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

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 Blotzmann-Statistik $\exp\left(\frac{-W}{k_\mathrm{B}T}\right)$

$$\tau(T) = \tau_0 \exp\left(\frac{-W}{k_\mathrm{B}T}\right) \tag{1}$$

$\tau_0 = \tau(\infty)$

2.3 Polarisationsansatz

Depolarisationsstrom:

$$I(T) = -\frac{\mathrm{d}P(t)}{\mathrm{d}t} \tag{2}$$

Polarisationsrate:

$$\frac{\mathrm{d}P(t)}{\mathrm{d}t} = \frac{P(t)}{\tau(T)} \tag{3}$$

ergibt:

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

Seperation der Variabeln von 3:

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

Es egibt sich

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

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

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

mittels einer konstanten Heizrate

$$b := \frac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}t} = const \tag{8}$$

lässt sich der Depolarisationsstrom als

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

ausdrücken.

2.4 Stromdichtenansatz

mittlere Polarisation:

$$\bar{P}(T) = \frac{N}{N_V}\frac{p^2E}{3k_\mathrm{B}T} \tag{10}$$

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

$$\frac{\mathrm{d}N(T)}{\mathrm{d}t} = -\frac{N}{\tau(T)} \tag{11}$$

Analog zum vorherigen Kapitel egibt sich die Lösung der Differentialgelich zu:

$$N = N_\mathrm{P}\exp\left(\frac{-1}{b}\int_{T_0}^{T} \frac{\mathrm{d}T'}{\tau(T')}\right) \tag{12}$$

Weiterhin gilt

$$I(T) = \bar{P}(T)\frac{\mathrm{d}N}{\mathrm{d}t} \qquad \text{und} \qquad I(T) = -\bar{P}(T)\frac{N}{\tau(T)} \tag{13}$$

Zusammensetzten aller dieser Terme egibt dann

$$I(T) = \frac{p^2E}{3k_\mathrm{B}T}\frac{N_\mathrm{P}}{\tau_0}\exp\left(\frac{-1}{b\tau_0}\int_{T_0}^{T} \frac{\mathrm{d}T'}{\tau(T')}\right)\exp\left(-\frac{W}{k_\mathrm{B}T}\right) \tag{14}$$

2.5 Berechnung der Aktivierungsenergie W

2.5.1 Bestimmung mithilfe des Maximums

Wird angenommen, dass die Aktivierungsenergie W groß gegenüber der Energie $k_\mathrm{B}T$ und der Temperaturdifferenz $T - T_0$, so wird das Integral in Gleichung14

$$\int_{T_0}^{T} \frac{\mathrm{d}T'}{\tau(T')} \approx 0 \tag{15}$$

Somit ergibt sich dich der Strom dann zu

$$\frac{P^2 E}{3k_\mathrm{B}T} \frac{N_\mathrm{P}}{\tau_0} \exp\left(-\frac{W}{k_\mathrm{B}T}\right) \tag{16}$$

Mittes des Logarithmus entsteht hieraus eine Geradengleichung

$$\ln(I(T)) = \left(\frac{P^2 E N_\mathrm{P}}{3k_\mathrm{B}T\tau_0}\right) - \frac{W}{k_\mathrm{B}}\frac{1}{T} \tag{17}$$

Die Steigung dieser Geraden ist also $\frac{W}{k_\mathrm{B}}$ oder

$$W = m \cdot k_\mathrm{B} \tag{18}$$

mit der Steigung m

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 $\pm$ 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