

VERSUCH 46

Faraday-Effekt

Theodor Zies
theodor.zies@tu-dortmund.de

Bastian Schuchardt
bastian.schuchardt@tu-dortmund.de

Durchführung: 17.04.2023

Abgabe: DATUM

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Theorie	3
2.1	Effektive Masse	3
2.2	Zirkulare Doppelbrechung und Faraday Effekt	4
3	Durchführung	5
3.1	Versuchsaufbau	5
3.2	Versuchsdurchführung	6
4	Auswertung	6
5	Diskussion	7
	Literatur	7

1 Einleitung

Ziel dieses Versuches ist es, die effektive Masse der Leitungselektronen in n-dotiertem Galliumarsenid (GaAs) zu bestimmen. Dafür wird der Faraday-Effekt ausgenutzt und eine Vergleichsmessung zwischen reinem und dotiertem GaAs durchgeführt, um den Effekt der Leitungselektronen zu isolieren.

2 Theorie

Für diesen Versuch wird Galliumarsenid verwendet, es handelt sich dabei um einen Halbleiterwerkstoff. GaAs kann undotiert oder dotiert vorkommen, von besonderem Interesse für diesen Versuch sind dotierte Varianten, da diese Leitungselektronen aufweisen. Allgemein zeichnen sich Halbleiter dadurch aus, dass sie über diese Elektronen verfügen, die durch Anregung leicht ins Leitungsband springen können und somit eine elektrische Leitfähigkeit generieren. Diesen Leitungselektronen lässt sich eine effektive Masse zuordnen, welche in diesem Versuch bestimmt werden soll und im nächsten Kapitel näher erläutert wird.

2.1 Effektive Masse

Zum Verständniss der effektiven Masse bietet es sich an, die Bandstruktur eines Halbleiters im k-Raum zu betrachten. Diese ist in Abbildung 1 graphisch dargestellt.

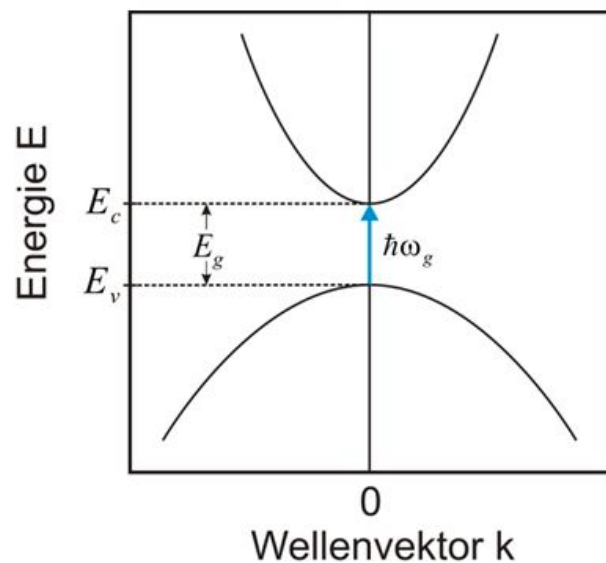


Abbildung 1: Bandstruktur eines Halbleiters im k-Raum. [2]

Die Bandstruktur weist einen nahezu parabelförmigen Verlauf auf, weshalb sich eine Taylorentwicklung der unteren Kante des Leitungsbandes bis zur zweiten Ordnung

anbietet:

$$E(\vec{k}) = E(0) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 \left(\frac{\partial E^2}{\partial k_i^2} \right)_{k=0} k_i^2 + \dots$$

Vergleicht man dies mit einem harmonischen Oszillator mit

$$E = \frac{\hbar k^2}{2m}$$

so fällt auf, dass sich der zweite Koeffizient der Taylorentwicklung als effektive Masse m_i^* interpretieren lässt:

$$m_i^* := \frac{\hbar^2}{\left(\frac{\partial \epsilon^2}{\partial k_i^2} \right)_{k=0}}$$

Unter der Annahme, dass der Kristall in alle Richtungen nahezu symmetrisch ist, kann eine allgemeine effektive Masse m^* definiert werden, die sich eignet, um die Dynamik der Leitungselektronen zu beschreiben. Im wesentlichen lassen sich die Leitungselektronen somit als freie Elektronen beschreiben, deren Wechselwirkung mit dem Kristallgitter über die veränderte Masse m^* beschrieben wird.

2.2 Zirkulare Doppelbrechung und Faraday Effekt

In optisch aktiven Medien kann zirkuläre Doppelbrechung auftreten. Diese beschreibt die Fähigkeit eines Kristalles, die Polarisations Ebene eines linear polarisierten Lichtstrahles bei der Transmission zu drehen. Die Ursache liegt dabei darin, dass Phasengeschwindigkeiten für links- und rechtszirkular polarisiertes Licht in dem Kristallmedium verschieden sind. Hierbei kann linear polarisiertes Licht als Überlagerung von links- und rechtszirkular polarisiertes Licht verstanden werden, sodass beim Durchqueren des Mediums aufgrund der unterschiedlichen Geschwindigkeiten eine Rotation der Polarisationsrichtung stattfindet. [1]

Durch anlegen eines B-Feldes parallel zur Ausbreitungsrichtung des Lichtes kann in optisch inaktiven Medien die selbe Rotation erzeugt werden, dies wird auch als Faraday Effekt beschrieben. Der physikalische Hintergrund ist hierbei, dass die Leitungselektronen durch das Magnetfeld auf Kreisbahnen gezwungen werden. Es lässt sich eine Formel herleiten, die die Rotation der Polarisations Ebene in Abhängigkeit der Wellenlänge angibt:

$$\theta(\lambda) = \frac{e_0^3}{8\pi^2 \epsilon_0 c^3} \frac{1}{m^{*2}} \frac{NBL}{n} \lambda^2 \quad (1)$$

Sind alle vorkommenden Größen bekannt, also das Magnetfeld B , die Ladungsträgerdichte n und die Länge der Probe L , kann die effektive Masse m^* durch umstellen von (1) berechnet werden. Aus praktischen Gründen wird mit θ_{frei} gerechnet, hier wird der Rotationswinkel θ auf die Länge der Probe normiert, indem dadurch geteilt wird.

3 Durchführung

Um die effektive Masse der Elektronen bestimmen zu können, muss sichergestellt werden, dass lediglich die Faraday-Rotation betrachtet wird. Deshalb wird ebenfalls eine Messung mit reinem GaAs durchgeführt, um später die Differenz aus beiden Rotationen zu bilden.

3.1 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 2 dargestellt und wird im folgenden genauer erläutert.

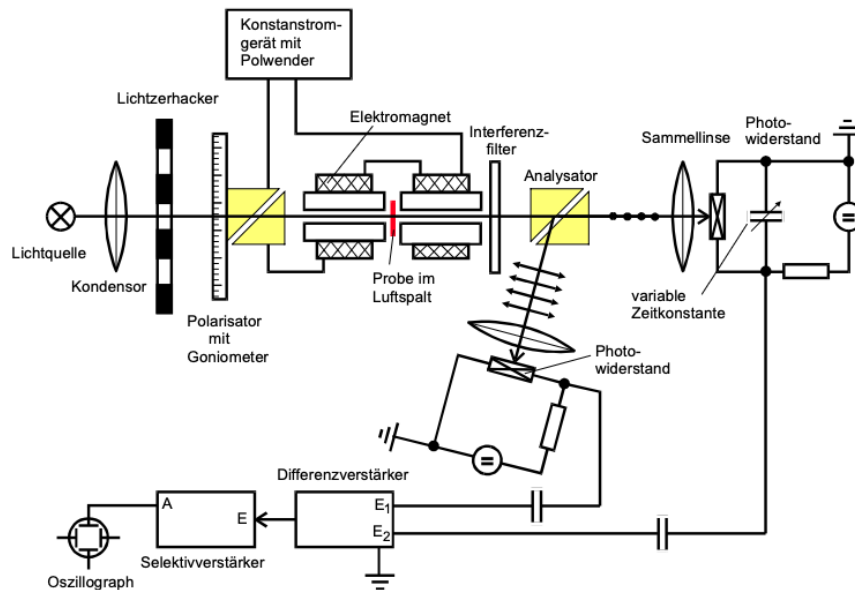


Abbildung 2: Versuchsaufbau inklusive aller Messapparaturen. [3]

Eine Halogenlampe dient als Lichtquelle, sie leuchtet größtenteils im Infrarotbereich, da die Probe für diese Wellenlängen am durchlässigsten ist. Dannach wird das Licht durch eine Linse gebündelt und mithilfe eines Lichtzerhackers mit einer bekannten Frequenz von 450 Hz in Pulse geteilt. Mithilfe des darauf folgenden Glan-Thompson-Prismas wird das Licht linear polarisiert. Das Prisma ist dabei drehbar an einem Goniometer befestigt, sodass die genaue Polarisationsrichtung eingestellt und abgelesen werden kann. Anschließend wird das Strahlenbündel durch einen Elektromagneten geschickt, in dessen Mitte sich die Probe befindet. Somit liegt die Probe im Bereich des maximalen B-Feldes, und während das Licht diese durchquert, tritt der in Unterabschnitt 2.2 beschriebene Faraday-Effekt auf.

Nach dem Magneten ist ein Interferenzfilter platziert, sodass jeweils nur eine Wellenlänge betrachtet werden kann. Das Licht trifft dannach auf einen Analysator, der den Strahl in zwei Teile spaltet, die eine zueinander orthogonale Polarisation besitzen. Beide Strahlen treffen auf Photoelemente, die daraufhin eine Wechselspannung erzeugen, die ausgekoppelt

wird. Beide Spannungen werden mithilfe eines Differenzverstärkers zusammengeführt, und anschließend in einen Selektivverstärker geführt. Dieser wird auf die Frequenz des Lichtzerhackers abgestimmt, somit kann ein Großteil des Signalrauschens unterdrückt werden, man bezeichnet dieses Vorgehen auch als Wechsellichtmethode. Zuletzt wird das Signal des Selektivverstärkers mithilfe eines Oszilloskops visualisiert, sodass eine Amplitude abgelesen werden kann.

3.2 Versuchsdurchführung

Als Erstes wird mithilfe einer Hall-Sonde das B-Feld innerhalb der Spule vermessen. Dafür wird die Sonde schrittweise in den Magneten hereingeführt und es werden Wertepaare aus Abstand und Feldstärke notiert, sodass daraus das Maximum des Feldes ermittelt werden kann.

Bevor die eigentliche Messung beginnt, wird der Strahlengang kontrolliert und justiert um sicherzustellen, dass beide Photoelemente genug Lichtintensität abbekommen.

Für den Versuch stehen drei GaAs Proben zur Verfügung, von denen eine undotiert ist, diese wird zuerst in der Mitte des Magneten platziert. Um den Rotationswinkel zu messen, wird der Winkel des Glan-Thompson-Prismas solange verstellt, bis das Signal am Oszilloskop ein Minimum annimmt. Es wird nun der entsprechende Winkel am Goniometer abgelesen und die Prozedur mit umgepolten B-Feld wiederholt. Diese Messung wird mit 9 verschiedenen Interferenzfiltern durchgeführt, um genug unterschiedliche Wellenlängen für einen Fit in der Auswertung zur Verfügung zu haben. Zuletzt wird die Messung zwei weitere Male mit den dotiertem GaAs Proben durchgeführt.

4 Auswertung

Siehe Abbildung 3!

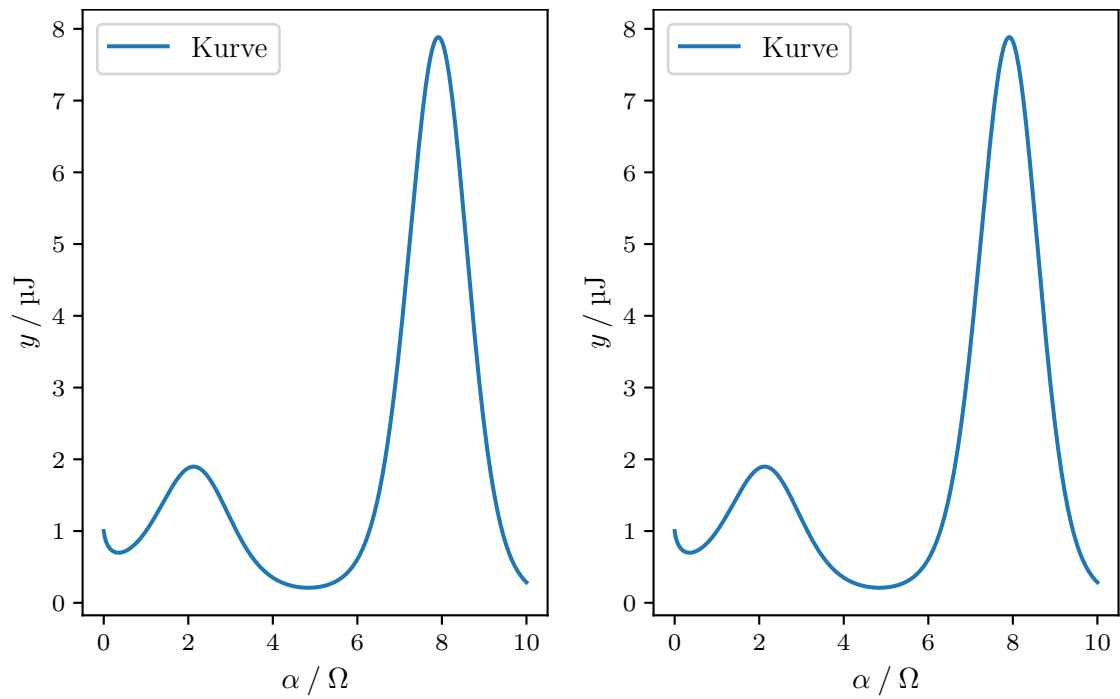


Abbildung 3: Plot.

5 Diskussion

Literatur

- [1] *Anhang 1 V46-Faraday-Effekt an Halbleitern.* TU Dortmund, Fakultät Physik.
- [2] *Dotierte Halbleiter.* URL: <https://slideplayer.org/slide/885648/> (besucht am 17.04.2023).
- [3] *V46-Faraday-Effekt an Halbleitern.* TU Dortmund, Fakultät Physik.