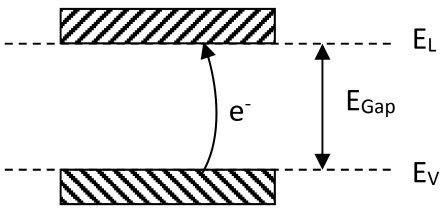
Halbleiter Bandlücke

Diamant als Halbleitermaterial hat eine sehr viel größere Energielücke (Bandlücke) von $E_{Gap} = 5,4\,eV$ als Silizium ($E_{Gap} = 1,1\,eV$).

a) Berechnen Sie jeweils den Anteil der Ladungsträger, die bei Raumtemperatur $\vartheta_1 = 20°\text{C}$ und bei $\vartheta_2 = 100°\text{C}$ zum Elektronentransport beitragen.

Lösung



Die "Wahrscheinlichkeit", dass ein Elektron die Bandlücke überwinden kann, hängt vom Verhältnis E_{Gap} / kT ab. Die Boltzmann-Verteilung gibt das Verhältnis der Elektronen an der unteren Leitungsbandkante zur oberen Valenzbandkante an (s. auch HINWEIS unten) mit:

$$\frac{N_L}{N_V} = e^{-\frac{E_{Gap}}{kT}}$$

mit der Boltzmann-Konstanten $k = 8,617 \cdot 10^{-5}\, \frac{eV}{K}$. Dies ist der Anteil der Ladungsträger, die bei den Temperaturen jeweils zum Elektronentransport beitragen.

Ergebnis:

	Si	Diamant
$\vartheta_2 = 20°\text{C}$ $T_2 = 293\text{K}$	$\frac{N_L}{N_V} = 1 \cdot 10^{-19}$	$\frac{N_L}{N_V} = 1 \cdot 10^{-93}$
$\vartheta_3 = 100°\text{C}$ $T_3 = 373\text{K}$	$\frac{N_L}{N_V} = 1 \cdot 10^{-15}$	$\frac{N_L}{N_V} = 1 \cdot 10^{-73}$

Hinweis:

Die Boltzmann-Verteilung $e^{-\frac{E_{Gap}}{kT}}$ gibt genau genommen nur näherungsweise das Verhältnis $\frac{N_L}{N_V}$ an, da die Zustandsdichte in den Bändern bzw. der Bandkanten die tatsächliche Besetzung der Zustände beeinflusst. Daher müsste es exakt $\frac{N_L}{N_V} = \text{const.} \cdot e^{-\frac{E_{Gap}}{kT}}$ heißen!

b) Berechnen Sie den Wellenlängenbereich, in dem die Materialien als Material für eine Photodiode prinzipiell eingesetzt werden können.

Lösung

Ein Photon der Wellenlänge λ hat nach Einstein folgende Energie

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

Um einem Elektron genügend Energie zu übertragen, damit es die Bandlücke überwinden kann, ist mindestens die Energie E_{Gap} nötig, also

für **Diamant:**

$$\lambda_{\max} = \frac{hc}{E_{\min}} = \frac{hc}{E_{\text{Gap}}} = \frac{6{,}626 \cdot 10^{-34}\ \text{Js} \cdot 3 \cdot 10^{8}\ \frac{\text{m}}{\text{s}}}{5{,}4\,eV \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \frac{\text{J}}{\text{eV}}} = \underline{\underline{230\,\text{nm}}}$$

Wir bräuchten zur Ermöglichung der Anregung eine größere Energie als die Energielücke, also muss $\underline{\underline{\lambda < \lambda_{\max}}}$ sein. Dieser ist schon der <u>UV-Bereich.</u>

Praktische Anwendung:
Dioden, die für sichtbares Licht "blind" sind und nur auf UV-Signale reagieren sollen.

für **Silizium:**

$$\lambda_{\max} = \frac{hc}{E_{\text{Gap}}} = \frac{6{,}626 \cdot 10^{-34}\ \text{Js} \cdot 3 \cdot 10^{8}\ \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1{,}1\,\text{eV} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \frac{\text{J}}{\text{eV}}} = \underline{\underline{1{,}13\,\mu\text{m}}}$$

Wir bräuchten zur Ermöglichung der Anregung eine größere Energie als die Energielücke, also muss $\underline{\underline{\lambda < \lambda_{\max}}}$ sein. Dies ist schon ab <u>Infrarot</u>, aber auch sichtbares Licht und UV-Bereich.