

12. Übung (Abgabe Di. 06. Februar 2007 zu Beginn der Übung bzw. Vorlesung)

44. Eigenleitung und Leitfähigkeit im p -dotierten Halbleiter

Ein Halbleiter habe eine Bandlücke von $E_g = 1$ eV. Elektronen und Löcher sollen eine effektive Masse gleich der freien Elektronenmasse m_e haben. Der Halbleiter sei p -dotiert mit einer Akzeptor-Konzentration von $N_A = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$. Das Akzeptor-Niveau liege 0.2 eV über dem Valenzbandmaximum.

- Man zeige, dass die Eigenleitung durch die intrinsischen Ladungsträger bei 300 K gegenüber der Akzeptor-Konzentration vernachlässigbar ist.
- Man berechne die Leitfähigkeit σ bei 300 K unter der Annahme einer Löcherbeweglichkeit von $\mu_p = 100 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ (*Hinweis: Vernachlässigen Sie die Elektronenleitfähigkeit. Um die Löcherkonzentration zu bestimmen, muss die Konzentration der angeregten Akzeptoren bekannt sein. Gehen Sie dabei analog vor wie in der Vorlesung bei der Herleitung der Elektronenkonzentration im n -dotierten Halbleiter.*)

(3 Punkte)

45. Chemisches Potential im n -Halbleiter

Berechnen Sie explizit die Temperaturabhängigkeit des chemischen Potentials $\mu(T)$ im n -Halbleiter ($N_A = 0$). Diskutieren Sie das Resultat für den Fall der Störstellenreserve und der Störstellenerschöpfung.

(2 Punkte)

46. Diffusionslänge der Elektronen im p - n -Übergang (schwierig)

Berechnen Sie die Diffusionslänge der Elektronen $L_n = \sqrt{D_n \tau_n}$ für den p - n -Übergang. Stellen Sie dazu die Ratengleichung für die Änderung der Elektronenkonzentration im p -Halbleiter $\partial n(x, t) / \partial t$ auf und lösen Sie diese für den stationären Fall $\partial n(x, t) / \partial t = 0$. Die Ratengleichung besitzt zwei Terme: einen Diffusions-Term (= Verlust an Elektronen durch den Diffusionsstrom j_n^{diff}), sowie einen Relaxations-Term (Verlust der Elektronen durch Rekombination mit Löchern). Für die Rekombinationsrate nehmen Sie eine mittlere Lebensdauer τ_n der Elektronen an. Die Rekombination ist umso größer, je größer die Abweichung von n von der Gleichgewichtskonzentration n_p ist.

Hinweis: Um den Diffusions-Term aus j_n^{diff} zu erhalten, müssen Sie einen Zusammenhang zwischen der differentiellen Elektronenkonzentration dn und Stromdichte dj herstellen. Betrachten Sie dazu die bekannte Gleichung $j = -n \cdot e \cdot v = -n \cdot e \cdot dx/dt$. Den Diffusions-Term erhalten Sie durch Einsetzen der differentiellen Größen und geschickter Umformung dieser Gleichung.

(2 Punkte)

47. Diamagnetismus des Wasserstoff-Atoms

Die Wellenfunktion von Wasserstoff im Grundzustand $1s$ ist:

$$\psi(r) = \frac{1}{\sqrt{\pi a_0^3}} e^{-\frac{r}{a_0}}, \text{ mit } a_0 = \frac{\hbar^2}{me^2} = 0.529 \text{ \AA}$$

- Zeigen Sie, dass das mittlere Abstandsquadrat gegeben ist durch $\langle r^2 \rangle = 3a_0^2$.
- Berechnen Sie nun die molare diamagnetische Suszeptibilität $\chi_{\text{dia}}^{\text{H}}$.

Hinweis: Die Ladungsdichte ist $\rho(r) = -e|\psi(r)|^2$.

(2 Punkte)