

Übungsblatt 10

Aufgabe 1) p-n-Laserdiode

Eine p-n-Laserdiode sei als Heterostruktur aufgebaut, d.h. auf der p- und n-Seite werden Materialien mit unterschiedlichen Bandabständen verwendet. Die p-Seite besteht aus GaAs mit einem Bandabstand $W_{G1} = 1,4 \text{ eV}$, $\epsilon_r = 12,9$ und ist mit einer Akzeptordichte $n_A = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ dotiert. Die n-Seite besteht aus GaAlAs mit $W_{G2} = 1,8 \text{ eV}$, $\epsilon_r = 11,5$ und ist mit einer Donatordichte $n_D = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ dotiert. Im sogenannten Flachbandfall wird eine äußere Spannung so angelegt, dass die Bänder am Übergang nicht verbogen sind, siehe Abb 1.

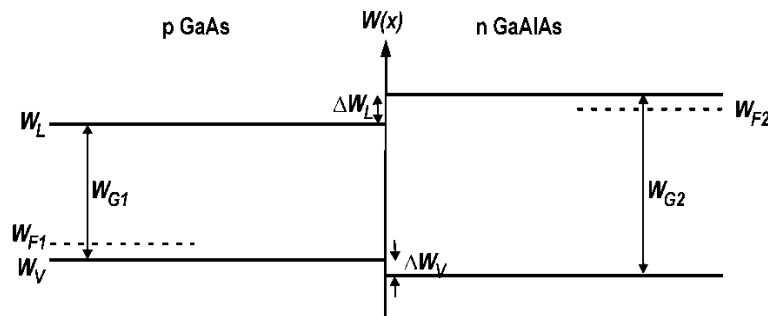


Abb. 1: Schematische Darstellung des Flachbandfalles einer p-n-Laserdiode, die als Heterostruktur aufgebaut ist

Die Leitungsbandkante erfährt am abrupten Übergang einen Sprung $\Delta W_L = 0,26 \text{ eV}$, die Valenzbandkante einen Sprung $\Delta W_V = 0,14 \text{ eV}$. Die Temperatur beträgt $T = 300 \text{ K}$. Die äquivalenten Zustandsdichten des Leitungsbandes und Valenzbandes seien für die p-Seite $N_{L,1} = 4,7 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ und $N_{V,1} = 9 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$; für die n-Seite betragen die äquivalenten Zustandsdichten $N_{L,2} = 6,5 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ und $N_{V,2} = 1,1 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$. Es gilt Störstellenerschöpfung.

- Skizzieren Sie unter Angabe der entsprechenden Gleichungen die Verläufe der Raumladungsdichte $\rho(x)$, des elektrischen Feldes $E(x)$, des Potentials $\varphi(x)$ und die Bandverläufe $W_{L,V}(x)$ für den Fall, dass keine äußere Spannung angelegt ist. Es gelte die Schottky-Näherung. Beachten Sie beim Skizzieren des elektrischen Feldes die Randbedingung an der Materialgrenzfläche.
- Betrachten Sie nun den Flachbandfall und skizzieren Sie den Verlauf der Quasi-Fermienergien im p-n-Übergang. Markieren Sie die Raumladungs- und Diffusionsgebiete. Welche Spannung muss an die Diode angelegt werden, damit es zum Flachbandfall kommt? Wo muss der „+“-Pol der Spannung angelegt werden? Liegt in diesem Fall optischer Gewinn vor?
- Berechnen Sie die maximale Feldstärke E_{max} in der Diode, wenn keine äußere Spannung angelegt ist. Beachten Sie dabei, dass die in b) berechnete „Flachbandspannung“ gerade der Diffusionsspannung der Diode entspricht.
- Technische Realisierungen von Halbleiterlasern beruhen fast ausschließlich auf Doppel-Heterostrukturen. Skizzieren Sie qualitativ den Bandverlauf einer Doppel-Heterostruktur im Flachbandfall und erläutern Sie die Vorteile gegenüber einer einfachen Heterostruktur.

Aufgabe 2) Ersatzschaltbild einer pn-Diode

Eine p-n-Diode wird wie abgebildet in Vorwärtsrichtung betrieben. Entnehmen Sie die Werte für Spannungen, Ströme und Widerstände aus Abb. 2.

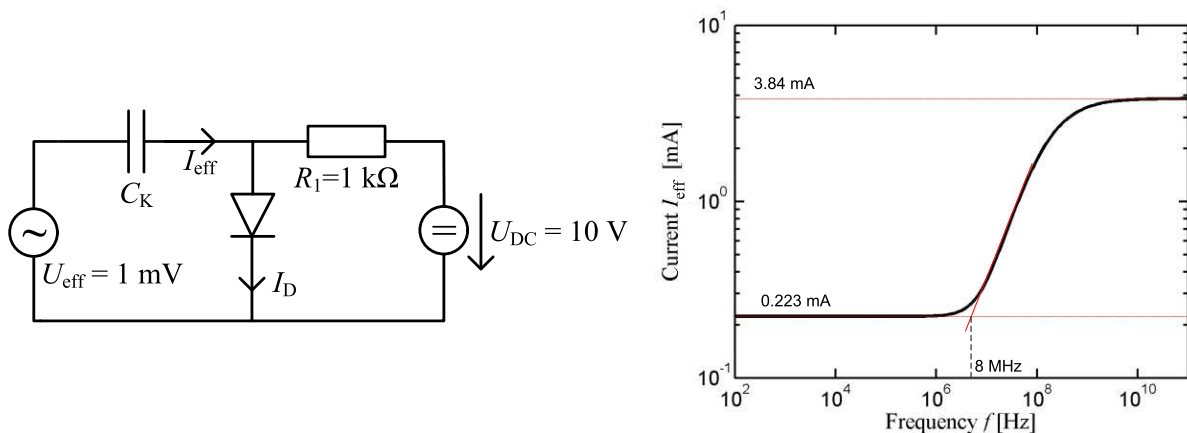


Abb. 2: Diode mit äußerer Beschaltung (links), Frequenzgang des Gesamtstroms (rechts). Die Frequenz, bei welcher der Strom um einen Faktor $\sqrt{2}$ angestiegen ist, liegt bei 8 MHz.

- Zeichnen Sie die zugehörige Kleinsignal-Ersatzschaltung. Berücksichtigen Sie dabei den Bahnwiderstand R_b der Diode und fassen Sie die Sperrschichtkapazität und die Diffusionskapazität zu einer Gesamtkapazität C_g zusammen. Behandeln Sie die Kapazität C_K für alle betrachteten Frequenzen als Kurzschluss.
- Bestimmen Sie die Elemente der Kleinsignal-Ersatzschaltung der Diode (Bahnwiderstand, Kleinsignal-Leitwert, Gesamtkapazität) mit Hilfe des rechts skizzierten Frequenzganges des Effektivwerts I_{eff} des Kleinsignal-Wechselstroms. Nutzen Sie dabei die Tatsache, dass der Bahnwiderstand der Diode sehr klein ist im Vergleich zu den anderen Widerständen.