

Versuch Nr.V48

Dipolrelaxation in Ionenkristallen

Niklas Düser

niklas.dueser@tu-dortmund.de

Benedikt Sander

benedikt.sander@tu-dortmund.de

Durchführung: 16.05.2022

Abgabe: .05.2022

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|----------|
| 1 | Zielsetzung | 3 |
| 2 | Theorie | 3 |
| 2.1 | Dipole in dotierten Ionenkristallen | 3 |
| 2.2 | Depolarisationseffekte | 3 |
| 2.3 | Polarisationsansatz | 3 |
| 2.4 | Stromdichtenansatz | 4 |
| 3 | Aufbau | 5 |
| 4 | Durchführung | 5 |
| 5 | Auswertung | 6 |
| 5.1 | Fehlerrechnung | 6 |
| 6 | Diskussion | 7 |

1 Zielsetzung

Dipole durch dotierung
Anregungsenergie
Relaxationszeit

2 Theorie

2.1 Dipole in dotierten Ionenkristallen

regelmäßiges Gitter aus Ionen
insgesamt elektrisch neutral
dotierung führt zu dipol
bei raumtemperatur in summe kein dipolmoment

2.2 Depolarisationseffekte

Anfangsbedingung: Dipole sind in eine Richtung ausgerichtet und eingefroren
Beim aufwärmen der Probe wird der Strom gemessen
Reorientierung der Dipole
unter 500C Leerstellendiffusion, dazu materialspezifische Aktivierungsenergie W
Energie im Kristall durch Boltzmann-Statistik $\exp\left(\frac{-W}{k_B T}\right)$

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

$$\tau_0 = \tau(\infty)$$

2.3 Polarisationsansatz

Depolarisationsstrom:

$$I(T) = -\frac{dP(t)}{dt} \quad (2)$$

Polarisationsrate:

$$\frac{dP(t)}{dt} = \frac{P(t)}{\tau(T)} \quad (3)$$

ergibt:

$$I(T) = \frac{P(t)}{\tau(T)} \quad (4)$$

Separation der Variablen von 3:

$$P(t) = P_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau(T)}\right) \quad (5)$$

Es ergibt sich

$$I(T) = \frac{P_0}{\tau(T)} \exp\left(-\frac{t}{\tau(T)}\right) \quad (6)$$

Hier gibt t die Zeit an, die benötigt wurde um T zu erreichen, sie lässt sich auch als Integral schreiben:

$$I(T) = \frac{P_0}{\tau(T)} \exp\left(-\int_0^t \frac{dt}{\tau(T)}\right) \quad (7)$$

mittels einer konstanten Heizrate

$$b := \frac{dT}{dt} = \text{const} \quad (8)$$

lässt sich der Depolarisationsstrom als

$$I(T) = \frac{P_0}{\tau(T)} \exp\left(\frac{-1}{b\tau_0} \int_{T_0}^T \frac{dT'}{\tau(T')}\right) \quad (9)$$

ausdrücken.

2.4 Stromdichtenansatz

mittlere Polarisation:

$$\bar{P}(T) = \frac{N}{N_V} \frac{p^2 E}{3k_B T} \quad (10)$$

mit dem Dipolmoment p , der elektrischen Feldstärke E , der Temperatur T und der Dipoldichte N_V . Die Geschwindigkeit der relaxierenden Dipole ist

$$\frac{dN(T)}{dt} = -\frac{N}{\tau(T)} \quad (11)$$

Analog zum vorherigen Kapitel ergibt sich die Lösung der Differentialgleichung zu:

$$N = N_P \exp\left(\frac{-1}{b} \int_{T_0}^T \frac{dT'}{\tau(T')}\right) \quad (12)$$

Weiterhin gilt

$$I(T) = \bar{P}(T) \frac{dN}{dt} \quad \text{und} \quad I(T) = -\bar{P}(T) \frac{N}{\tau(T)} \quad (13)$$

Zusammensetzen aller dieser Terme ergibt dann

$$I(T) = \frac{p^2 E}{3k_B T} \frac{N_P}{\tau_0} \exp\left(\frac{-1}{b\tau_0} \int_{T_0}^T \frac{dT'}{\tau(T')}\right) \exp\left(-\frac{W}{k_B T}\right) \quad (14)$$

3 Aufbau

4 Durchführung

5 Auswertung

5.1 Fehlerrechnung

Die Fortpflanzung von Messungenauigkeiten für mehrere unabhängige Fehler wird durch die Gaußsche Fehlerfortpflanzung

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

beschrieben. Dabei gibt Δx die Unsicherheit des arithmetischen Mittelwerts \bar{x} einer Observablen x an:

$$\Delta x = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}.$$

Die Zahl n gibt die Anzahl der unabhängigen Messungen an.

Die Messwerte, die bei Messungen mit der Turbopumpe aufgenommen wurden, besitzen im Bereich $1 \cdot 10^{-8}$ mbar bis 100 mbar eine Ungenauigkeit von 30%. Im Bereich von 100 mbar bis 1000 mbar sind es sogar 50 %.

Für die Messungen mit der Drehschieberpumpe sind es für Werte kleiner als $2 \cdot 10^{-3}$ mbar ein Faktor 2 vom Messwert. Zusätzlich sind es von $2 \cdot 10^{-3}$ mbar bis 10 mbar ± 120 mbar und von 10 mbar bis 1200 mbar $\pm 3,6$ mbar.

genutzt. Des Weiteren wird für die relative Abweichung berechneter Werte vom Theoriewert die Formel

$$\Delta x = \frac{x - x_{theo}}{x_{theo}}$$

genutzt.

6 Diskussion