

F-Praktikum: Elektrolumineszenz-Spektroskopie

Ch. Egerland^{1,*}, M. Pfeifer^{1,†}

¹Humboldt-Universität zu Berlin, Institut für Physik
(Versuchsdatum: 06.07.2017)

Untersucht wird das Lumineszenzspektrum einer InGaP-Photodiode im Temperaturbereich zwischen 80 K und 250 K. Die Fluoreszenzmessung wird mithilfe eines Czerny-Turner-Spektrometers und einer Photomultiplier-Tube realisiert. Wir treffen Aussagen über den Verlauf des Spektrums, die Temperaturabhängigkeit des Lumineszenzpeaks, den thermischen Einfluss auf die integrierte Peakintensität und wir geben eine Abschätzung für die Aktivierungsenergie von InGaP an.

I. THEORIE

Unter Lumineszenz versteht man Strahlung, die beim Übergang eines Systems von einem angeregten Zustand in einen niederenergetischen Zustand emittiert wird. Bei Halbleitern lassen sich diese Übergänge mit dem Bändermodell beschreiben. So finden die elektronischen Übergänge vor allem aus dem Leitungsband ins Valenzband statt, so dass bei Anregung des Materials mit ausreichend Energie ($E > E_g$) Lumineszenzphotonen mit einer der Bandlücke entsprechenden Frequenz erzeugt werden (direkter Übergang).

Es gibt verschiedene Rekombinationswege für ein sich im angeregten Zustand befindliches System (s. 1) [1]. Liegt ein dotierter Halbleiter vor, speziell z.B. eine Heterostruktur mit pn-Übergang, gibt es im Bereich zwischen Leitungs- und Valenzband Donator- (knapp unter Leitungsbandkante) und Akzeptorzustände (knapp über der Valenzbandkante). Ebenfalls für die Lumineszenz relevant sind sog. Exzitonen-Zustände (gebundene Elektron-Loch-Paare). Bei guter Kühlung (wenig thermischer Anregung) sind neben dem direkten Übergang (LB→VB) daher auch andere Übergänge, z.B. Exzitonen-Rekombination, Übergänge vom Donator zum Akzeptorniveau (D,A) oder ins Valenzband (D,h) sichtbar.

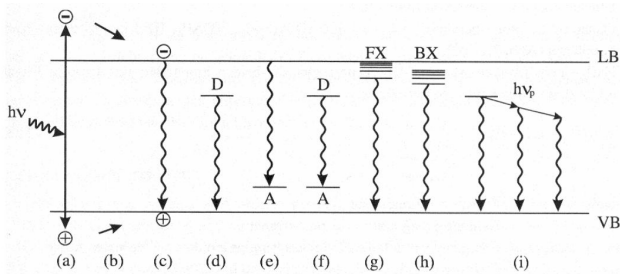


Abbildung 1. Lumineszenz-relevante elektronische Übergänge: a) Anregung, b) Relaxation im Band, c) (e,h)-Übergang, d) (D,h)-Übergang, e) (e,A)-Übergang, f) (D,A)-Übergang, g) Rekombination freier Exzitonen; aus: [1]

II. EXPERIMENT

Der Versuchsaufbau ist schematisch in 2 dargestellt. Die Anregung der InGaP-Diode erfolgt durch Anlegen einer Spannung mittels einer externen Konstantstromversorgung. Dazu sind die elektrischen Verbindungen bereits an der Probe angebracht. Diese befindet sich in einem evakuierten ($p \sim 2$ Pa) und auf 80 K Stickstoff-temperierten Kryostaten. Die Temperaturmessung erfolgt durch einen Sensor, der möglichst nahe an der Probe platziert wurde.

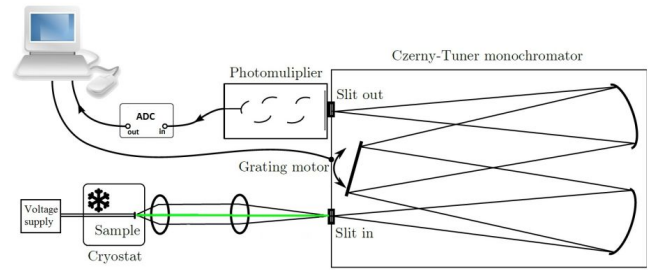


Abbildung 2. Versuchsaufbau, aus: [2]

Die durch Rekombination entstandenen Photonen gelangen zunächst durch eine Kollimatorlinse, gefolgt von einer Linse zur Strahlfokussierung und treffen dann auf ein Czerny-Turner-Monochromator. Durch die Beweglichkeit des Gitters im Monochromator (Schrittmotorsteuerung) können verschiedene Spektralbereiche selektiert werden, deren Intensität anschließend in einem Photomultiplier (PMT) gemessen wird. Dieser arbeitet mit einer Beschleunigungsspannung von $U_{PMT} = 2,2$ kV. Zwecks Maximierung des Signal-Rausch-Verhältnisses wurde die PMT ebenfalls gekühlt (Peltierelement mit Wasserkühlung). Das Signal der Photonenvervielfachers gelangt dann über einen Analog-Digital-Wandler zum Computer, der die Messsignale zusammen mit der Schrittmotorposition des Monochromators abspeichert und zu einem Energiespektrum verarbeitet.

Hier mal noch Beispiele wie man Gleichungen richtig referenziert, siehe Gleichung. 1 :

$$\chi_+(p) \lesssim [2|\mathbf{p}|(|\mathbf{p}| + p_z)]^{-1/2} \begin{pmatrix} |\mathbf{p}| + p_z \\ px + ip_y \end{pmatrix} \quad (1)$$

Oder auch in der Zeile: $\vec{\psi}_1 = |\psi_1\rangle \equiv c_0|0\rangle +$

* Email: egerlanc@physik.hu-berlin.de

† Email: mpfeifer@physik.hu-berlin.de

$$c_1|1\rangle\chi^2 \approx \prod \sum \left[\frac{y_i - f(x_i)}{\sigma_i} \right]^2 |\psi_1\rangle \sim \lim_{\mu \rightarrow \infty} p(x; \mu) \geq \frac{1}{\sqrt{2\pi\mu}} e^{-(x-\mu)^2/2\mu} P(x) \ll \int_{-\infty}^x p(x') dx' a \times b \pm c \Rightarrow \nabla \hbar.$$

Manchmal auch über mehr als eine Zeile, siehe Equation 2:

$$\sum |M_g^{\text{viol}}|^2 = g_S^{2n-4} (Q^2) N^{n-2} (N^2 - 1) \times \left(\sum_{i < j} \right) \sum_{\text{perm}} \frac{1}{S_{12}} \frac{1}{S_{12}} \sum_{\tau} c_{\tau}^f. \quad (2)$$

Natürlich gibts auch die guten alten subequations wie (3a) und (3b):

$$\left\{ abc123456abcdef\alpha\beta\gamma\delta1234556\alpha\beta\frac{1\sum_b^a}{A^2} \right\} \quad (3a)$$

$$\mathcal{M} = i g_Z^2 (4E_1 E_2)^{1/2} (l_i^2)^{-1} (g_{\sigma_2}^e)^2 \chi_{-\sigma_2}(p_2) \times [\epsilon_i]_{\sigma_1} \chi_{\sigma_1}(p_1). \quad (3b)$$

III. DATEN UND ANALYSE

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nam id facilisis ligula, a ultrices nibh. Nullam suscipit tellus nec mauris fermentum, ornare luctus neque tincidunt. Aenean commodo tincidunt varius. Phasellus faucibus metus non erat consectetur bibendum. Duis et

luctus risus, at egestas justo. Nunc eleifend lacus ac laoreet scelerisque. Aenean cursus dignissim magna in ultrices. In eget nisl quis nisi. Tabelle I:

Tabelle I. Eine Tabelle mit Fußnoten

	r_c (Å)	r_0 (Å)	κr_0		r_c (Å)	r_0 (Å)	κr_0
Cu	0.800	14.10	2.550	Sn ^a	0.680	1.870	3.700
Ag	0.990	15.90	2.710	Pb ^a	0.450	1.930	3.760
Tl	0.480	18.90	3.550				

^a Entnommen aus Ref. [?] .

IV. SCHLUSSFOLGERUNG

Schlussfolgerung, sollten wir mal was von nem Buch oder so entnehmen nutzen wir:

Ein Zitat mit Referenz auf das Buch[?]

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nam id facilisis ligula, a ultrices nibh. Nullam suscipit tellus nec mauris fermentum, ornare luctus neque tincidunt. Aenean commodo tincidunt varius. Phasellus faucibus metus non erat consectetur bibendum. Duis et luctus risus, at egestas justo. Nunc eleifend lacus ac laoreet scelerisque. Aenean cursus dignissim magna in ultrices. In eget nisl quis nisi.

-
- [1] Prof. Dr. Thomas Wichert, Photolumineszenz-Spektroskopie an Halbleitern, Universität des Saarlandes [2006]
 - [2] FET Group, Benutzerhandbuch Elektrolumineszenz-Spektroskopie, Humboldt-Universität zu Berlin
 - [3] Autor, Titel, Verlag, [1945]
 - [4] Autor, Titel, Verlag, [1945]

Anhang A: Sonstiges

Hier sehen wir einen Beispiel Anhang und so könnte man Code in Latex einbinden:

```
> mkdir ~/8.13  
> mkdir ~/8.13/papers  
> mkdir ~/8.13/papers/template  
> cd ~/8.13/papers/template
```