

**VERSUCH NUMMER**

**TITEL**

AUTOR A

authorA@udo.edu

AUTOR B

authorB@udo.edu

Durchführung: DATUM

Abgabe: DATUM

TU Dortmund – Fakultät Physik

## Inhaltsverzeichnis

# 1 Zielsetzung

Das Ziel dieses Versuches ist die Untersuchung der Dipolrelaxation der strontiumdotierten Ionenkristalle Caesiumiodid und Kaliumbromid. Dafür wird die Relaxationszeit  $\tau(T, W, \tau_0)$  der Dipole in den Kristallen bestimmt. Die Temperatur  $T$  wird während des Versuches gemessen, wogegen die Aktivierungsenergie  $W$  und die charakteristische Relaxationszeit  $\tau_0$  über den ebenfalls gemessenen Depolarisationsstrom berechnet werden können

## 2 Theorie

Die Dipolrelaxation wird in diesem Versuch an Ionenkristallen beobachtet. Werden die Dipole der Kristalle durch ein äußeres elektrisches Feld aus ihrer Gleichgewichtslage ausgelenkt, benötigen sie eine Zeit um sich nach Abschalten des elektrischen Feldes wieder in ihre Ausgangslage zurück zubewegen. Der Übergang vom ausgelenkten Zustand zurück in den Ruhezustand wird als Relaxationsprozess bezeichnet. Die Dauer wird Relaxationszeit genannt.

### 2.1 Dipole in Ionenkristalle

Dieser Versuch wird an dem Ionenkristalle Kaliumbromid durchgeführt. Ein Ionenkristall ist durch seine Eigenschaft definiert, abwechselnd aus Anionen und Kationen aufgebaut zu sein. Kaliumbromid besitzt eine einfach kubische Kristallstruktur, da die Kaliumkationen ( $\text{K}: 4s^1 \rightarrow \text{K}^+: 3p^6$ ) und die Bromanionen ( $\text{Br}: 4p^5 \rightarrow \text{Br}^-: 4p^6$ ) jeweils eine flächenzentriert kubische Struktur besitzen, die um eine Gitterkonstante in eine Raumrichtung gegeneinander verschoben sind.

abbildung Kristallstrukturen

Dadurch ist das Kriterium der abwechselnden Kationen-Anionen-Anordnung erfüllt. Ein solcher Ionenkristall ist durch diese regelmäßige Ionenanrdnung nach außen elektrisch neutral. Um die Entstehung von Dipolen im Kristall zu ermöglichen wird die Probe mit einem Anteil von 0,005% mit Strontiumiodid ( $\text{Sr}^{++}: 4p^6$ ,  $\text{I}^-: 5p^6$ ) dotiert. Da Strontiumiodid zweifach positiv geladene Strontiumionen enthält, entstehen Kaliumleerstellen, die mit der zusätzlichen positiven Ladung einen Dipol bilden, damit die Gesamtladungsneutralität des Kristalls aufrechterhalten werden kann.

abbildung Dipol

### 2.2 Dipolpolarisation und -relaxation

Die Dipole, welche sich aus den Strontiumkationen und den Leerstellen ergeben, sind entsprechend ihrer Position im Gitter ausgerichtet. Da nur diskrete Gitterplätze möglich sind, ist auch die Richtungsverteilung der Dipole bei Raumtemperatur statistisch diskret verteilt. Eine Richtungsänderung der Dipole ist durch Leerstellendiffusion möglich, wenn eine materialspezifische, thermische Energie überschritten wird. Sie wird Aktivierungsenergie  $W$  genannt. Die Anzahl der Dipole deren Energie ausreichend zur Diffusion ist, ist durch die Boltzmann-Verteilung gegeben. Das heißt, wenn die spezifische Aktivierungsenergie

überschritten wird (Umgebungstemperatur muss ausreichend hoch sein), dann bewegen sich die Dipole zurück in ihre Ausgangslage. Die Relaxation beginnt. Je größer die Umgebungstemperatur, desto mehr Energie steht den Dipolen zur Verfügung und desto schneller relaxieren sie. Das heißt die Relaxationszeit

$$\tau(T) = \tau_0 \exp\left(\frac{W}{k_B T}\right) \quad (1)$$

wird mit steigender Temperatur kleiner. Die Bewegung der Ladungsträger während der Relaxation führt zu einem Strom innerhalb des Kristalls, welcher Depolarisationsstrom genannt wird. Dieser kann mit Strom durch weitere bewegliche Ladungsträger (z.B. aufgrund von Störstellen) überlagert werden (Untergrund).

### 2.3 Berechnung der Aktivierungsenergie

Um die Aktivierungsenergie zu bestimmen können zwei Ansätze verwendet werden, wobei beide den Depolarisationsstrom beinhalten. Der erste Ansatz wird über die Depolarisationsstromdichte geführt. Dabei wird zunächst davon ausgegangen, dass diejenigen Dipole  $y(T)$ , die sich durch ein angelgtes elektrisches Feld ausgereicht haben durch

$$y(T) = \frac{pE}{3k_B T} \quad (2)$$

gegeben sind. Der Depolarisationsstrom  $j(t)$  kann dann über die ausgerichteten Dipole  $y(T)$  über

$$j(t) = y(T_P) p \frac{dN}{dt} \quad (3)$$

ausgedrückt werden, wobei  $p$  das Dipolmoment und

$$\frac{dN}{dt} = -\frac{N}{\tau(T)} \quad (4)$$

die Stromdichte, also die pro Zeit und Volumeneinheit relaxierenden Dipole darstellt. Eine Integration dieses Ausdrucks führt dann auf

$$N = N_P \exp\left(-\frac{1}{b} \int_{T_0}^T \frac{dT'}{\tau(T')}\right)$$

wobei  $N_P$  die Anzahl der bereits zu Beginn des Relaxationsprozesses, entsprechend des Gleichgewichtszustandes orientierten Dipole darstellt. Die konstante Temperaturänderung ist definiert als

$$b = \frac{dT}{dt}. \quad (5)$$

Für den Depolarisationsstrom ergibt sich somit die Gleichung

$$j(T) = \frac{p^2 E}{3k_B T_P} \frac{N_P}{\tau_0} \exp \left( -\frac{1}{b\tau_0} \int_{T_0}^T \exp \left( -\frac{W}{k_B T'} \right) dT' \right) \exp \left( -\frac{W}{k_B T} \right) \quad (6)$$

wobei dieser Ausdruck für  $T_0 \approx T$  aufgrund des Zusammenhangs

$$\int_{T_0}^T \exp \left( -\frac{W}{k_B T} \right) \approx 0$$

weiter zu

$$j(T) \approx \frac{p^2 E}{3k_B T_P} \frac{N_P}{\tau_0} \exp \left( -\frac{W}{k_B T} \right) \quad (7)$$

approximiert werden kann. Aus diesem Ergebnis kann schließlich die Aktivierungsenergie  $W$  abgeleitet werden. Eine weitere Möglichkeit zur Bestimmung von  $W$  liegt in einem Ansatz der über die Polarisation  $P$  geführt wird. Die zeitliche Ableitung der Polarisation ist als

$$\frac{dP}{dt} = -\frac{P(t)}{\tau(T(t))}$$

gegeben, wobei sie einen Strom durch den Probenquerschnitt  $F$  erzeugt und daher auch als

$$\frac{dP}{dt} = \frac{j(t)}{F} \quad .$$

geschrieben werden kann. Somit lassen sich die oberen Gleichungen auf die Form

$$\tau(T) = \frac{\int_T^\infty j(T') dT'}{bj(T)}$$

bringen. Wenn  $\tau(T)$  durch Gleichung (??) ersetzt wird kann schließlich die Aktivierungsenergie aus der Form

$$\frac{W}{k_B T} = \ln \left( \frac{\int_T^\infty j(T') dT'}{bj(T)\tau_0} \right) \quad (8)$$

abgelesen werden. In der Praxis gilt  $j(T^\infty) = j(T^*) \approx 0$ .

[1]

### 3 Durchführung

#### 4 1. Messreihe

Zu Beginn des Versuches wird die Kaliumbromidplatte, welche sich zwischen den Plattenkondensatoren befindet auf 47°C erhitzt. Danach wird an die Kondensatorplatten eine Spannung