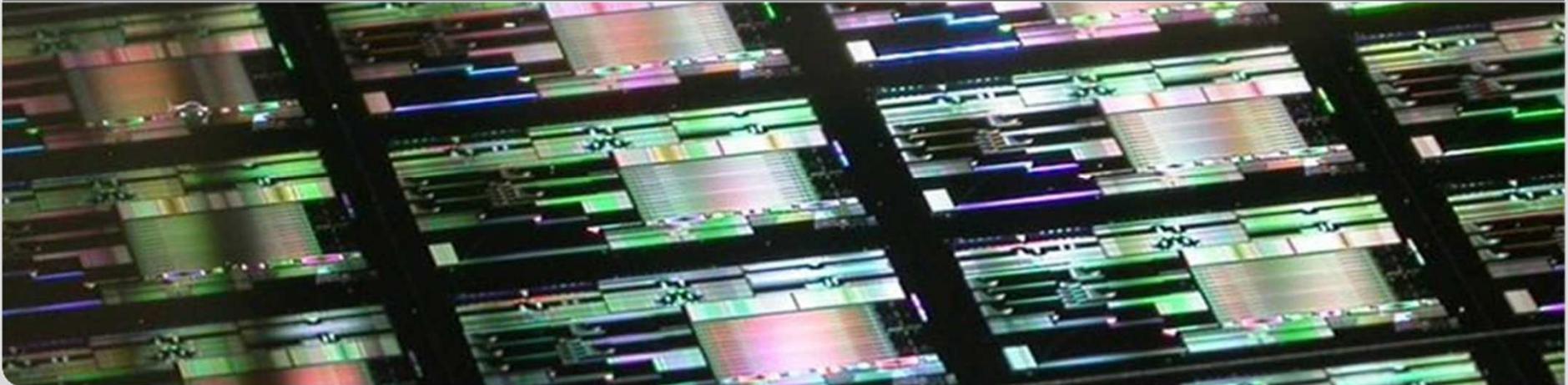
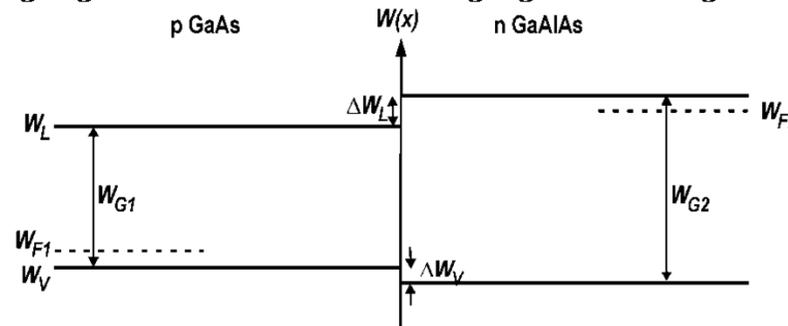


# HLB Übung 10



# 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.

- a) 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.

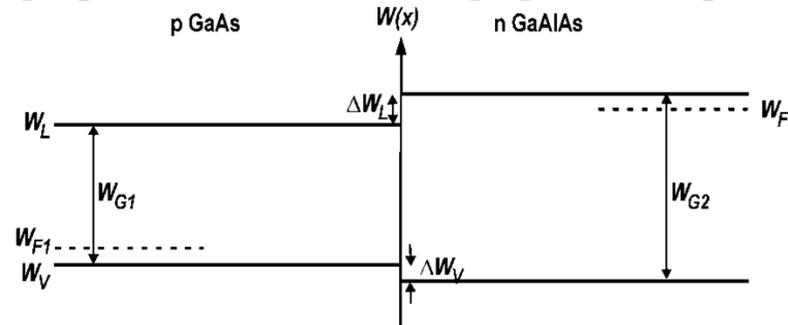
$$\rho = e(p - n + n_D^+ - n_A^-)$$

$$E = \frac{1}{\epsilon_0 \epsilon_r} \int \rho dx$$

$$\varphi = - \int E dx$$

# 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.



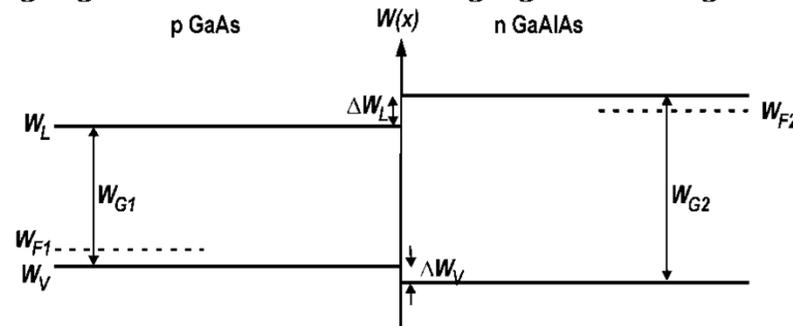
**Abb. 1:** Schematische Darstellung des Flachbandfalles einer p-n-Laserdiode die als Heterostruktur aufgebaut ist

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.

- b) Betrachten Sie nun den Flachbandfall und skizzieren Sie den Verlauf der Quasi-Ferminiveaus 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?

# 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.



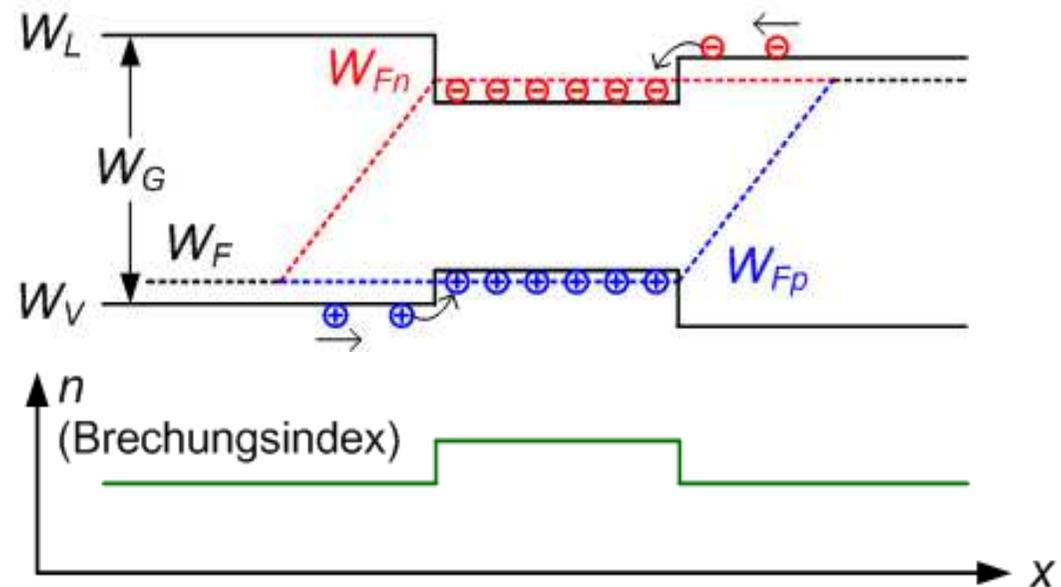
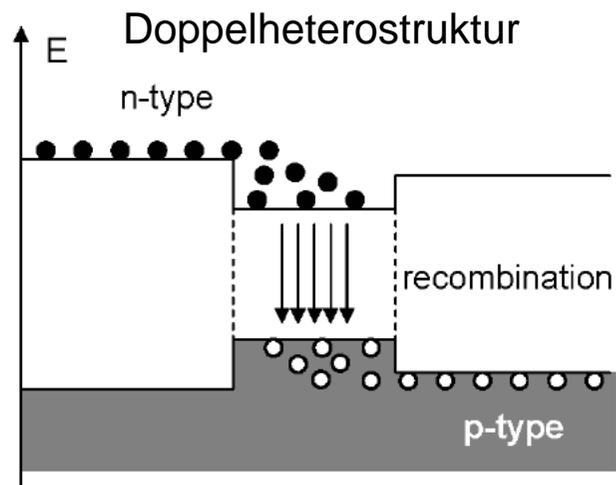
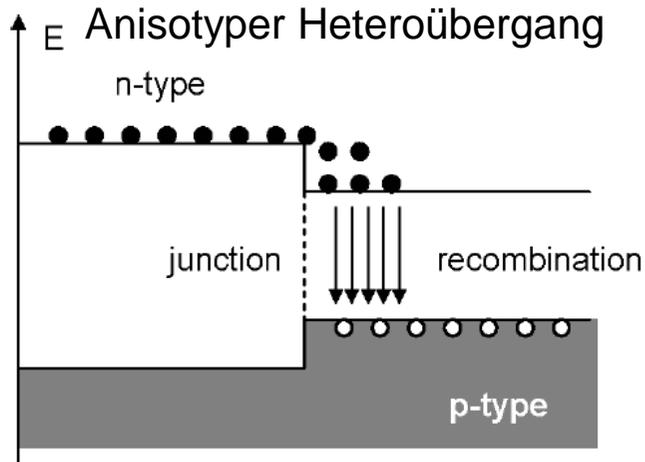
**Abb. 1:** Schematische Darstellung des Flachbandfalles einer p-n-Laserdiode die als Heterostruktur aufgebaut ist

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.

- c) 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.

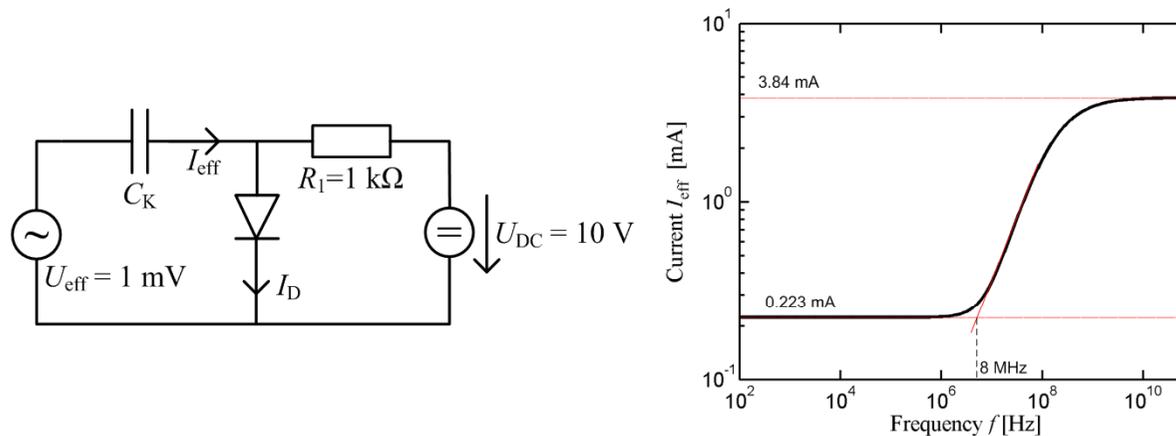
# Aufgabe 1) p-n-Laserdiode

d) 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.

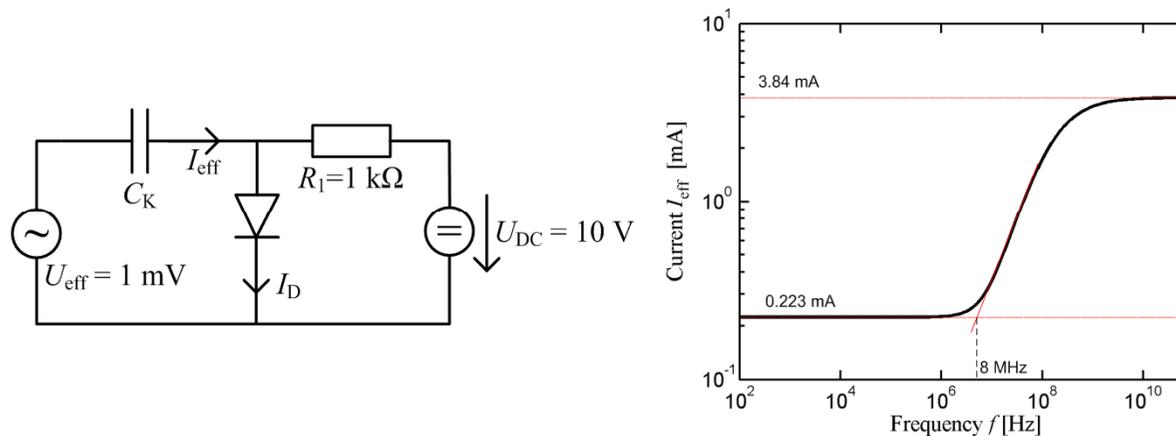


**Abb. 2: Diode mit äußerer Beschaltung (links), Frequenzgang des Gesamtstroms (rechts). Die Frequenz, bei welcher der Strom um einen Faktor  $\sqrt{2}$  angestiegen ist, liegt bei 8 MHz.**

- a) 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.

## 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.**

- b) Bestimmen Sie die Elemente der Kleinsignal-Ersatzschaltung der Diode (Bahnwiderstand, Kleinsignal-Leitwert, Gesamtkapazität) mit Hilfe des rechts skizzierten Frequenzganges des Effektivwerts  $I_{\text{eff}}$  des Kleinsignal-Wechselstroms. Nutzen Sie dabei die Tatsache, dass der Bahnwiderstand der Diode sehr klein ist im Vergleich zu den anderen Widerständen.