

Übungsblatt zur Vorlesung Einführung und Grenzflächenaspekte der Photovoltaik

PD Dr. Thomas Dittrich, PD Dr. Thomas Hannappel,
Dipl.-Ing. Julian Tornow



Übungsblatt 4

Aufgabe 1 (5 Punkte)

- In welche vier Gruppen lassen sich die Verluste einer Solarzelle einteilen? Erläutere knapp die Mechanismen.
- Benenne und erläutere kurz die drei wesentlichen Rekombinationsmechanismen, die in der Solarzelle eine Rolle spielen.

Aufgabe 2 (6 Punkte)

Die Rekombination in einem indirekten Halbleiter mit $E_G = 1.1$ eV erfolgt im wesentlichen durch den Shockley-Read-Hall-Mechanismus. Dabei ist die Rekombinationsrate R :

$$R = \frac{np - n_i^2}{\tau_{p0}(n + n_1) + \tau_{n0}(p + p_1)}$$

n , p sind die Elektronen- bzw. Löcherkonzentrationen, n_i die intrinsische Ladungsträgerkonzentration, τ_{n0} und τ_{p0} die Lebensdauer der Elektronen und Löcher. n_1 und p_1 sind gegeben durch:

$$n_1 = N_C \exp\left(-\frac{E_C - E_r}{kT}\right) \quad \text{und} \quad p_1 = N_V \exp\left(-\frac{E_r - E_V}{kT}\right)$$

- Die Lebensdauer der Elektronen kann berechnet werden durch den Wirkungsquerschnitt σ_e (10^{-15} cm²), die thermische Geschwindigkeit v_{th} (10^7 s⁻¹cm) und die Störstellenkonzentration N_t durch $\tau_{n0} = (\sigma_e v_{th} N_t)^{-1}$. Berechne die Lebensdauer für eine Störstellenkonzentration von 10^{12} und 10^{14} cm⁻³.
- Nehme eine durch Licht induzierte Überschussladungsträgerkonzentration von 10^{18} cm⁻³ an. Nehme an, dass $N_t = 10^{12}$ cm⁻³ und $\tau_{n0} = \tau_{p0}$. Die effektiven Zustandsdichten sind: $N_C = N_V = 10^{19}$ cm⁻³. Nimm nun Störstellen mit der energetischen Lage 100 meV unterhalb E_C , 500 meV unterhalb E_C bzw. 100 meV oberhalb E_V an und berechne die Rekombinationsrate für die drei verschiedenen Störstellen.

Aufgabe 3 (4 Punkte + 6 Punkte Bonus)

Wie aus der Vorlesung bekannt ist, lässt sich die ideale Diode mit der Diodengleichung beschreiben. Ziel dieser Übung ist es den Sperrsättigungsstrom j_0 zu berechnen. Es wird dazu angenommen, dass in der Raumladungszone weder Generation noch Rekombination von Ladungsträgern erfolgt, damit sind die Stromdichten hier konstant (vgl. Abb. 1)

- Betrachte zunächst nur den Elektronenstrom im p-Halbleiter außerhalb der Raumladungszone. Der Stromfluß erfolgt hier ausschließlich durch Diffusion. Die ortsabhängige Änderung der Stromdichte j_n wird beschrieben durch die zeitliche Änderung

der Ladungsträgerkonzentration n und durch die Rekombination der Überschussladungsträger Δn_p , wobei τ_n die Minoritätslebensdauer ist

$$\frac{dj_n}{dx} = q \frac{dn}{dt} + q \frac{\Delta n_p}{\tau_n}$$

Zeige, dass sich die Überschussladungsträgerdichte im stationären Zustand durch folgende Differentialgleichung bestimmen lässt:

$$D_n \frac{d^2 \Delta n_p}{dx^2} = \frac{\Delta n_p}{\tau_n}$$

b) Die Elektronenkonzentration n_p am Rand der Raumladungszone $-x_p$ im p-Gebiet beträgt

$$n_p(-x_p) = n_{p0} \exp\left(\frac{qU_{ext}}{kT}\right)$$

hierbei ist n_{p0} die Gleichgewichtskonzentration der Elektronen und U_{ext} die angelegte Spannung. Löse die Differentialgleichung aus Aufgabenteil a) unter Berücksichtigung dieser Randbedingung.

c) Gib die Elektronenstromdichte bei $-x_p$ an. Die Löcherstromdichte bei x_n ist völlig analog.

Die Gesamtstromdichte ist die Summe aus Elektronen- und Löcherstromdichte. Da die Stromdichten in der Raumladungszone konstant sind und

$$\frac{dj(x)}{dx} = 0 \quad (\text{Kirchhoff'sche Knotenregel}),$$

sowie $L = (D\tau)^{1/2}$ gilt die Diodengleichung (wird in der Übung vorgerechnet)

$$j = j_n(-x_p) + j_p(x_n) = q \underbrace{\left[\frac{D_n}{L_n} n_{p0} + \frac{D_p}{L_p} p_{n0} \right]}_{j_0} \left[\exp\left(\frac{qU_{ext}}{kT}\right) - 1 \right]$$

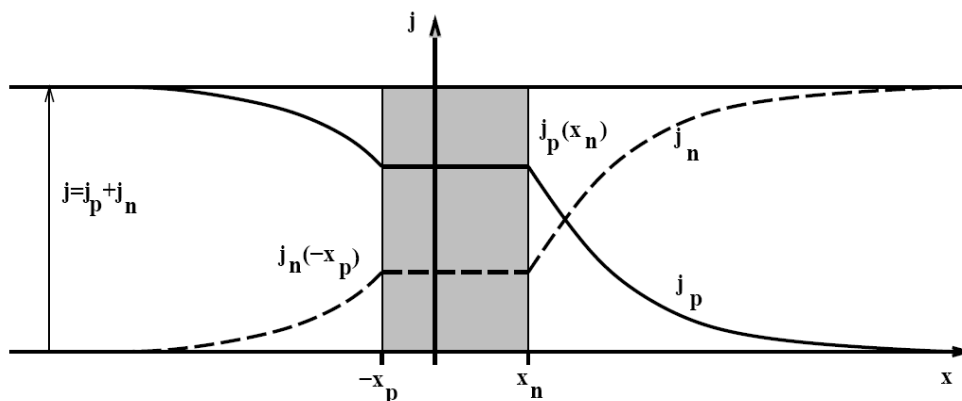


Abb. 1: Verlauf des Elektronen- und Löcherstroms im p- und n-Gebiet sowie in der Raumladungszone