilität  $\mu$ .

## 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 Fermiiveau-Angleichung bzw. Mehrheits-/Minderheitsträgerrelationen.

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