

Hinweis: Lösungsskizze (kurz, punktgerecht). Bei numerischen Teilen sind Standardwerte wie N_C hier nicht benötigt, sofern nur qualitativ geprüft wird.

Aufgabe 1: Bandstruktur, direkte/indirekte Übergänge

- (a) Direkt: $\Delta k \approx 0$; indirekt: $\Delta k \neq 0$.
- (b) Indirekt: zusätzlich Phonon nötig (Impulserhaltung) \Rightarrow geringe radiative Übergangswahrscheinlichkeit.
- (c) Beispiele: direkt GaAs, indirekt Si.

Aufgabe 2: Intrinsische Halbleiter: n_i und Leitfähigkeit

(a) $n = N_C e^{-(E_C - E_F)/k_B T}$, $p = N_V e^{-(E_F - E_V)/k_B T}$.

(b)

$$np = N_C N_V e^{-(E_C - E_V)/k_B T} = N_C N_V e^{-E_g/k_B T}.$$

- (c) $\sigma_i = qn_i(\mu_n + \mu_p)$ steigt i. d. R. mit T , da n_i exponentiell steigt und Mobilitätssenkung überwiegt.

Aufgabe 3: Dotierung und Kompensation

(a) $N_{\text{net}} = N_D - N_A = 2 \cdot 10^{16} - 5 \cdot 10^{15} = 1.5 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, also n-Typ.

(b) Da $N_{\text{net}} \gg n_i$:

$$n \approx N_{\text{net}} = 1.5 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}, \quad p \approx \frac{n_i^2}{n} = \frac{10^{20}}{1.5 \cdot 10^{16}} \approx 6.7 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-3}.$$

- (c) Minderheitsträger verschwinden nicht, weil thermisches Gleichgewicht $np = n_i^2$ erzwingt.

Aufgabe 4: Transport: Drift, Diffusion, Einstein

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

- (b) Falls $dn/dx > 0$: Diffusionsanteil $qD_n dn/dx > 0$ (für $D_n > 0$), also Beitrag zu J_n in $+x$ -Richtung. Physikalisch: Elektronen diffundieren von hoher nach niedriger Konzentration, Elektronenfluss ist nach $-x$ (weil n nach $+x$ steigt), aber Strom ist entgegengesetzt zur Elektronenflussrichtung.

(c) Einstein:

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

(d) Gleichgewicht $J_n = 0$:

$$qn\mu_n E + qD_n \frac{dn}{dx} = 0 \Rightarrow E = -\frac{D_n}{\mu_n} \frac{1}{n} \frac{dn}{dx} = -\frac{k_B T}{q} \frac{1}{n} \frac{dn}{dx}.$$

Aufgabe 5: p-n-Übergang: V_{bi} , W , Bias-Trends

(a)

$$V_{bi} = \frac{k_B T}{q} \ln\left(\frac{N_A N_D}{n_i^2}\right) = \frac{k_B T}{q} \ln\left(\frac{10^{17} \cdot 10^{16}}{10^{20}}\right) = \frac{k_B T}{q} \ln(10^{13}).$$

Numerisch (bei 300K): $k_B T/q \approx 0.0259 \text{ V}$, $\ln(10^{13}) = 13 \ln 10 \approx 29.9$, also $V_{bi} \approx 0.0259 \cdot 29.9 \approx 0.77 \text{ V}$.

- (b) Rückwärtsbias $V_a = -2 \text{ V}$: $V_{bi} - V_a = V_{bi} + 2$ größer $\Rightarrow W$ größer als im Gleichgewicht.
- (c) $N_A \gg N_D \Rightarrow$ Raumladungszone hauptsächlich auf n-Seite (schwächer dotiert), da $N_A x_p = N_D x_n \Rightarrow x_n/x_p = N_A/N_D \gg 1$.
- (d) $C' = \varepsilon_s/W \Rightarrow C' \propto 1/\sqrt{V_{bi} - V_a}$; bei stärkerer Rückwärtsspannung sinkt C' .