

## Zusammenfassung vom 04.11.2011

**Dotierung von Halbleitern mit Fremdatomen** *das gezielte Einbringen von drei- oder fünfwertigen Fremdatomen in den reinen Kristall wird **Dotierung** genannt. Die Fremdatome heißen **Störstellen***

**Donator** ***fünfwertiges Element (P, As, Sb)**, dessen fünftes Elektron nur schwach an den Ionenrumpf gebunden ist.*

*Konzentration  $n_D$*

**Akzeptor** ***dreiwertiges Element (B, Al, Ga, In)**, dessen fehlendes viertes Elektron verhält sich wie positiv geladenes Loch, das schwach an den Ionenrumpf gebunden ist.*

*Konzentration  $n_A$*

**Dotierung**  $n_D \gg n_A \rightarrow$  **n-dotiert**  $n_D \ll n_A \rightarrow$  **p-dotiert**

**Bindungsenergie Donator**  $E_d = E_C - E_D = \frac{e^4 m_e^*}{2(4\pi\epsilon\epsilon_0 \hbar)^2} = \frac{m_e^*}{m_e} \frac{1}{\epsilon^2} E_{\text{Ry}}$   $\epsilon =$  *statische Dielektrizitätskonstante*

$a_0 =$  *Bohr-Radius*

**Bahnradius Donator**

$$a_d = \frac{4\pi\epsilon\epsilon_0 \hbar^2}{e^2 m_e^*} = \epsilon \frac{m_e}{m_e^*} a_0$$

$E_{\text{Ry}} = 13.6 \text{ eV}$   
*Rydberg-Energie*

Bindungsenergie  
Akzeptor

$$E_a = E_A - E_V = \frac{e^4 m_h^*}{2(4\pi\epsilon\epsilon_0 \hbar)^2} = \frac{m_h^*}{m_e} \frac{1}{\epsilon^2} E_{Ry}$$

Bahnradius  
Akzeptor

$$a_a = \frac{4\pi\epsilon\epsilon_0 \hbar^2}{e^2 m_h^*} = \epsilon \frac{m_e}{m_h^*} a_0$$

Gleichgewichts-  
bedingung

$$n p = N_{\text{eff}}^C N_{\text{eff}}^V e^{-\frac{E_g}{k_B T}} \quad \rightarrow \quad \text{wie im intrinsischen Fall, wobei } n \text{ und } p \text{ jedoch nun die Ladungsträger aus den Störstellen mit einschließen}$$

Neutralitäts-  
bedingungen

$$n + n_A^- = p + n_D^+ \quad n_D = n_D^0 + n_D^+ \quad n_A = n_A^0 + n_A^-$$

$n_{D,A}^0 =$  Dichte neutraler Donatoren/Akzeptoren

$n_D^+, n_A^- =$  Dichte angeregter Donatoren/Akzeptoren

Donator-/Akzeptor-Besetzung

$$n_D^0(T) = n_D \frac{1}{e^{\frac{E_D - \mu}{k_B T}} + 1} \quad n_A^0(T) = n_A \frac{1}{e^{\frac{\mu - E_A}{k_B T}} + 1}$$

Spezialfall: reiner n-Halbleiter  
( $n_A = 0$ )

$$n = p + n_D^+ \quad n = N_{\text{eff}}^C e^{\frac{\mu - E_C}{k_B T}} \quad n_D^+ \gg n_i = p_i$$

$$\rightarrow n \cong n_D^+ = n_D - n_D^0$$

Ladungsträgerdichte ( $n_A = 0$ )

$$\rightarrow n + n^2 \frac{1}{N_{\text{eff}}^C} e^{\frac{E_d}{k_B T}} = n_D$$

Leitungselektronen-Konzentration im n-dotierten Halbleiter

$$n(T) = 2n_D \frac{1}{1 + \sqrt{1 + 4 \frac{n_D}{N_{\text{eff}}^{\text{C}}} e^{\frac{E_d}{k_B T}}}}$$

Störstellen-Reserve (*T tief*)

$$4 \frac{n_D}{N_{\text{eff}}^{\text{C}}} e^{\frac{E_d}{k_B T}} \gg 1 \quad \rightarrow \quad n(T) = \sqrt{n_D N_{\text{eff}}^{\text{C}}} e^{-\frac{E_d}{2k_B T}}$$

**→** *exponentieller Anstieg von  $n(T)$*

**→** *es gibt noch genügend Donatoren, die ihr Elektron noch nicht an das Leitungsband abgegeben haben*

Störstellen-Erschöpfung (*T hoch*)

$$4 \frac{n_D}{N_{\text{eff}}^{\text{C}}} e^{\frac{E_d}{k_B T}} \ll 1 \quad \rightarrow \quad n(T) = n_D \cong \text{const}$$

**→** *alle Donatoren haben ihr Elektron abgegeben und Anregung aus dem Valenzband spielt noch keine Rolle*

intrinsischer Bereich (*T sehr hoch*)

$$n_D^+ \ll n_i = p_i \quad \rightarrow \quad n = \sqrt{N_{\text{eff}}^{\text{C}} N_{\text{eff}}^{\text{V}}} e^{-\frac{E_g}{2k_B T}}$$

**→** *Anregung aus dem Valenzband dominiert*