

Übungsblatt 9

Aufgabe 1) p-i-n-Diode

Eine p-i-n-Fotodiode besteht aus einem $w_i = 10 \mu\text{m}$ langen undotierten Gebiet, das sich zwischen einem p- und n-Gebiet von jeweils 500 nm Länge befindet, siehe Figur 1. Die Akzeptor- und Donorkonzentrationen im p- und n-Gebiet sind $n_D = n_A = 5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$. Die Eigenleitungsträgerdichte ist $n_i = 1,5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ und es gilt Störstellenerschöpfung. Der Einfluss der Metallkontakte ist vernachlässigbar. Für die RLZ in den dotierten Bereichen kann die Schottky-Näherung angenommen werden. Die Dielektrizitätskonstante des Halbleiters ist $\epsilon_r = 12$, und der Betrieb sei bei Raumtemperatur $T = 300 \text{ K}$.

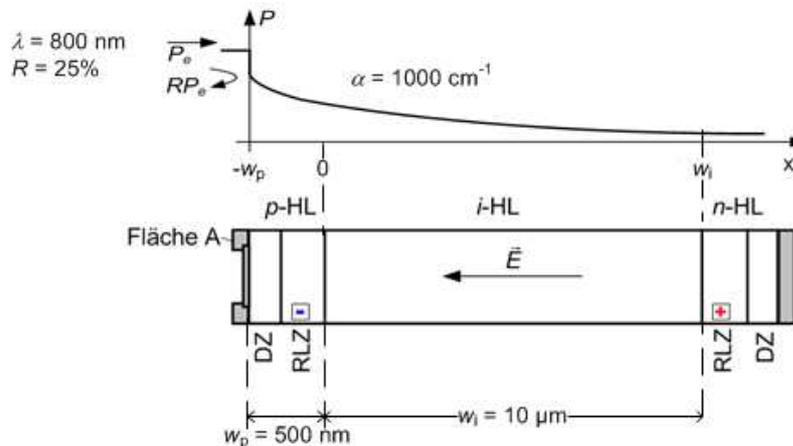


Fig 1: p-i-n-Diode. Oben: Optischer Leistungsabfall über die Tiefe. Unten: Querschnittszeichnung der p-i-n-Diode.

- Berechnen Sie die Diffusionsspannung zwischen n- und p- Gebiet.
- Leiten Sie einen formalen Ausdruck für den Verlauf des elektrischen Feldes über der Ortskoordinate x ($x = 0$ sei am p-i-Übergang) her. Verwenden Sie dabei die zunächst noch unbekannt Parameter l_n und l_p für die Ausdehnungen der Raumladungszone im n- und p-Bereich. Skizzieren Sie den Verlauf des elektrischen Feldes als Funktion des Ortes x .
- Berechnen Sie die Ausdehnungen l_n und l_p der beiden Raumladungszonen in die dotierten Bereiche. Verwenden Sie dazu die in Aufgabenteil a) berechnete Diffusionsspannung U_D . Wie groß ist die maximal auftretenden Feldstärke E_{max} ?
- Welcher Vorteil ergibt sich für die p-i-n-Diode als Fotodiode gegenüber einer p-n-Diode ohne i-Schicht?

In der undotierten Zone werden durch Lichteinstrahlung mit einer externen Lichtleistung von $P_e = 100 \mu\text{W}$ bei einer Wellenlänge von $\lambda = 800 \text{ nm}$ Ladungsträgerpaare erzeugt, so dass sich ein stationärer Strom I_P im Außenkreis einstellt. Der Absorptionskoeffizient des Materials beträgt $\alpha = 1000 \text{ cm}^{-1}$ und der Leistungsreflektionsfaktor an der Oberfläche des Halbleiters beträgt $R = 25\%$.

- Berechnen Sie den Quantenwirkungsgrad $\eta = \frac{|I_P|/e}{P_e/hf}$ und die Empfindlichkeit

(Responsivity) $\mathfrak{R} = \frac{|I_P|}{P_e}$ der Photodiode. Nehmen Sie dazu an, dass jedes im Innern des

Halbleiters absorbierte Photon ein Elektron-Loch-Paar erzeugt, das zum Photostrom beiträgt. Welcher Strom stellt sich bei einer einfallenden Leistung von $P_e = 100 \mu\text{W}$ ein?

Aufgabe 2) Varaktordiode

Varaktordioden werden als variable Kapazitäten in HF-Schaltungen eingesetzt. Dabei lässt sich der funktionale Zusammenhang zwischen angelegter Spannung und HF-Kapazität durch das Dotierprofil einstellen. Im vorliegenden Fall soll eine einseitig abrupt dotierte n+p-Siliziumdiode mit hoher räumlich konstanter n-Dotierung und geringerer, räumlich variabler p-Dotierung betrachtet werden. Das Dotierprofil sei gegeben durch:

$$n_D - n_A = \begin{cases} n_D & x < 0 \\ -K \cdot \delta^{-3/2} & 0 \leq x \leq \delta \\ -K \cdot x^{-3/2} & \delta < x \end{cases}$$

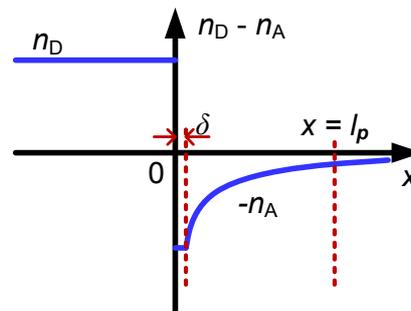


Fig. 2: Dotierprofil der Varaktor Diode

Die Diode sei in Sperrrichtung vorgespannt. Die Raumladungszone im p-dotierten Gebiet erstreckt sich bis zu $x = l_p$, wobei $l = l_n + l_p$ die Länge der gesamten Raumladungszone bezeichnet. Gehen Sie davon aus, dass die Länge l_n der RLZ im n^+ -Gebiet vernachlässigbar klein gegenüber der Länge $l_p \approx l \gg \delta$ im p-Gebiet ist. Verwenden Sie im Folgenden die Schottky-Näherung und gehen Sie davon aus, dass Störstellenerschöpfung gilt.

- Bestimmen Sie die ortsabhängige Feldstärke $E(x)$ im Bereich $\delta < x \leq l$. Nutzen Sie dabei die Tatsache, dass das E-Feld außerhalb der Raumladungszone verschwindet, d.h. $E(x) = 0$ für $x > l$.
- Bestimmen Sie das ortsabhängige elektrische Potential $\varphi(x)$ im Bereich $\delta < x \leq l$. Es soll $\lim_{\delta \rightarrow 0} \varphi(\delta) = 0$ gelten. Zeigen Sie, dass für das Potential $\varphi(l)$ am rechten Rand folgende Beziehung gilt:

$$\varphi(l) = -\frac{2eK}{\epsilon_0 \epsilon_r} \sqrt{l}$$

- Das Potential am rechten Rand der Raumladungszone entspricht der Differenz zwischen der angelegten Spannung U und der Diffusionsspannung U_D , $\varphi(l) = U - U_D$. Berechnen Sie daraus die Sperrschichtkapazität $C_s = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{l}$ in Abhängigkeit von $U_D - U$.
- Berechnen Sie die Resonanzfrequenz eines Reihenschwingkreises bestehend aus einer Induktivität L und einer in Sperrrichtung vorgespannten Varaktordiode mit der Sperrschichtkapazität C_s in Abhängigkeit von $U_D - U$.