

V46

## Der Faraday-Effekt

Fritz Agildere  
fritz.agildere@udo.edu

Amelie Strathmann  
amelie.strathmann@udo.edu

Durchführung: 15. April 2024  
Abgabe:

TU Dortmund – Fakultät Physik

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Zielsetzung</b>	<b>2</b>
<b>2 Theorie</b>	<b>2</b>
2.1 Bandstruktur .....	2
2.2 Dotierung .....	2
2.3 Faraday-Effekt .....	2
<b>3 Aufbau</b>	<b>6</b>
<b>4 Durchführung</b>	<b>7</b>
<b>5 Auswertung</b>	<b>7</b>
5.1 Magnetfeld .....	7
5.2 Faraday-Rotation.....	7
5.2.1 Dotierte Proben .....	7
5.2.2 Reine Probe .....	7
5.3 Effektive Masse .....	7
<b>6 Diskussion</b>	<b>7</b>
<b>Literatur</b>	<b>7</b>
<b>Anhang</b>	<b>9</b>

## 1 Zielsetzung

Im diesem Versuch soll die Faraday-Rotation ausgenutzt werden, um die effektive Masse der Leitungselektronen in negativ dotiertem Galliumarsenid (n-GaAs) zu bestimmen.

## 2 Theorie [1]

### 2.1 Bandstruktur

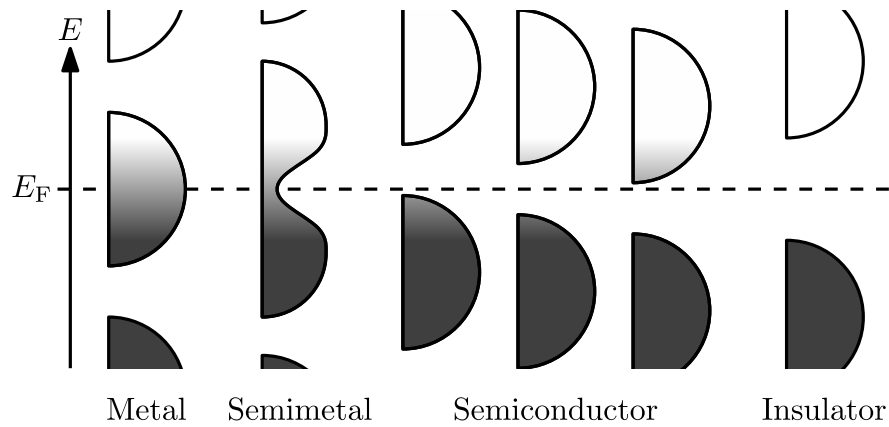


Abbildung 1: Energieschemata verschiedener Materialklassen im Vergleich. [3]

### 2.2 Dotierung

### 2.3 Faraday-Effekt

$$\mathbf{E}(z) = \frac{1}{2} (\mathbf{E}_R(z) + \mathbf{E}_L(z)) \quad (1)$$

$$\mathbf{E}_R(z) = E_0 (\hat{\mathbf{x}} - i\hat{\mathbf{y}}) e^{ik_R z} \quad (2)$$

$$\mathbf{E}_L(z) = E_0 (\hat{\mathbf{x}} + i\hat{\mathbf{y}}) e^{ik_L z} \quad (3)$$

$$\mathbf{E}(0) = E_0 \hat{\mathbf{x}} \quad (4)$$

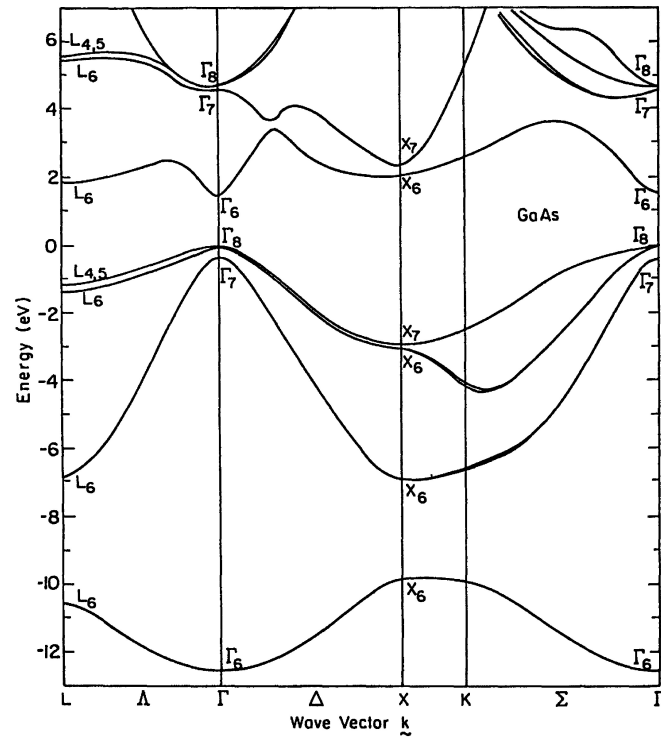


Abbildung 2: Berechnete Bandstruktur von GaAs um die Bandlücke. [2]

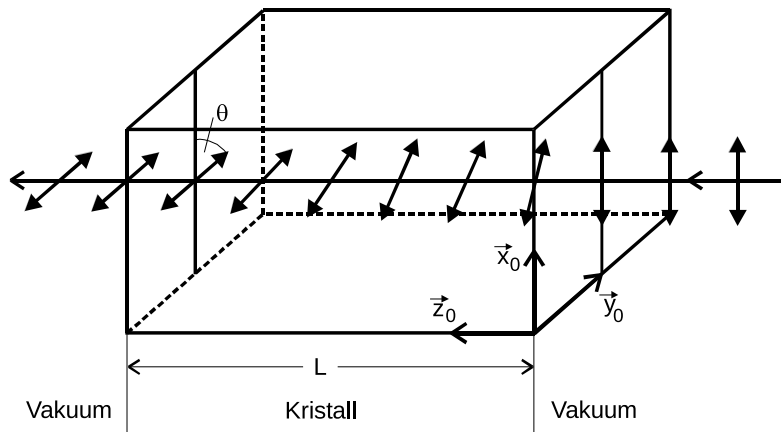


Abbildung 3: Drehung der Polarisationssebene einer Lichtwelle beim Durchgang durch einen Kristall. [1]

$$\mathbf{E}(L) = \frac{1}{2}E_0 \left( (e^{ik_R L} + e^{ik_L L}) \hat{\mathbf{x}} + (e^{ik_R L} - e^{ik_L L}) \hat{\mathbf{y}} \right) \quad (5)$$

$$\psi \equiv \frac{L}{2}(k_R + k_L) \quad (6)$$

$$\theta \equiv \frac{L}{2}(k_R - k_L) \quad (7)$$

$$\mathbf{E}(L) = \frac{1}{2}E_0 \left( (e^{i\psi} e^{i\theta} + e^{i\psi} e^{-i\theta}) \hat{\mathbf{x}} + (e^{i\psi} e^{i\theta} - e^{i\psi} e^{-i\theta}) \hat{\mathbf{y}} \right) \quad (8)$$

$$\mathbf{E}(L) = E_0 e^{i\psi} (\cos \theta \hat{\mathbf{x}} + \sin \theta \hat{\mathbf{y}}) \quad (9)$$

$$v = \frac{\omega}{k} \quad (10)$$

$$n = \frac{c}{v} = \frac{ck}{\omega} \quad (11)$$

$$\theta = \frac{L\omega}{2c}(n_R - n_L) \quad (12)$$

$$\chi = \begin{pmatrix} \chi_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & \chi_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & \chi_{zz} \end{pmatrix} \quad (13)$$

$$\chi = \begin{pmatrix} \chi_{xx} & i\chi_{xy} & 0 \\ -i\chi_{xy} & \chi_{xx} & 0 \\ 0 & 0 & \chi_{zz} \end{pmatrix} \quad (14)$$

$$\mathbf{D} = \varepsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P} \approx \varepsilon_0 (1 + \chi) \mathbf{E} \quad (15)$$

$$\nabla \times (\nabla \times \mathbf{E}) = -\nabla \times \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = -\mu_0 \frac{\partial}{\partial t} \nabla \times \mathbf{H} = -\mu_0 \frac{\partial}{\partial t} \left( \mathbf{j} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \right) \quad (16)$$

$$\nabla \times (\nabla \times \mathbf{E}) \approx -\mu_0 \frac{\partial^2 \mathbf{D}}{\partial t^2} \approx -\varepsilon_0 \mu_0 (1 + \chi) \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} = -\frac{1}{c^2} (1 + \chi) \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} \quad (17)$$

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_0 e^{i(\mathbf{k}\mathbf{r} - \omega t)} \quad (18)$$

$$\mathbf{k} \times (\mathbf{k} \times \mathbf{E}) = -\frac{\omega^2}{c^2} (1 + \chi) \mathbf{E} \quad (19)$$

$$\mathbf{k} = k \hat{\mathbf{z}} \quad (20)$$

$$\mathbf{E} = E_x \hat{\mathbf{x}} + E_y \hat{\mathbf{y}} + E_z \hat{\mathbf{z}} \quad (21)$$

$$\mathbf{k} \times (\mathbf{k} \times \mathbf{E}) = -k^2 (E_x \hat{\mathbf{x}} + E_y \hat{\mathbf{y}}) \quad (22)$$

$$\chi \mathbf{E} = (\chi_{xx} E_x + i\chi_{xy} E_y) \hat{\mathbf{x}} + (\chi_{xx} E_y - i\chi_{xy} E_x) \hat{\mathbf{y}} + \chi_{zz} E_z \hat{\mathbf{z}} \quad (23)$$

$$\frac{\omega^2}{c^2} (1 + \chi_{zz}) E_z = 0 \quad (24)$$

$$E_z = 0 \quad (25)$$

$$\mathbf{C} \begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\omega^2}{c^2} (1 + \chi_{xx}) - k^2 & i\frac{\omega^2}{c^2} \chi_{xy} \\ i\frac{\omega^2}{c^2} \chi_{xy} & -\frac{\omega^2}{c^2} (1 + \chi_{xx}) + k^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (26)$$

$$0 = -\det \mathbf{C} = \left( \frac{\omega^2}{c^2} (1 + \chi_{xx}) - k^2 \right)^2 + i^2 \frac{\omega^4}{c^4} \chi_{xy}^2 \quad (27)$$

$$k_{\pm} = \frac{\omega}{c} \sqrt{1 + \chi_{xx} \pm \chi_{xy}} \quad (28)$$

$$v_L^R = \frac{c}{\sqrt{1 + \chi_{xx} \pm \chi_{xy}}} \quad (29)$$

$$v = \frac{c}{\sqrt{1 + \chi_{xx}}} \quad (30)$$

$$E_{x_L}^R = \pm i E_y \quad (31)$$

$$\theta = \frac{L}{2} (k_+ - k_-) = \frac{L\omega}{2c} \left( \sqrt{1 + \chi_{xx} + \chi_{xy}} - \sqrt{1 + \chi_{xx} - \chi_{xy}} \right) \quad (32)$$

$$\theta \approx \frac{L\omega}{2c\sqrt{1 + \chi_{xx}}} \chi_{xy} = \frac{L\omega v}{2c^2} \chi_{xy} = \frac{L\omega}{2cn} \chi_{xy} \quad (33)$$

### 3 Aufbau

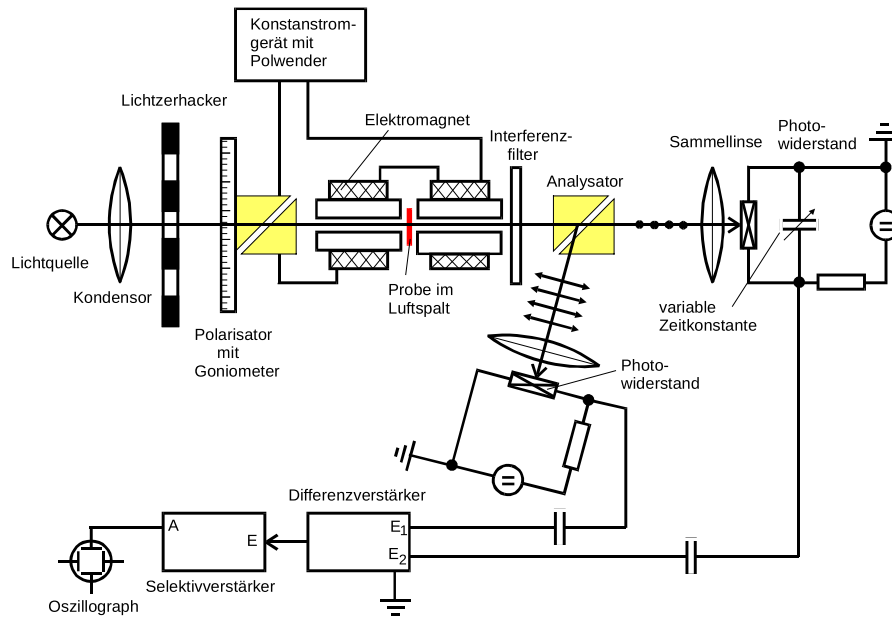


Abbildung 4: Schematische Darstellung der Messapparatur. [1]

## 4 Durchführung

## 5 Auswertung

### 5.1 Magnetfeld

### 5.2 Faraday-Rotation

#### 5.2.1 Dotierte Proben

#### 5.2.2 Reine Probe

### 5.3 Effektive Masse

## 6 Diskussion

## Literatur

[1] *Anleitung zu Versuch 46, Der Faraday-Effekt.* TU Dortmund, Fakultät Physik. 2024.



- [2] „Band Structure of Gallium Arsenide“. In: Marvin L. Cohen und James R. Chelikowsky. *Electronic Structure and Optical Properties of Semiconductors*. Springer Berlin, Heidelberg, 1988, S. 103. ISBN: 978-3-642-97080-1. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-97080-1>.
- [3] *Valence and Conduction Bands*. 2013. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/file:band\\_filling\\_diagram.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/file:band_filling_diagram.svg).

## Anhang