Hinweis: Lösungsskizze. Fokus: Kernformeln + kurze physikalische Begründung.

Aufgabe 1: Nichtgleichgewicht: Quasi-Ferminiveaus

(a) Definition:

$$n = N_C \exp\left(-\frac{E_\mathrm{C} - E_{Fn}}{k_\mathrm{B}T}\right), \qquad p = N_V \exp\left(-\frac{E_{Fp} - E_\mathrm{V}}{k_\mathrm{B}T}\right).$$

(b) Unter Bias/Beleuchtung sind Elektronen- und Lochpopulationen getrennt gesteuert, kein gemeinsames chemisches Potential $\Rightarrow E_{Fn} \neq E_{Fp}$.

(c) Gleichgewicht: $E_{Fn} = E_{Fp} = E_\mathrm{F}$.

Aufgabe 2: Dotierte Halbleiter: Degenerationscheck

(a) Für $N_D = 10^{18}\,\mathrm{cm}^{-3}$ (voll ionisiert) extrinsisch: $n \approx N_D$, $p \approx n_i^2/n = 10^{20}/10^{18} = 10^2\,\mathrm{cm}^{-3}$.

(b) Degenerationskriterium: $E_\mathrm{C} - E_\mathrm{F} \lesssim 3k_\mathrm{B}T$ bzw. n vergleichbar mit N_C. Da $n = 10^{18}$ nahe N_C-Größenordnung (typisch $\sim 10^{19}$) liegt, kann Degeneration beginnen; qualitativ: möglicherweise grenzwertig/teilweise degeneriert.

(c) Bei Degeneration gilt Boltzmann nicht; n muss über FD-Integrale berechnet werden, und die einfache Form $np = n_i^2$ ist nicht in gleicher Weise anwendbar.

Aufgabe 3: Transport + Kontinuität

(a)

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

(b)

$$\frac{\partial n}{\partial t} = \frac{1}{q}\frac{\partial J_n}{\partial x} + G_n - R_n.$$

(c) Stationär, $G_n = 0$:

$$\frac{\partial J_n}{\partial x} = qR_n > 0.$$

(d) Physikalisch: Rekombination entfernt Elektronen; damit n stationär bleibt, muss ein Stromdivergenzterm Elektronen nachliefern.

Aufgabe 4: p–n-Übergang: Herleitungen + Pipeline

(a)

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

(b) Schwächer dotierte Seite ist N_D-Seite ($5 \cdot 10^{15}$) $\Rightarrow$ aus $N_A x_p = N_D x_n$ folgt $x_n/x_p = N_A/N_D \gg 1$, also Verarmung überwiegend in n-Seite.

(c) Standardresultat:

$$W = \sqrt{\frac{2\varepsilon_s}{q}\left(\frac{N_A + N_D}{N_A N_D}\right)(V_{bi} - V_a)}.$$

(d) Aufteilung:

$$x_n = \frac{N_A}{N_A + N_D} W, \qquad x_p = \frac{N_D}{N_A + N_D} W.$$

(e) Feldmaximum:

$$E_{\max} = \frac{q N_D x_n}{\varepsilon_s} = \frac{q N_A x_p}{\varepsilon_s},$$

Rückwärtsbias $\Rightarrow V_{bi} - V_a$ größer $\Rightarrow W \uparrow$ und typischerweise $E_{\max} \uparrow$.

(f) Kapazität:

$$C' = \frac{\varepsilon_s}{W} \propto \frac{1}{\sqrt{V_{bi} - V_a}}.$$