Übungsblatt 8

Aufgabe 1) pn-Diode

Eine ideale, lange pn-Siliziumdiode ist auf der n-Seite ($x \geq 0\mu\text{m}$) mit einer Donatordichte von $n_D = 10^{18}\text{cm}^{-3}$ und auf der p-Seite mit Akzeptordichte $n_A = 5 \cdot 10^{18}\text{cm}^{-3}$ dotiert. Der pn-Übergang liegt bei $x = 0\mu\text{m}$ und kann als abrupt angenommen werden. Die Eigenleitungsträgerdichte beträgt $n_i = 1{,}5 \cdot 10^{10}\text{cm}^{-3}$, die Dielektrizitätskonstante $\varepsilon_r = 12$, die Minoritätsträgerlebensdauern sind $\tau_n = \tau_p = 1\,\mu\text{s}$, 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 = 300K und unter der Annahme von Störstellenerschöpfung durch.

a) Skizzieren Sie die Elektronen- und Löcherdichten n und p als Funktion des Ortes x über das gesamte Bauteil für die folgenden Fälle:
   i. Ohne externe angelegte Spannung U = 0 V.
   ii. Für eine extern angelegte Durchlassspannung $U > 0$, wobei $U < U_D$
   iii. Für eine extern angelegte Sperrspannung $U < 0$.

   Verwenden Sie für die Ordinate einen logarithmischen Maßstab.

Im Folgenden liegt eine Spannung von U = 0,61 V in Durchlassrichtung an.

b) Berechnen Sie Diffusionsspannung U_D und die Gesamtlänge l der Raumladungszone (RLZ) unter dem Einfluss der angelegten Vorwärtsspannung. Nehmen Sie hierzu die Schottky-Näherung an.
c) Berechnen Sie die Minoritätsträgerdichten an den Rändern der RLZ. Skizzieren Sie den Verlauf der Minoritätsträgerdichten außerhalb der RLZ.
d) Berechnen Sie die Position $x_{n,\text{BG}}$, bei der im n-dotierten Teil der Diode das n-Bahngebiet beginnt. Der Beginn des Bahngebietes ist so definiert, dass die Überschuss-Minoritätsträgerdichte $p_n'(x_{n,\text{BG}})$ an dieser Position genau den Wert der ungestörten Minoritätsträgerdichte p_{n0} annimmt. Vergleichen Sie die Länge des Diffusionsgebiets mit der Länge der RLZ.
e) Leiten Sie einen Ausdruck für die stationäre Löcherverteilung p_n als Funktion von x in der RLZ des n-Gebietes her. Nehmen Sie dazu an, dass die oben angegebene Vorwärtsspannung U = 0,61 V anliegt und, dass das Quasi-Fermi-Niveau W_{Fn} für Elektronen in der RLZ des n-Gebietes konstant ist. Verwenden Sie zur Herleitung 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.
f) Berechnen Sie die Löcherstromdichte J_p und die Elektronenstromdichte J_n bei $x = 30\mu\text{m}$ für den in Aufgabenteil b) angegebenen Vorwärtsbetrieb.

Bitte wenden →

Aufgabe 2) Durchbruchsmechanismen an pn-Übergängen

a) Welche Effekte bewirken den Durchbruch einer in Sperrrichtung gepolten Diode? Beschreiben Sie die physikalischen Ursachen dieser Effekte und geben Sie an, ob und in welcher Weise diese Durchbruchsmechanismen von der Feldstärke, der Weite der Raumladungszone und der Temperatur abhängen.

Bei pn-Übergängen in Silizium ($n_i = 1{,}5 \cdot 10^{10}\,\mathrm{cm}^{-3}$, $\varepsilon_r = 12$) kommt es typischerweise bei Feldstärken von ca. $E_Z = 5 \cdot 10^5$ V/cm zu einem Zenerdurchbruch. Im Folgenden soll ein pn-Übergang in Silizium betrachtet werden mit den Dotierungsdichten $n_A = 1 \cdot 10^{18}\,\mathrm{cm}^{-3}$ und $n_D = 1 \cdot 10^{18}\,\mathrm{cm}^{-3}$.

b) Berechnen Sie die Durchbruchspannung des Bauteils bei Raumtemperatur T = 300K unter der Annahme, dass tatsächlich ein Zenerdurchbruch vorliegt. Berechnen Sie für diese Spannung die Länge der RLZ.

c) Überprüfen Sie die Annahme aus Aufgabenteil b), ob es bei dieser Spannung tatsächlich zu einem Zenerdurchbruch und nicht etwa zu einem Lawinendurchbruch kommt. Der für den zusätzlichen Strom infolge von Ladungsträgergeneration durch Stoßionisation maßgebliche Faktor ist $F = \int_l \alpha(E(x))dx$. Für einen Lawinendurchbruch muss $F > 1$ gelten. Schätzen Sie das gegebene Integral F nach oben ab: Nehmen Sie dazu an, dass in der gesamten Raumladungszone ein konstantes Feld E_Z anliegt und beachten Sie nur die Ionisation durch Elektronen. Der Ionisationskoeffizient für Elektronen beträgt bei dieser Feldstärke $a_n(E_z) = 10^5\,\mathrm{cm}^{-1}$.

d) Mit der obigen Abschätzung liegt F nahe an eins. Erklären Sie unter Verwendung von Abb. 1, warum ein Lawinendurchbruch eindeutig ausgeschlossen werden kann (und somit ein Zenerdurchbruch vorliegt). Beachten Sie den realen (nicht konstanten) Verlauf des E-Feldes in der RLZ sowie Abhängigkeit des Ionisationskoeffizienten α von der Feldstärke. Begründen Sie außerdem, warum das Vorgehen aus Aufgabenteil c), nur die Ionisation durch Elektronen zu berücksichtigen, gerechtfertigt ist.

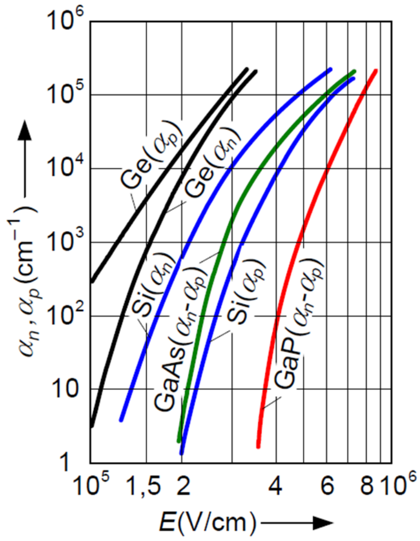

Abb. 1: Gemessene Ionisationskoeffizienten für Lawinenmultiplikation als Funktion der Feldstärke.
(aus Müller, R.: Grundlagen der Halbleiter-Elektronik, Springer, 1984)