

## Übungsblatt 7

### Aufgabe 1) pn-Übergang

Gegeben sei eine pn-Diode, deren p-Seite mit  $n_A = 11 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  und deren n-Seite mit  $n_D = 6 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  dotiert sind. Das gesamte Bauteil ist in Si ( $n_i = 1,5 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ ;  $\epsilon_r = 12$ ) 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  $\varphi(x)$ .
- 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.

### Aufgabe 2) pn-Diode

Eine ideale, lange pn-Siliziumdiode ist auf der n-Seite ( $x \geq 0\mu\text{m}$ ) mit  $n_D = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ , auf der p-Seite mit  $n_A = 5 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  mit abruptem Übergang bei  $x = 0\mu\text{m}$  dotiert. Die Eigenleitungsträgerdichte beträgt  $n_i = 1,5 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ , die Dielektrizitätskonstante  $\epsilon_r = 12$ , die Minoritätsträgerlebensdauern sind  $\tau_n = \tau_p = 0,01\mu\text{s}$ , die Diffusionskonstanten betragen  $D_n = 23 \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$  und  $D_p = 12 \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$ . Führen Sie alle Rechnungen in eindimensionaler Näherung bei  $T = 300\text{K}$  unter der Annahme von Störstellenerschöpfung durch.

- Berechnen Sie Diffusionsspannung  $U_D$  und die Gesamtlänge  $l$  der RLZ ohne angelegte Spannung. Nehmen Sie hier Schottky-Näherung an.
- Die Diode wird nun mit einer Durchlass-Spannung von  $U = 0,61\text{V}$  betrieben. Berechnen Sie die Minoritätsträgerdichten an den Rändern der Raumladungszone. Skizzieren Sie den Verlauf der Minoritätsträgerdichten außerhalb der RLZ.

- c) Berechnen Sie die Position  $x_{n,BG}$ , bei der im n-dotierten Teil der Diode das n-Bahngebiet beginnt. Der Beginn des Bahngebietes ist so definiert, dass die Überschuss-Minoritätsträgerdichte  $p'$  an dieser Position genau den Wert der ungestörten Minoritätsträgerdichte  $p_{n0}$  annimmt. Vergleichen Sie die Länge des Diffusionsgebiets mit der Länge der RLZ.
- d) Berechnen Sie die stationäre Löcherverteilung  $p_n$  als Funktion von  $x$  in der RLZ des n-Gebietes. Nehmen Sie an, dass das Quasi-Fermi-Niveau  $W_{Fn}$  für Elektronen in der RLZ konstant ist und verwenden Sie den in der Vorlesung hergeleiteten Verlauf des Potentials  $\varphi(x)$ . Erläutern Sie, wie dieses Ergebnis mit den Annahmen der Schottky-Näherung in Einklang zu bringen ist.
- e) Skizzieren Sie die Löcherverteilung  $p_n(x)$  im gesamten n-Gebiet.
- f) Berechnen Sie die Löcherstromdichte und die Elektronenstromdichte bei  $x = 3\mu\text{m}$ .