Lösungen zu Kapitel 3:

Aufgabe 3.1: Ladungsträger im Halbleiter

a) Einsetzen in Gleichung (3.3):

$$n_\mathrm{i} = N_0 \cdot e^{-\frac{\Delta W_\mathrm{G}}{2 \cdot k \cdot T}} = 3 \cdot 10^{19}/\mathrm{cm}^3 \cdot e^{-\frac{1{,}12\,\mathrm{eV}}{2 \cdot 8{,}63 \cdot 10^5\,\mathrm{eV/K} \cdot (273{,}15\,\mathrm{K} + 100\,\mathrm{K})}} = \underline{84 \cdot 10^{10}/\mathrm{cm}^3}$$

b) Ursache für den Diffusionsstrom ist ein Konzentrationsgefälle von Ladungsträgern; er wird unterstützt durch die thermische Bewegung des Gitters. Ursache des Feldstroms oder Driftstroms ist ein elektrisches Feld, das die geladenen Teilchen beschleunigt. Die Gitterbewegung verringert die Beweglichkeit der Ladungsträger und reduziert damit den Feldstrom.

Aufgabe 3.2: pn-Übergang

a) Elektronen strömen aufgrund des Konzentrationsgefälles als Diffusionsstrom vom n- ins p-Gebiet und hinterlassen im n-Gebiet positiv geladene Donatoratome. Sobald die Elektronen im p-Gebiet ankommen, fallen sie dort in die Löcher, wodurch ortsfeste negative Ladungen entstehen. Aufgrund der Raumladungen entsteht ein elektrisches Feld, das Elektronen als Feldstrom wieder zurück ins n-Gebiet treibt. Nach einer Weile stellt sich ein Gleichgewicht zwischen Diffusions- und Feldstrom ein, so dass eine Raumladungszone entstanden ist.

b) Siehe Bild 3.16.

c) $$U_\mathrm{D} = \frac{\Delta W_\mathrm{G}}{q} - \frac{k \cdot t}{q} \cdot \ln \frac{N_0^{\,2}}{N_\mathrm{D} \cdot N_\mathrm{A}} = \frac{\Delta W_\mathrm{G}}{q} - U_\mathrm{D} \cdot \ln \frac{N_0^{\,2}}{N_\mathrm{D} \cdot N_\mathrm{A}}$$

$$= 1{,}12\,\mathrm{V} - 0{,}026\,\mathrm{V} \cdot \ln \frac{(3 \cdot 10^{19}/\mathrm{cm}^3)^2}{5 \cdot 10^{16}/\mathrm{cm}^3 \cdot 10^{18}/\mathrm{cm}^3} = \underline{0{,}865\,\mathrm{V}}$$

Aufgabe 3.3: Lichtabsorption in Halbleitern

a) Bei der Eindringtiefe $x = x_\mathrm{E}$ ist die Anfangs-Bestrahlungsstärke E_1 auf E_1/e abgefallen. Daher gilt:

$$E(x = x_\mathrm{E}) = E_1 \cdot e^{-\alpha \cdot x_\mathrm{E}} \overset{!}{=} E_1 / e = E_1 \cdot e^{-1} \quad \Rightarrow \quad -\alpha \cdot x_\mathrm{E} = -1 \quad \Rightarrow \quad \underline{x_\mathrm{E} = \frac{1}{\alpha}}$$

b) Mit Gleichung (3.1) und (3.2) folgt:

$$W_\mathrm{Ph} = \frac{h \cdot c_0}{\lambda} = \frac{6{,}6 \cdot 10^{-34}\,\mathrm{Ws}^2 \cdot 3 \cdot 10^8\,\mathrm{m/s}}{560 \cdot 10^{-9}\,\mathrm{m}} = 3{,}536 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{Ws} = \frac{3{,}536 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{Ws} \cdot q}{1{,}6 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{As}} = \underline{2{,}21\,\mathrm{eV}}$$

c) Abgelesen aus Bild 3.22:

c-Si: $\alpha(W_\mathrm{Ph} = 2{,}21\,\mathrm{eV}) = 6 \cdot 10^3/\mathrm{cm} \Rightarrow X_\mathrm{E} = 1/\alpha = \underline{1{,}67\,\mu\mathrm{m}}$

a-Si: $\alpha(W_\mathrm{Ph} = 2{,}21\,\mathrm{eV}) = 7 \cdot 10^4/\mathrm{cm} \Rightarrow X_\mathrm{E} = 1/\alpha = \underline{0{,}14\,\mu\mathrm{m}}$

Aufgabe 3.4: Antireflexschichten

a) $R = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2 = \left(\frac{1 - 4{,}6}{1 + 4{,}6} \right)^2 = 0{,}413$

Von den einfallenden 500 W/m² werden 41,3 % reflektiert, also E_R = 206,5 W/m².

b) Optimaler Brechungsindex: $n_S = \sqrt{n_1 \cdot n_2} = \sqrt{1 \cdot 4{,}6} = \underline{2{,}145}$;

Optimale Schichtdicke: $d = \frac{\lambda}{4 \cdot n_S} = \frac{600 \text{ nm}}{4 \cdot 2{,}145} = 69{,}9 \text{ nm} \approx 70 \text{ nm}$

c) Schichtdicke: $d = \frac{\lambda}{4 \cdot n_S} = \frac{600 \text{ nm}}{4 \cdot 2{,}0} = 75 \text{ nm}$

Verbleibender Reflexionsfaktor: $R = \left(\frac{n_S^2 - n_1 \cdot n_2}{n_S^2 + n_1 \cdot n_2} \right)^2 = \left(\frac{2^2 - 1 \cdot 4{,}6}{2^2 + 1 \cdot 4{,}6} \right)^2 = 0{,}487 \text{ \%} \approx 0{,}49 \text{ \%}$