

7. Klausurrechnen:

Clemens Helfmeier, Norbert Herfurth und Anne Beyreuther
Sprechstunde: Montag 10:30-11:30 Uhr im EN-132

Allen Berechnungen dieser Übung wird ein Si-Halbleiter mit folgenden, vereinfachten Materialparametern zugrunde gelegt:

| | | |
|--|--|--|
| Temperatur $T = 300 \text{ K}$ | Boltzmann-Konstante $k_B = 8,617 \cdot 10^{-5} \text{ eV/K}$ | Dielektrizitätskonstante $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ As/(Vm)}$ |
| effektive Zustandsdichten in Si $N_V, N_C = 1 \cdot 10^{19} / \text{cm}^3$ | | Bandlücke von Si $W_g = 1,12 \text{ eV}$ |
| rel. Dielektrizitätskonstante für Si $\epsilon_r = 11,7$ | Akzeptorkonzentration im p-Gebiet $N_A = 1 \cdot 10^{15} / \text{cm}^3$ | |
| Donatorkonzentration im n-Gebiet $N_D = 1 \cdot 10^{17} / \text{cm}^3$ | | Beweglichkeit der Elektronen $\mu_n = 1200 \text{ cm}^2 / (\text{Vs})$ |
| Beweglichkeit der Löcher $\mu_p = 400 \text{ cm}^2 / (\text{Vs})$ | Diffusionslängen von Elektronen und Löchern $L_n, L_p = 75 \text{ }\mu\text{m}$ | |
| Querschnittsfläche der Diode $A = 100 \text{ }\mu\text{m} \times 100 \text{ }\mu\text{m}$ | | |

7.1 Halbleiterphysik

7.1. Die Elektronenkonzentration n_p in einem p-dotierten Silizium Halbleiter beträgt $n_p = 1 \cdot 10^5 / \text{cm}^3$. Wie groß ist die Löcherkonzentration p_p für eine Temperatur von $T = 300 \text{ K}$? Geben Sie die zugehörige Bestimmungsgleichung an.

7.2. Geben Sie die vollständigen Strom- und Bilanzgleichungen für beide Ladungsträgertypen an!

7.3. Im Silizium ist die Beweglichkeit μ_n für Elektronen drei mal so groß, wie die Beweglichkeit für Löcher μ_p ($\mu_n = 3\mu_p$).

- Welche Ladungsträgerdichte muss eingestellt werden, damit die Leitfähigkeit im Gleichgewicht minimal ist?
- Wie groß ist das Verhältnis der minimalen Leitfähigkeit zur Leitfähigkeit im intrinsischen Halbleiter?
- Welcher Dotierstofftyp wäre im Fall der minimalen Leitfähigkeit nötig?

Zusatzaufgabe: Wie könnte man das Fermi-niveau und die Dotierstoffkonzentration anschließend bestimmen, wenn ein Dotierstoff mit einem Abstand von 100 meV zwischen Energieniveau des Dotierstoffes und der näheren Bandkante verwendet wird?

7.2 pn-Übergang

7.1. Zeichnen Sie das Energiebändermodell eines idealen pn-Übergangs. Achten Sie auf Achsenbeschriftung, die Bandkanten und die Fermi-Energie.

7.2. Der Verlauf der Ladungsträgerkonzentration der Minoritäten im p-Gebiet einer Diode sei gegeben durch:

$$\mathbf{n}_p(x) = n_{p0} + n_{p0} \left[\exp\left(\frac{U}{U_T}\right) - 1 \right] \exp\left(\frac{x + w_p}{L_n}\right) \quad (7.1)$$

- Wie lässt sich aus diesem Ansatz und dem in ähnlicher Form für das n-Gebiet zu berechnenden $\mathbf{p}_n(x)$ die Gesamtstromdichte der Diode, also die Kennliniengleichung berechnen? Machen Sie den Rechenweg deutlich und zeigen Sie als Ergebnis die Kennliniengleichung einer Diode nach dem Shockleyschen Modell. Hinweis: Die berechneten Stromanteile müssen an der Grenze der Raumladungszone bei $x = -w_p$ und w_n ausgewertet werden.
- Wie setzt sich somit der Sperrsättigungsstrom zusammen?