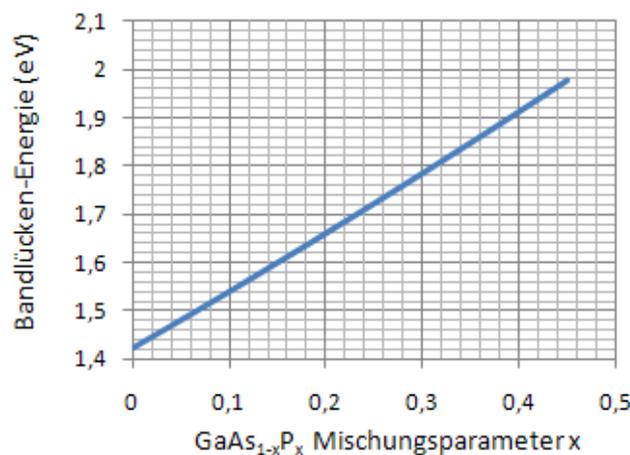


Optoelektronik I

Übung Nr. 3

Aufgabe 1: Bandabstand in Halbleiter-Mischreihen & direkte und indirekte Halbleiter

Der Bandabstand (=Breite der verbotenen Zone) in Halbleitern für die Optoelektronik bestimmt (im Prinzip) die Energie der bei der strahlenden Rekombination von Elektron-Loch-Paaren emittierten Photonen. In Mischungshalbleitern der Reihe $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$ ist die Bandlückenenergie vom Mischungsverhältnis x abhängig (siehe Abbildung für $T=300\text{K}$).



- Schätzen Sie die erforderliche Zusammensetzung des GaAsP Mischkristalls ab (Bestimmung von x) wenn Licht mit folgenden Wellenlängen ausgesendet werden soll: $\lambda=775$ und $\lambda=630$ nm.
- Für $x>0,45$ wird der Halbleiter zu einem indirekten Halbleiter. Erklären Sie an Hand einer Skizze (Bandstruktur) den Unterschied zwischen einem direktem und einem indirekten Halbleiter.
- GaAs hat eine geringere Breite der verbotenen Zone (Bandlücke) als GaP. Welcher der beiden Halbleiter emittiert grünes, welcher infrarotes Licht? In welchem der beiden Halbleiter ist die Konzentration der Ladungsträger bei Zimmertemperatur größer (undotiertes Material vorausgesetzt)?

Aufgabe 2: Fermi-Energie und Fermi-Verteilung

- Erläutern Sie die Begriffe Fermi-Verteilung und Fermi-Energie.

- b) Die Löcher im Valenzband stellen wir uns als fehlendes Elektron vor. So können wir ihre Fermi-Verteilung als $f_h(E)=1-f_e(E)$ schreiben. Zeigen Sie, dass $f_h(E)$ wie folgt ausgedrückt werden kann:

$$f_h = \frac{1}{1 + e^{\left(\frac{E-E_F}{k_B T}\right)}}$$

3. Bandstruktur

Erläutern Sie, was unter der Bandstruktur eines Halbleiters verstanden wird. Zeichnen Sie schematisch die Bandstruktur eines direkten und eines indirekten Halbleiters auf.

4. Dotierung

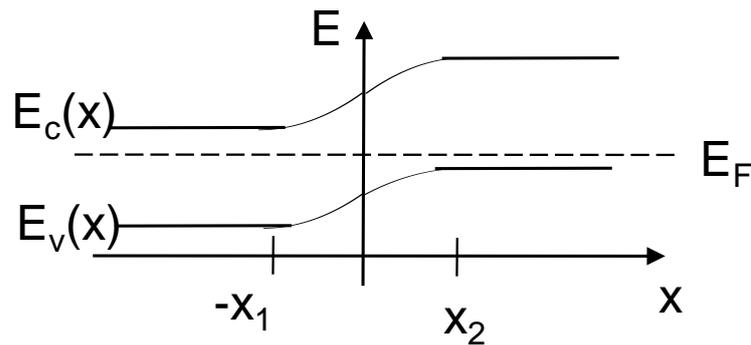
In der Abbildung sind die energetischen Zustände im Bändermodell für undotiertes GaAs, donatordotiertes GaAs und akzeptordotiertes GaAs.

- Bitte erklären Sie die Begriffe Dotierung, Donator und Akzeptor.
- Bitte kennzeichnen Sie die Fälle i)-iii) in der Abbildung.
- Skizzieren Sie bitte jeweils grob die Lage der Fermi-Energie in die Abb. i)-iii).



5. pn-Übergänge.

- Erläutern Sie an Hand einer Skizze für einen pn-Übergang die Begriffe Raumladungszone, Sperrschicht und Diffusionsspannung. Erläutern Sie das Zustandekommen der Bandverbiegung am pn-Übergang.
- Im Bild ist der räumliche Bandverlauf eines pn-Übergangs dargestellt. Wo liegt der p-dotierte und der n-dotierte Bereich?



6. pn-Übergang mit äußerer Spannung.

- a) Wie verändern sich die Raumladungszone und die Bandverbiegung am pn-Übergang nach Anlegen einer äußeren Spannung in i) Durchlassrichtung und ii) in Sperrichtung? Erläutern Sie das Verhalten der Fermi-Energie am pn-Übergang nach Anlegen einer Spannung in i) Durchlass- und ii) Sperrichtung.
- b) Was sind Minoritätsladungsträger und wie verhält sich die Dichte der Ladungsträger am pn-Übergang nach Anlegen einer Spannung in Durchlassrichtung?
- c) Was ist ein Nicht-Gleichgewicht der Ladungsträger?

7. Halbleiter Homo- und Heterostrukturen.

Klassifizieren Sie die Halbleiterheterostrukturen. Erläutern Sie, warum in der Optoelektronik Einfach-Heterostrukturen und Doppelheterostrukturen zum Einsatz kommen.