

VERSUCH NUMMER

TITEL

Marius Hötting
Marius.Hoetting@udo.edu

Hubertus Kaiser
Hubertus.Kaiser@udo.edu

Durchführung: DATUM

Abgabe: DATUM

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Ziel des Versuches	3
2	Theoretische Grundlagen	3
2.1	Messverfahren	4
3	Fehlerrechnung	6
4	Versuchsaufbau und Durchführung	7
5	Durchführung	8
6	Auswertung	9
7	Diskussion	10

1 Ziel des Versuches

Ziel des Versuches ist es die Dipolrelaxation in Ionenkristallen genauer zu untersuchen. Das heißt es sollen die charakteristischen Größen wie die Relaxationszeit und die materialspezifische Aktivierungsenergie W bestimmt werden.

2 Theoretische Grundlagen

Zuerst betrachten wir wie es zur Dipolen in Ionenkristallen kommt und welche Eigenschaften diese haben. Dazu betrachte man die Abbildung 2, es ist ein Ionengitter mit einwertigen Ionen abgebildet (CsJ). Zur Erzeugung der Dipole wird dieses Gitter mit Sr^{2+} dotiert. Da der Kristall elektrisch neutral ist, hat dieses eine Leerstelle zugeordnet. Es bildet sich ein Dipol zwischen dem dotierten Ion (Sr^{2+}) und der Leerstelle mit einer Vorzugsrichtung aus. Die so entstehenden Richtungen sind aufgrund des Kristalls diskretisiert. Das Verhalten dieser Dipole

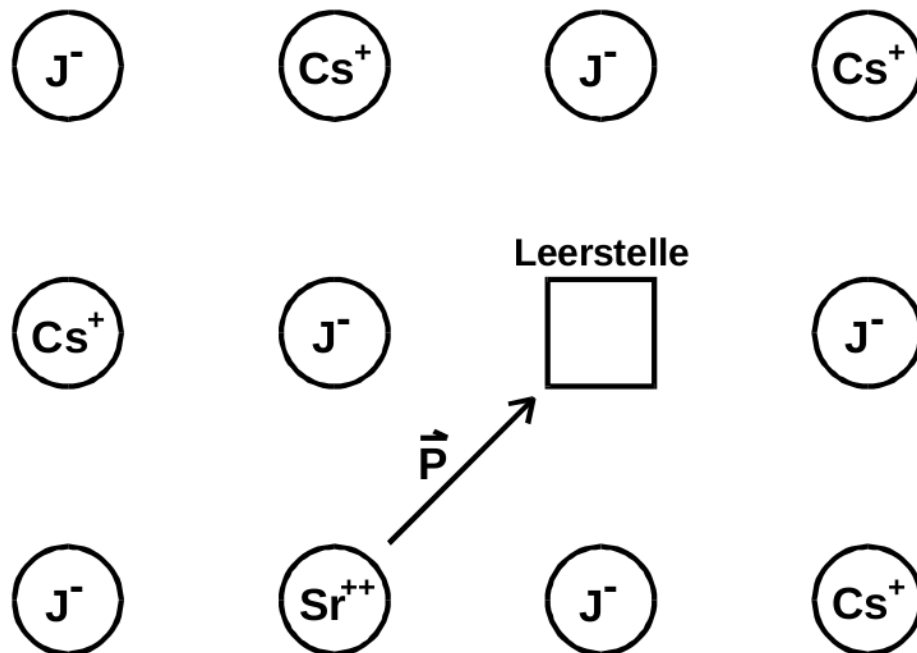


Abbildung 1: Darstellung eines Ionenkristallgitters mit einem ausgebildeten Dipol

hängt von der Temperatur des Kristalls ab. Für Temperaturen unter 500°C wird eine Änderung des Dipols nur über eine Leerstellendiffusion erzeugt. Diese kann nur stattfinden, wenn eine materialspezifische Aktivierungsenergie aufgebracht werden kann. Diese wird benötigt um die Änderung des Gitterpotentials, welches durch die neue Konfiguration entsteht, zu ermöglichen. Die mittlere Zeit die ein Dipol braucht, bis zwei Umrorientierungen stattfinden bezeichnet man als Relaxationszeit. Diese hängt davon ab wieviel des Gesamtdipolmomentes die Energie W besitzt um die Potentialschwelle zu überwinden. Diese Größe ist Boltzmann verteilt. Die Relaxationszeit ist gegeben durch:

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

Das τ_0 wird als charakteristische Relaxationszeit bezeichnet und gibt das Verhalten der Relaxationszeit im unendlichen an, sie ist definiert als $\tau_0 = \tau(\infty)$. Nach Definition der zu bestimmenden Größen wird nun eine Betrachtung des Messverfahren durchgeführt.

2.1 Messverfahren

Zur Untersuchung der Dipole wird ein Plattenkondensator mit Dielektrikum verwendet. Das Dielektrikum besitzt Dipole die sich ausrichten können. Hierzu wird ein elektrisches Feld der Feldstärke E angelegt. Dies führt zur einer Ausrichtung der Dipole entlang des Feldes. Effekte wie die thermische Bewegungen des Gitters und ähnliche Effekte führen dazu, dass sich nur ein Bruchteil der Dipole ausrichten kann. Dieser Bruchteil y lässt sich durch die Langevin-Funktion, welche eine Funktion zur Berechnung von Orientierungspolarisationen ist, berechnen. Sie ist gegeben durch:

$$y = L(x) = \coth(x) - 1/x$$

Die Langevin-Funktion ist eine allgemeine Funktion, für den hier betrachteten Fall lässt sich das x identifizieren als

$$x = \frac{pE}{kT}.$$

Für das durchgeführte Experiment kann die Näherung getroffen werden das

$$pE \ll kT$$

sodass sich für die Langevin-Funktion ergibt:

$$y(T) = \frac{pE}{3kT}$$

Zusätzlich muss angenommen werden, dass Dipole sich lange gegenüber der Relaxationzeit im E-Feld aufhalten. Damit die obenstehende Gleichung gilt.

Es wird nun der Strom betrachtet der entsteht wenn sich die Dipole ausrichten, dieser ist proportional zum Anteil der bei der Polarisations Temperatur T_p polarisierten Dipole, zum Probenquerschnitt F und der relaxierenden Dipole $dN/dt(t)$. Es folgt:

$$j(T) = y(T_p) F \frac{dN}{dt}(T)$$

Der Ausdruck $\frac{dN}{dt}(T)$ lässt sich Nähern, sodass gilt:

$$j(T) \approx y(T_p) \frac{F N_p}{\tau_o} \exp \frac{-W}{k_b T}$$

$$j(T) \frac{\tau_0}{F_p N_p y(T_p)} \approx \exp \frac{-W}{k_b T}$$

Sodass schließlich näherungsweise ein Zusammenhang zwischen der Aktivierungsenergie W herstellen lässt:

$$\ln\left(\frac{j(T)}{1 \text{ A}}\right) + \ln(\text{const.}) = \frac{-W}{k_b T} \quad (2)$$

Alternativ kann man beginnend mit einer Betrachtung der Probenpolarisation

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

Die Polarisation lässt sich als ein Integral über die Stromdichte darstellen.

$$P(t = \infty) - P(t(T)) = \int_{t(T)}^{\infty} j(t') dt'$$

Der Term $P(t = \infty)$ verschwindet, da nach beliebig langer Zeit alle Dipole relaxiert sind. Des Weiteren wird erneut die konstante Heizrate $b = dT/dt$ angenommen, sodass folgt:

$$\tau(T) = \int_T^{\infty} j(T') dT' \frac{1}{j(T)b}$$

Mit Hilfe der Gleichung (1) lässt sich $\tau(T)$ ersetzen:

$$\ln\left(\int_T^{\infty} j(T') dT'\right) - \ln(j(T)\tau_0 b) = \frac{W}{k_B T} \quad (3)$$

Für die folgenden Umformungen wird die obere Integralgrenze des uneigentlichen Integrals auf eine Temperatur gesetzt, bei der der Strom verschwindet. Zur Berechnung der charakteristischen Relaxationszeit τ_0 wird das Maximum der Stromdichte gesucht.

$$\left. \frac{dj}{dT} \right|_{T=T_{\max}}$$

Mit Hilfe des Maximierungsproblems lässt sich die Formel für das τ_0 gewinnen:

$$\tau_0 = b^{-1} \exp\left(-\frac{W}{k_b T_{\max}}\right) \frac{k_B T_{\max}^2}{W}. \quad (4)$$

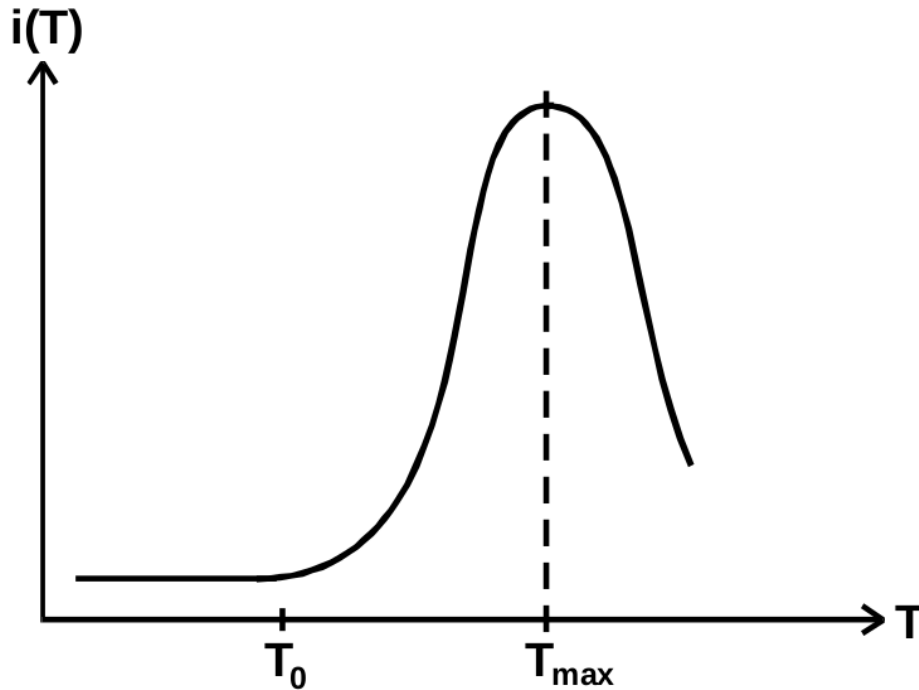


Abbildung 2: Darstellung eines Ionenkristallgitters mit einem ausgebildeten Dipol

3 Fehlerrechnung

Dieses Kapitel listet kurz und bündig die benötigten und aus den Methoden der Statistik bekannten Formeln für die Fehlerrechnung auf. Die Schätzung der Standardabweichung ist

$$\Delta X = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} . \quad (5)$$

Der Mittelwert ist

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (6)$$

Der Fehler des Mittelwertes ist

$$\Delta \bar{X} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} . \quad (7)$$

Für fehlerbehaftete Größen, die auch in folgenden Formeln verwendet werden, muss die Fehlerfortpflanzung nach Gauß berücksichtigt werden.

$$\Delta f = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial X_i} \right)^2 \cdot (\Delta X_i)^2} \quad (8)$$

Bei der linearen Regressionsrechnung sind die Parameter m und b der Ausgleichsgerade $y = mx + b$ wie folgt gegeben:

$$m = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\overline{x^2} - \bar{x}^2} \quad b = \bar{y} - m\bar{x} . \quad (9)$$

Dabei sind x_i und y_i linear abhängige Messgrößen. Der Fehler dieser Parameter wiederum errechnet sich aus

$$\sigma_m^2 = \frac{\sigma^2}{n(\overline{x^2} - \bar{x}^2)} \quad \sigma_b^2 = \frac{\sigma^2 \bar{x}^2}{n(\overline{x^2} - \bar{x}^2)} . \quad (10)$$

Relative Abweichungen einer Messgröße x gegenüber Literaturwerten x_{Lit} werden nach der Vorschrift

$$R_x = \frac{x - x_{\text{Lit}}}{x_{\text{Lit}}} \quad (11)$$

berechnet.

4 Versuchsaufbau und Durchführung

Zunächst wird die Probe auf 60°C erhitzt und am externen elektrischen Feld eine Spannung von 1 kV angelegt, welches zur Ausrichtung der Dipole führt und 15 min gewartet. Danach werden die nun ausgerichteten Dipole mittels flüssigen Stickstoff eingefroren. Dieses geschieht bei einer Temperatur von ca. -60°C . Jetzt kann das elektrische Feld ausgeschaltet werden und die Kondensatorplatten werden kurzgeschlossen um sich komplett zu entladen. Anschließend kann der Messprozess beginnen, dafür wird ein Pico-Ampermeter angeschlossen und die Probe mit einer konstanten Heizrate von $2^{\circ}\text{C}/\text{min}$ gehitzt und der entstehende Strom notiert. Anschließend wird dieser Messvorgang mit einer Heizrate von $1.5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ wiederholt.

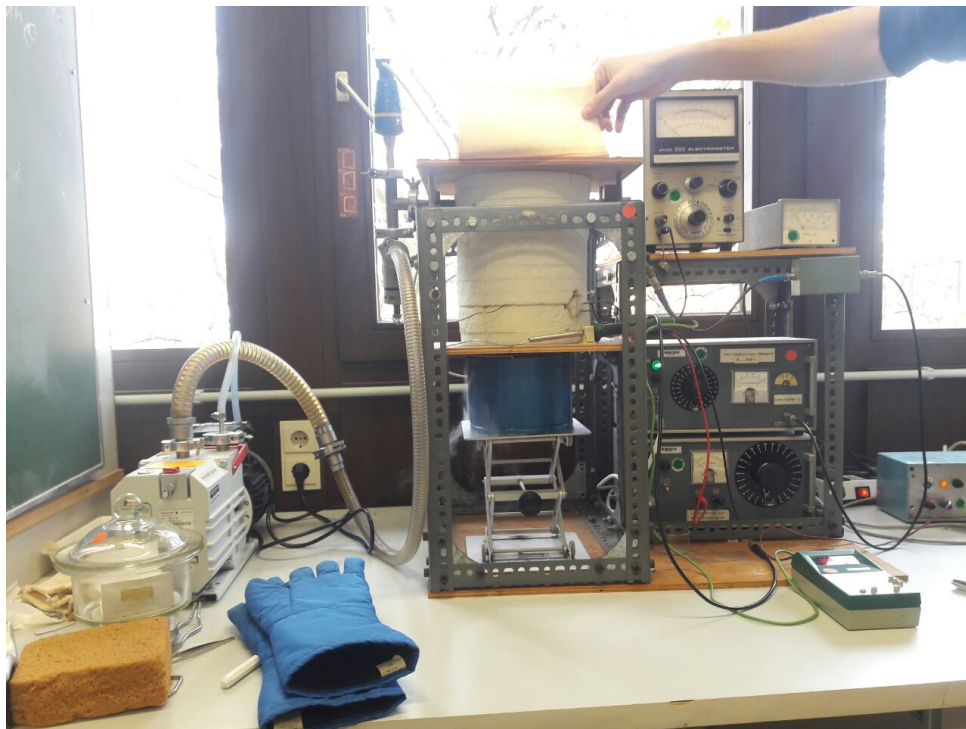


Abbildung 3: Foto des Versuchsaufbaus

5 Durchführung

6 Auswertung

7 Diskussion