

Blatt 4

Aufgabe 1) Driftstrom in einem dotierten Halbleiter

Wir betrachten ein Halbleiterstäbchen aus Silizium der Länge $l = 8 \mu\text{m}$. Die Stirnflächen haben die Dimensionen $3 \mu\text{m} \times 4 \mu\text{m}$. Der Halbleiter sei mit $2.5 \cdot 10^{16} \text{cm}^{-3}$ Bor-Atomen und mit $2 \cdot 10^{16} \text{cm}^{-3}$ Arsen-Atomen dotiert. Die effektive Masse der Elektronen und Löcher sei $0.33 \cdot m_0$ und $0.56 \cdot m_0$, wobei m_0 die freie Elektronenmasse ist. Es gilt Störstellenerschöpfung. Die Bandlücke ist $W_g = 1.12 \text{ eV}$, die Temperatur $T = 300 \text{ K}$.

- Bestimmen Sie die Ladungsträgerkonzentrationen für die Elektronen und Löcher. Berechnen Sie dazu die äquivalenten Zustandsdichten und bestimmen Sie daraus n_i .
- Zeichnen Sie das Banddiagramm mit Fermi-Niveau und schätzen Sie ab, ob die Annahme von Störstellenerschöpfung gerechtfertigt ist. Entnehmen Sie die Werte für die Störstellenniveaus aus dem Skript.

Es wird nun eine Spannung $U = 60 \text{ V}$ zwischen den Stirnflächen angelegt.

- Bestimmen Sie die Driftgeschwindigkeiten der Elektronen und Löcher. Prüfen Sie dabei, ob die Geschwindigkeiten sich in der Nähe der Sättigungsdriftgeschwindigkeiten bewegen. Entnehmen Sie die dafür benötigten Zahlenwerte aus dem Skript.
- Welcher Gesamtstrom fließt durch das Stäbchen?

Aufgabe 2) Ladungsträger-Transport

Ein nicht geerdetes n-dotiertes Silizium-Bauteil ($n_i = 1.5 \cdot 10^{10} \text{cm}^{-3}$, $n_D = 2 \cdot 10^{15} \text{cm}^{-3}$, $\mu_p = 460 \text{cm}^2/\text{Vs}$, $\mu_n = 1350 \text{cm}^2/\text{Vs}$) werde einmal kurz einem Lichtimpuls ausgesetzt. Der Lichtblitz generiert eine Überschusssträgerdichte von $n' = p' = 10^{10} \text{cm}^{-3}$, welche sich gleichmäßig über das ganze Bauteil verteilt. Die Dauer des Lichtblitzes sei sehr kurz und ist zu vernachlässigen. Es gilt Störstellenerschöpfung.

- Handelt es sich hier um „schwache Injektion“ (*low-level injection*) oder „Hochinjektion“ (*high-level injection*)?
- Wie groß ist die relative Leitfähigkeitsänderung der Probe unmittelbar nach dem Lichtblitz? Geben Sie einen formalen Ausdruck sowie einen numerischen Wert an.
- Im Halbleiter werden zunächst strahlende Prozesse betrachtet, die durch eine Netto-Rekombination $r_{sp} - g_s = B \cdot n_n p_n - B \cdot n_i^2$ beschrieben werden. Zeigen Sie, dass das Abklingen der Überschussladungsträgerdichte im vorliegenden Fall durch eine Lebensdauer beschrieben werden kann in der Form $r_{sp} - g_s = \frac{p'}{\tau_{sp}}$
- Der Halbleiter soll zusätzlich tiefe Störstellen aufweisen, über die Shockley-Read-Hall Rekombination stattfindet. In diesem Fall ist die Netto-Rekombinationsrate gegeben

$$\text{durch } r_t - g_t = \frac{n_n \cdot p_n - n_i^2}{(n_n + n'_{th})\tau_p + (p_n + p'_{th})\tau_n}$$

wobei die Hilfsgrößen n_{th}' und p_{th}' gegeben sind durch $n_{th}' = n_{th} \exp\left(\frac{W_T - W_F}{kT}\right)$ und

$p_{th}' = p_{th} \exp\left(\frac{W_F - W_T}{kT}\right)$. Vereinfachen Sie den Ausdruck für den vorliegenden Fall und

unter der Annahme $W_F - W_T = 10 kT$ und zeigen Sie, dass sich die Rekombinationsrate

schreiben lässt als $r_t - g_t = \frac{p'}{\tau_{SRH}}$

- e) Schreiben Sie nun die Differentialgleichung auf, welche benötigt wird, um den zeitlichen Verlauf der Überschuss-Ladungsträgerkonzentration zu berechnen und geben Sie die formale Lösung der Differentialgleichung an. Berücksichtigen Sie dabei sowohl nicht-strahlende (Shockley-Read-Hall, Lebensdauer τ_{SRH}) als auch strahlende Prozesse (spontane Emission, Lebensdauer τ_{sp}).
- f) Skizzieren Sie die Entwicklung der Überschuss-Ladungsträgerkonzentrationen in der Probe als Funktion der Zeit. Skizzieren Sie außerdem qualitativ den zeitlichen Verlauf der Überschuss-Ladungsträgerkonzentration für den Fall, dass ein zweiter Lichtblitz auf die Probe trifft, bevor die Überschussladungsträger abgeklungen sind.