

Temperaturabhängigkeit der Emissionsintensität

1

Die Emissionsintensität einer LED nimmt aufgrund verschiedener Faktoren mit zunehmender Temperatur ab.

- a) Nichtstrahlende Rekombination über tiefe Störstellen
- b) Oberflächenrekombination
- c) Ladungsträgerverlust über Barriere der Heterostruktur

In der Nähe der Raumtemperatur kann diese Temperaturabhängigkeit phänomenologisch durch folgende Gleichung beschrieben werden.

$$I = I_{|_{300}} \cdot \exp\left(-\frac{T - 300K}{T_1}\right)$$

wobei T_1 als die **charakteristische Temperatur** bezeichnet wird. Eine **hohe charakteristische Temperatur** impliziert eine **schwache Temperaturabhängigkeit**.

Interessanterweise haben LED und Halbleiterlaser unterschiedliche T-abhängigkeit der Emissionsintensität. In LD erhöht sich der Schwellstrom I_{th} , bei der Lasen einsetzt, nach einer bekannten T_0 Gleichung.

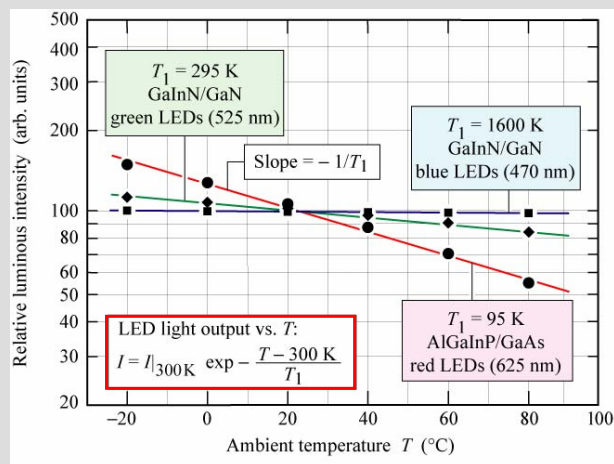
$$I_{th} = I_{th|_{300}} \cdot \exp\left(\frac{T - 300K}{T_0}\right)$$

apl.Prof. Dr. D.J. As

Charakteristische Temperatur T_1 verschiedener LEDs

2

Temperaturabhängigkeit der Emissionsintensität bei konstantem Strom

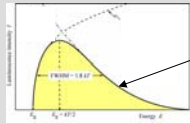


Bem.: Gruppe III-Nitride haben tiefe Potentialtöpfe als III-V Phosphide

apl.Prof. Dr. D.J. As

Bestimmung der Ladungsträgertemperatur aus dem LED-Spektrum 3

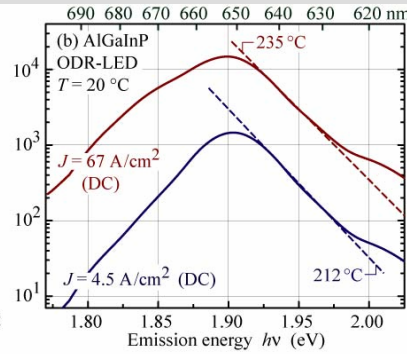
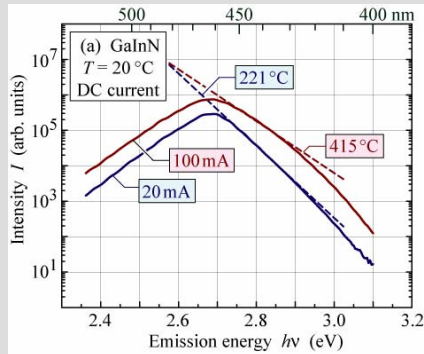
Aus dem hochenergetischen Abfall des Emissionsspektrums kann die Ladungsträgertemperatur ermittelt werden. Diese Temperatur muß nicht gleich der Gittertemperatur sein. Alloy-broadening überbewertet die tatsächliche Temperatur.



$$I \approx \exp\left(-\frac{\hbar\omega}{k_B T_e}\right)$$

Die hochenergetische Steigung ist gegeben:

$$\frac{d(\ln I)}{d(\hbar\omega)} \approx -\frac{1}{k_B T_e} \quad \text{in [K]!}$$



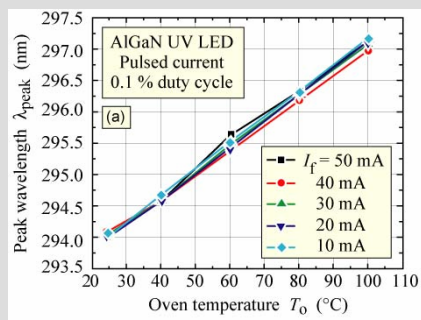
apl.Prof. Dr. D.J. As

Peak Wellenlänge vs Ofentemperatur

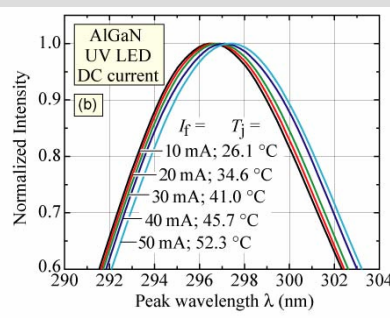
4

Diese Methode basiert auf der T-abhängigkeit der Bandlückenenergie.

Für Kalibrierzwecke muss die Peak-Wellenlänge bei unterschiedlichen Umgebungstemperaturen und kleinen Stömen (gepulst) bestimmt werden.

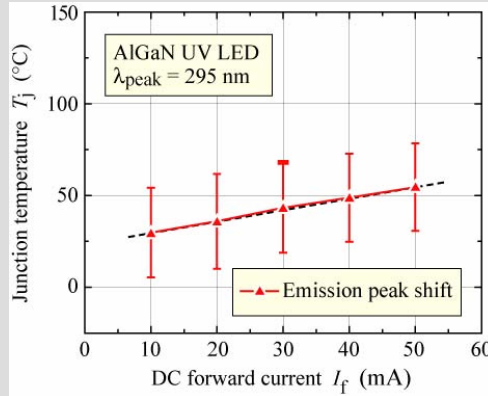


Hochenergieseite



apl.Prof. Dr. D.J. As

Temperatur des Heteroübergangs bestimmt aus der Verschiebung der Emissionswellenlänge



Die Genauigkeit der Methode ist durch die Bestimmung der Peak-Wellenlänge begrenzt. Als Faustregel wird für den Fehlerbalken der Peak-wellenlänge etwa 5-10% der FWHM Linienbreite angenommen.

Bem.: Bandauffüllereffekte sollten diese Messung nicht beeinflussen, da sie auch in der Kalibrierung enthalten sind.

apl.Prof. Dr. D.J. As

Die I-V Charakteristik einer idealen p-n-Diode ist durch die Shockley-Gleichung

$$J = J_s \cdot \left(e^{\frac{qV_f}{n_{ideal}kT}} - 1 \right)$$

gegeben mit J_s der Sättigungstromdichte. Für nicht entartete Halbleiter und unter Vorwärtsspannungsbedingungen $V_f \gg kT/q$, erhält man

$$\frac{dV_f}{dT} = \frac{d}{dT} \left[\frac{n_{ideal}kT}{q} \ln \left(\frac{J_f}{J_s} \right) \right]$$

Unter Berücksichtigung der T-Abhängigkeit des Sättigungsstromdichte, liefert die Ableitung folgende Näherung

$$\frac{dV_f}{dT} = \frac{qV_f - E_g}{qT} + \frac{1}{q} \cdot \frac{dE_g}{dT} - \frac{3k}{q}$$

intrinsic Ladungs-trägerkonzentration
Bandlücke
effektive Zustandsichte

apl.Prof. Dr. D.J. As

LEDs werden typischerweise unter Vorwärtsspannung in der Nähe von V_{bi} betrieben. Für nicht entartete Dotierkonzentrationen kann deshalb

$$qV_f - E_g \approx kT \cdot \ln\left(\frac{N_D N_A}{n_i^2}\right) - kT \cdot \ln\left(\frac{N_C N_V}{n_i^2}\right) = kT \cdot \ln\left(\frac{N_D N_A}{N_C N_V}\right)$$

angenommen werden.

Für den zweiten Summanden setzen wir für die T-abhängigkeit der Bandlücke die Varshni-Formel ein

$$E_g(T) = E_g(0K) - \frac{\alpha T^2}{T + \beta}$$

mit α und β als Fitparameter.

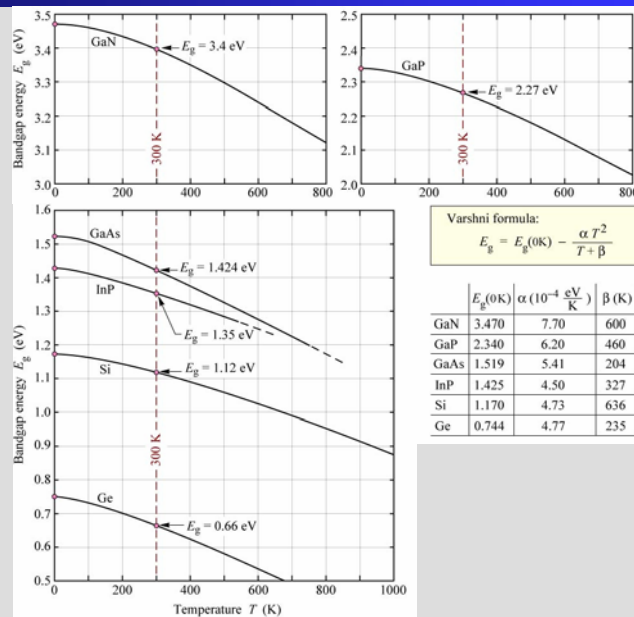
Damit erhalten wir für die T-abhängigkeit der Vorwärtsspannung :

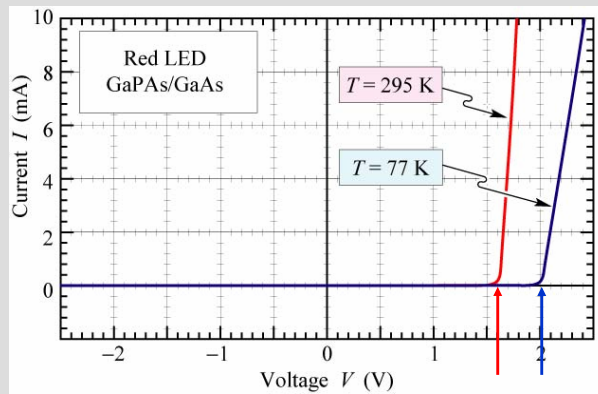
$$\frac{dV_f}{dT} = \frac{k}{q} \cdot \ln\left(\frac{N_D N_A}{N_C N_V}\right) + \frac{\alpha T(T + 2\beta)}{q(T + \beta)^2} - \frac{3k}{q}$$

T-abhängigkeit von n_i

$$\frac{1}{q} \cdot \frac{dE_g}{dT}$$

T-abhängigkeit von DOS

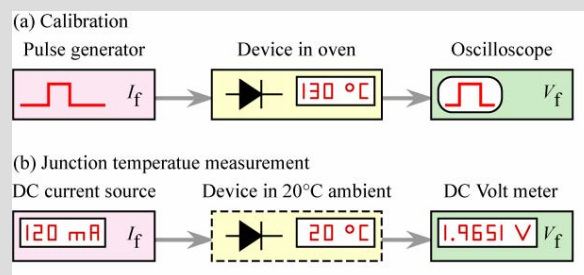




Sowohl die Schwellwertspannung als auch der Serienwiderstand werden durch Abkühlen größer.

apl.Prof. Dr. D.J. As

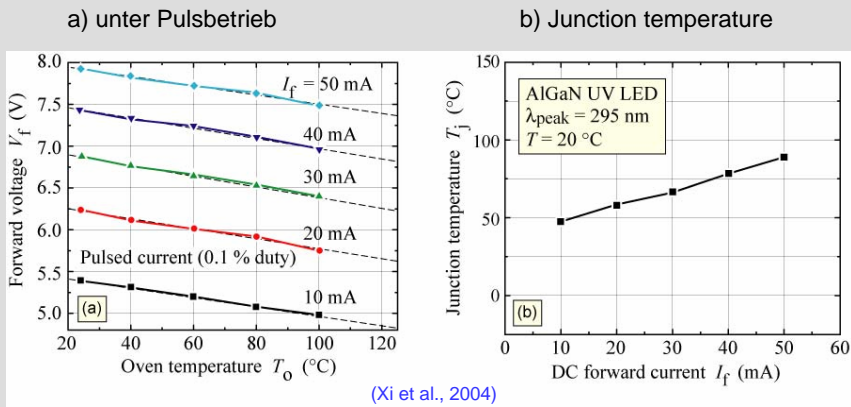
Diese Methode beruht auf einer Kalibriermessung von V_f unter Pulsbedingungen und unter Gleichstrominjektion.



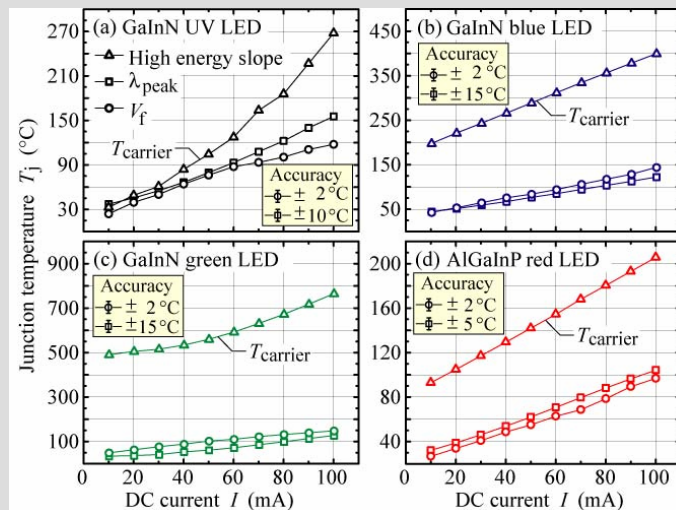
Zur Kalibrierung wird das Bauelement

- a) in einem temperaturkontrollierten Ofen gelegt und unter Pulsbedingungen ($< 0.1\%$) betrieben. Die Temperatur wird zwischen 20°C und 120°C variiert. Die Vorwärtsspannung wird für jede Temperatur gemessen. $\rightarrow V_f$ vs. T_j
- b) Das Bauelemente wird bei Raumtemperatur einem Gleichstrom ausgesetzt und nach Einstellung eines thermischen Gleichgewichtes wird V_f gemessen.

apl.Prof. Dr. D.J. As



apl.Prof. Dr. D.J. As

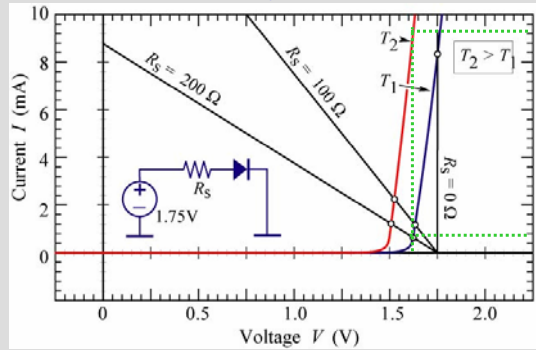


Die Ladungsträgertemperatur aus dem hochenergetischen Abfall überschätzt die tatsächliche Temperatur des Bauelements.

apl.Prof. Dr. D.J. As

a) Konstant Spannungsbetrieb (Batterie, AC-Gleichrichter)

- Nachteile:
- Diodenstrom hängt exponentiell von Spannung ab, damit führen kleine Variationen in V zu großen Strom- und Leistungsänderung
 - die Schwellspannung V_{th} ist T-abhängig



Wird ein Widerstand in Serie zur Diode geschaltet wird T und I-abhängigkeit reduziert

b) Konstant Strombetrieb

- Beim konstant Strombetrieb reduziert sich die Emissionsintensität mit zunehmender Temperatur