

Übungsblatt 11

Aufgabe 1) IMPATT-Diode

Eine Lawinenlaufzeitdiode aus Silizium ($\epsilon_r = 12$) besitzt eine n^+ -p-i- p^+ -Struktur, siehe Fig. 1. Die Länge der p-Zone, $x_1 - x_0$ beträgt 500 nm. IMPATT Dioden können bei einer bestimmten Frequenz und in einem bestimmten Arbeitspunkt einen negativen Realteil der komplexen Impedanz aufweisen und damit zum Entdämpfen von Hochfrequenz-Oszillatoren verwendet werden. Im Arbeitspunkt müssen folgende Voraussetzungen erfüllt werden:

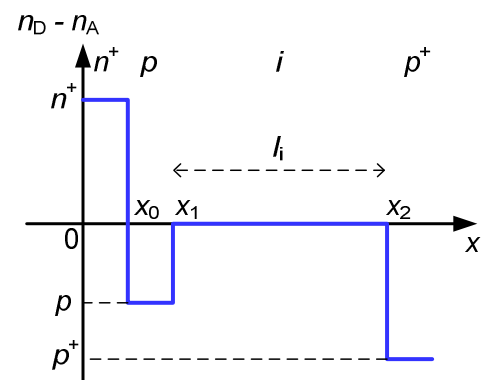


Fig. 1

i) An der Stelle x_0 muss die elektrische Feldstärke den zur Lawinenmultiplikation notwendigen Wert von $E(x_0) = 4 \cdot 10^5$ V/cm erreichen.

ii) In der i-Zone muss die elektrische Feldstärke mindestens den zur Aufrechterhaltung einer gesättigten Ladungsträgersgeschwindigkeit von $v_s = 10^7$ cm/s erforderlichen Wert $E(x_1) = 5 \cdot 10^4$ V/cm erreichen.

iii) Die Laufzeit τ der Ladungsträger in der i-Zone muss gleich der halben Periodendauer der Schwingungen sein, die der Oszillator erzeugen soll. Die Zone bei x_0 , in der die Multiplikation erfolgt, sei vernachlässigbar kurz gegen die Länge der p-Zone.

- Wie lang muss $l_i = x_2 - x_1$ (undotierte Driftzone) sein, um einen Oszillator bei 10 GHz zu entdämpfen?
- Wie stark muss die p-Zone dotiert sein, damit im Arbeitspunkt die Feldstärke E_0 bei x_0 und die Feldstärke E_1 bei x_1 herrscht? Nehmen Sie an, dass keine freien Ladungsträger in der p-Zone existieren und Störstellenerschöpfung vorliegt.
- Wie groß ist die Spannung U_c an der RLZ, bei der gerade Multiplikation bei x_0 einsetzt? Vernachlässigen Sie den Spannungsabfall in der n^+ - und p^+ -Zone sowie die Diffusionsspannung.

Aufgabe 2) Transistor

Betrachten Sie einen npn-Transistor, Fig. 1, aus Silizium, der in Emitter, Basis und Kollektor jeweils die folgenden Dotierdichten aufweist:

$n_{DE} = 3 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, $n_{DC} = 5 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$,
 $n_{AB} = 1 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$. Die aktive Querschnittsfläche des pn-Übergangs ist $A = 10^{-4} \text{ cm}^2$, die physikalische Weite der Basis ist $w_B = 0,1 \text{ } \mu\text{m}$ und die Länge des Emitters beträgt $l_E = 0,1 \text{ } \mu\text{m}$. Die Diffusionslängen im Kollektor, Emitter und der Basis sind gegeben durch $L_{pC} = L_{pE} = 30 \text{ } \mu\text{m}$ und $L_{nB} = 50 \text{ } \mu\text{m}$, und die entsprechenden

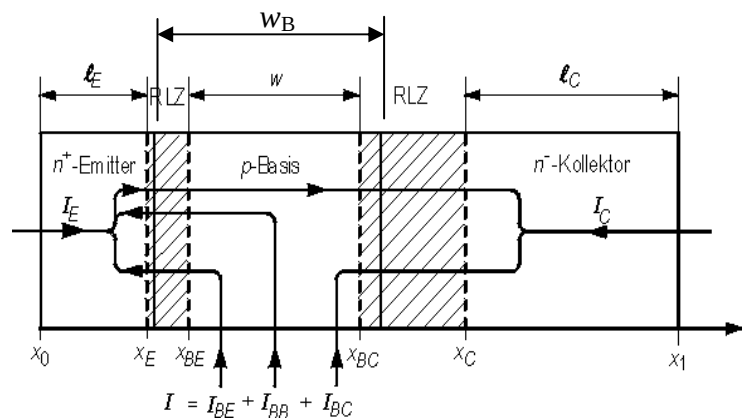


Fig. 2: npn-Transistor

Minoritätslebensdauern

betragen $\tau_{pC} = 10^{-5} \text{ s}$, $\tau_{pE} = 10^{-6} \text{ s}$ und
 $\tau_{nB} = 10^{-5} \text{ s}$.

Weiterhin herrscht Raumtemperatur ($U_T = 25,8 \text{ mV}$), die intrinsische Ladungsträgerdichte beträgt $n_i = 1,5 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ und die relative Dielektrizitätszahl in Silizium ist $\epsilon_r = 12$. Verwenden Sie im Folgenden die Schottky-Näherung und gehen Sie davon aus, dass Störstellenerschöpfung vorliegt.

- Skizzieren Sie für $U_{EB} = U_{CB} = 0$ den Verlauf der Raumladung und des E -Feldes sowie das Banddiagramm. Wie weit erstrecken sich die Emitter- und Kollektorseitigen RLZ in die Basis? Berechnen Sie die effektive Weite w der Basis.
- An den Transistor werden jetzt die Spannungen $U_{EB} = -0,75 \text{ V}$ und $U_{CB} = 1 \text{ V}$ angelegt. Berechnen Sie die Länge der Raumladungszonen und skizzieren Sie das Banddiagramm inklusive der Quasi-Ferminiveaus. Skizzieren Sie qualitativ den Verlauf der Trägerdichten außerhalb der Raumladungszonen.
- Berechnen Sie den Kollektorstrom I_C .

Aufgabe 3) Transistor: Rekombination in der Basis

Betrachten Sie einen npn-Transistor im Vorwärtsbetrieb. Ein wichtiges Designziel besteht darin, den Anteil der in der Basis rekombinierenden Minoritätsträger möglichst gering zu halten. Dies kann erreicht werden indem die Basisbreite wesentlich kleiner als die Diffusionslänge der Minoritäten gewählt wird. Im vorliegenden Fall soll das Bauteil so ausgelegt werden, dass maximal 1% der in die Basis injizierten Minoritätsträger durch Rekombination auf dem Weg zum Kollektor verloren gehen, das heißt, der Rekombinationsstrom in der Basis darf höchstens 1% vom Emitter in die Basis injizierten Minoritätsträger-Diffusionsstrom betragen. Berechnen Sie dafür das maximal zulässige Verhältnis von Basisweite w und Diffusionslänge L_{nB} der Minoritätsträger in der Basis. Benutzen Sie die Verhältnisse $U_{BE}/U_T \gg 1$ und $U_{CB}/U_T \gg 1$, und verwenden Sie sinnvolle Näherungen.