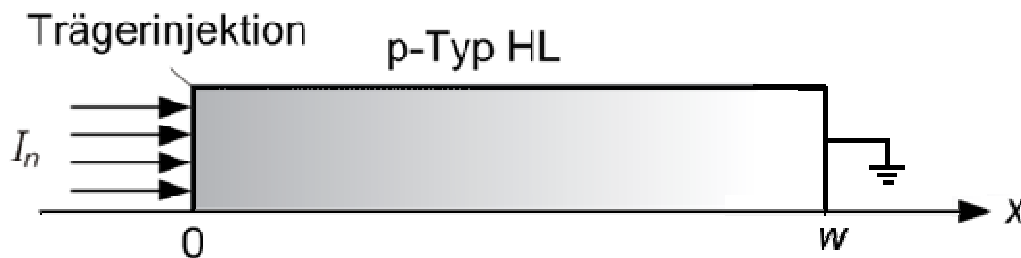


Übungsblatt 7

Aufgabe 1) Diffusionskapazität

Gegeben ist ein Siliziumstab der Länge w und Stirnfläche $A = 10 \mu\text{m}^2$ bei Raumtemperatur $T = 300 \text{ K}$. Er ist p-dotiert mit einer Dichte von $n_A = 1 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, die Eigenleitungsdichte beträgt $n_i = 1.5 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ und die relative Permittivität ist $\epsilon_r = 12$. An der Stelle $x = 0$ werden von links Minoritätsträger injiziert, so dass am Rand des Stabes eine Elektronen-Überschusssträgerdichte $n'_p(0) = 1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ entsteht. Auf der gegenüberliegenden Seite bei $x = w$ ist der Stab geerdet, so dass dort Löcher nachfließen können, welche die Ladung der Elektronen kompensieren. Es gilt Störstellenerschöpfung, die Minoritätsträgerlebensdauer ist $\tau = 10 \text{ ns}$ und die Diffusionskonstante beträgt $D_n = 23 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$.



- Berechnen und skizzieren Sie den räumlichen Verlauf der Überschussminoritätsträgerdichte $n'_p(x)$ für ein Bauteil der Länge $w = 50 \mu\text{m}$. Prüfen Sie zunächst, ob eine lange oder kurze Diffusionszone vorliegt
- Berechnen Sie die Debye-Länge im Halbleiter und beschreiben Sie den räumlichen Verlauf der Überschussmajoritätsträgerdichte $p'_p(x)$. Begründen Sie Ihr Vorgehen.
- Aufgrund der injizierten Minoritätsträger liegt kein thermisches Gleichgewicht vor und die Verteilung der Elektronen und Löcher muss nun durch Quasi-Ferminiveaus beschrieben werden. Berechnen Sie den energetischen Abstand eU der Quasi-Ferminiveaus an der Stelle $x = 0$, wobei U die mit der Trägerinjektion verknüpfte äquivalente Spannung bezeichnet. Bei einem pn-Übergang entspricht die äquivalente Spannung gerade der an den Übergang angelegten technischen Spannung.
- Berechnen Sie den Verlauf der Elektronenstromdichte $J_n(x)$.
- Berechnen Sie die spannungsabhängige Ladung $Q(U)$, die in der Diffusionszone in Form von Überschussminoritätsträgern gespeichert ist. Betrachten Sie einen festen Arbeitspunkt $U = U_0$ der äquivalenten Spannung und berechnen Sie die Änderung ΔQ der in der Diffusionszone gespeicherten Ladung für kleine Spannungsänderungen ΔU . Linearisieren Sie dazu die Beziehung $Q(U)$ im Arbeitspunkt U_0 . Vergleichen Sie den Quotienten $\frac{\Delta Q}{\Delta U}$ nun mit der im externen Stromkreis wirksamen Diffusionskapazität C_D , wie sie in den Vorlesungsfolien beschrieben ist. Wie ist es zu erklären, dass der aus der internen Ladungsänderung hergeleitete Ladungs-Spannungs-Quotient doppelt so groß ist wie die Diffusionskapazität C_D , die sich auf den externen Ladungsfluss bezieht?

Bitte wenden →

Aufgabe 2) pn-Übergang

Gegeben ist eine pn-Diode, deren p-Seite mit einer Akzeptorendichte von $n_A = 11 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ und deren n-Seite mit einer Donatorendichte von $n_D = 6 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ dotiert sind. Das gesamte Bauteil ist aus Silizium ($n_i = 1,5 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$, $\epsilon_r = 12$) gefertigt und wird bei Raumtemperatur ($T = 300\text{K}$) betrieben. Es gelten Störstellenerschöpfung und Schottky-Näherung.

- Berechnen Sie die Diffusionsspannung U_D , die sich zwischen p- und n-Gebiet einstellt.
- Skizzieren Sie den Verlauf der Raumladungsdichte $\rho(x)$ unter der Annahme der Schottky-Näherung. Berechnen Sie den Verlauf des elektrischen Feldes $E(x)$, wobei Sie für die Ausdehnungen der Raumladungszone (RLZ) in das p- und n-Gebiet zunächst die unbekannten Größen l_p und l_n annehmen. Berechnen Sie aus der elektrischen Feldstärke das Potential $\varphi(x)$. Gehen Sie davon aus, dass der Potentialnullpunkt bei $x = -l_p$ liegt und dass dort auch das elektrische Feld verschwindet. Beachten Sie, dass sowohl das elektrische Feld als auch das Potential bei $x = 0$ stetig sein müssen.
- Die Potentialdifferenz zwischen p- und n-Gebiet muss gerade U_D betragen. Berechnen Sie daraus die Gesamtlänge l der Raumladungszone und ihre jeweilige Ausdehnung in die n- und p-Halbleiter.
- Skizzieren Sie das Banddiagramm für den Fall des thermischen Gleichgewichts. Dieses sollte die Fermi-Energie W_F und den Verlauf der Bandkanten $W_{L,V}(x)$ enthalten.
- Die Diode wird nun mit einer Spannung von $U = -5\text{V}$ betrieben (Sperrrichtung). Wie groß ist die RLZ jetzt? Skizzieren Sie das Banddiagramm im Sperr-Betrieb und beschreiben Sie den Unterschied zu Ihrer Zeichnung aus d). Zeichnen Sie die Quasi-Fermi-Niveaus W_{Fn} und W_{Fp} sowie die äußere Spannung U ein.
- Die Diode wird mit einer Spannung $U = +0,6\text{V}$ betrieben (Flussrichtung). Wie groß ist die RLZ jetzt? Skizzieren Sie wiederum das Banddiagramm. Beschreiben Sie den Unterschied zu Ihrer Zeichnung aus d). Zeichnen Sie die Quasi-Fermi-Niveaus W_{Fn} und W_{Fp} sowie die äußere Spannung U ein.