

Physikalisches Praktikum für Fortgeschrittene / Praktikum B
II. Physikalischen Institut, Universität zu Köln

FP16 /BP 2.3: Elektrische Messungen an einem
Ferroelektrikum

Versuchsbetreuer:	Thomas Willers	David Regesch
Raum:	318	315
Telefon:	3584	1335

1 Vorausgesetzte Kenntnisse

1. (a) **Ferroelektrizität und der ferroelektrische Phasenübergang:**
 - Zusammenhang zwischen elektrischer Polarisierung P und elektrischem Feld E
 - Hystereseverhalten
 - ferroelektrischer Phasenübergang 1. und 2. Ordnung
 - Temperaturverlauf der spontanen Polarisierung $P_S(T)$ und der Dielektrizitätskonstanten (DK) $\varepsilon(T)$
 - Curie–Weiss–Gesetz, Curie–Temperatur, Curie–Konstante
 - Landau Theorie für Phasenübergänge
- (b) **Festkörpereigenschaften von TGS: $(\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH})_3 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$**
 - Polare Achse
 - Monoklines Kristallsystem
 - Richtungsabhängigkeit der DK etc. (s.o.)
 - Piezoelektrizität
 - Mechanismus der Dipolumkehr
- (c) **Messmethoden**
 - Schaltung von Sawyer und Tower
 - Wechselstrommessbrücke

2 Literatur

- Charles Kittel: Einführung in die Festkörperphysik, entsprechende Kapitel
- Jona/ Shirane: Ferroelectric Crystals, S. 1- 17; 19- 22; 28- 36; 56- 59 (im Anhang)

- W. P. Mason : Crystal Physics of Interaction Processes, S. 37
- University of Michigan,
http://instructor.physics.lsa.umich.edu/adv-labs/Ferroelectric%20Phase%20Transitions/phase_transitions.pdf
- (Landau, Lifschitz: Lehrbuch der Theoretischen Physik V, Statistische Physik, Kapitel 14, Paragraph 142 und 143)

3 Zur Vorbereitung

Ihre Kenntnisse zu den verschiedenen Punkten können Sie anhand folgender Fragen kontrollieren:

1. Wie lassen sich Ferroelektrika charakterisieren und klassifizieren? (u.a. als Beispiel: Eigenschaften von TGS)
2. Welche experimentell überprüfbaren Ergebnisse liefert die thermodynamische Theorie für den ferroelektrischen Phasenübergang 1. und 2. Ordnung? Inwieweit sind die einzelnen Voraussetzungen für die Anwendbarkeit dieser Theorie bei TGS erfüllt?
3. Wieso sieht man mit Hilfe der Schaltung von Sawyer und Tower die Hystereseschleife $P(E)$? Wie lauten die Umrechnungsfaktoren P/U_y und E/U_x ? Wie sieht die Herleitung für die Beziehungen zwischen U_x und E und zwischen U_y und P aus? Sollte C_1 groß oder klein gegenüber C_x sein? Wie gut ist diese Bedingung zwischen Raumtemperatur und T_C bei TGS erfüllt? (Vergleich Abb. 2 mit Abb. I-4 auf Seite 5 bei Jona/ Shirane.)
4. Welche Temperaturabhängigkeit erwartet man für P_S ? Wie lässt sich diese mit der Landau-Theorie erklären?

Wir verwenden das SI System: E in $[\frac{V}{m}]$, P in $[\frac{As}{m^2}]$ (wie Mason, S. 37).

4 Probe und Schaltung

4.1 Probe und Probenhalterung

Die zu untersuchende Probe besteht aus einem TGS-Stab, der entsprechend dem von Jona und Shirane angegebenen rechtwinkligen Achsensystem (S. 29) aus einem größeren Einkristall herausgeschnitten wurde. Ihre b-Flächen wurden mit einer dünnen Goldschicht bedampft und dienen als Elektroden. Die Probentemperatur wird mit Hilfe

eines Kupfer–Konstantan–Thermoelements gemessen, dessen eines Ende in unmittelbarer Nähe der Probe befestigt ist, während das andere Ende in Eiswasser gehalten wird. Die Probe ist von einem Messingblock umgeben, auf den Thermocoax–Heizdrähte gewickelt sind. Dichte von TGS : $\rho = (1.690 \pm 0.005) \frac{g}{cm^3}$

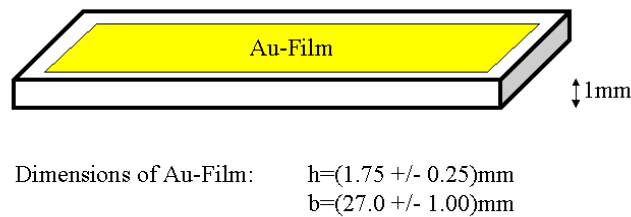


Abbildung 1: Probengeometrie

4.2 Schaltung von Sawyer und Tower

Diese Schaltung dient der Darstellung der Hysteresekurve einer ferroelektrischen Substanz. Das von einem Frequenzgenerator erzeugte Sinussignal wird zunächst von einem HV-Amplifier 100-fach (!) verstärkt und dann auf die Probe gegeben. Diskutieren Sie die Schaltung. Bei der Berechnung der y -Ablenkung am Oszillographen ist zu beachten, dass die als Plattenkondensator wirkende Probe C_x und der Vergleichskondensator C_1 infolge der Reihenschaltung gleiche Ladung besitzen. Der Zusammenhang zwischen Ladung und elektrischer Polarisation ist zu berücksichtigen.

5 Messung

1. Schließen sie die Geräte wie abgebildet an und bilden sie die Hysteresekurve mit dem digitalen Oszillographen ab (Achten sie auf die richtige Wahl zwischen AC oder DC Modus). Wählen sie hierzu an dem Frequenzgenerator eine sinusförmige Spannung zwischen 0.5 und 2.5 Volt und einer Frequenz zwischen 0.1 und 400 Hertz. Variieren sie Spannung und Frequenz in den oben angegebenen Grenzen und speichern sie einzelne Beispielhysteresekurven ab. Erklären sie das Verhalten

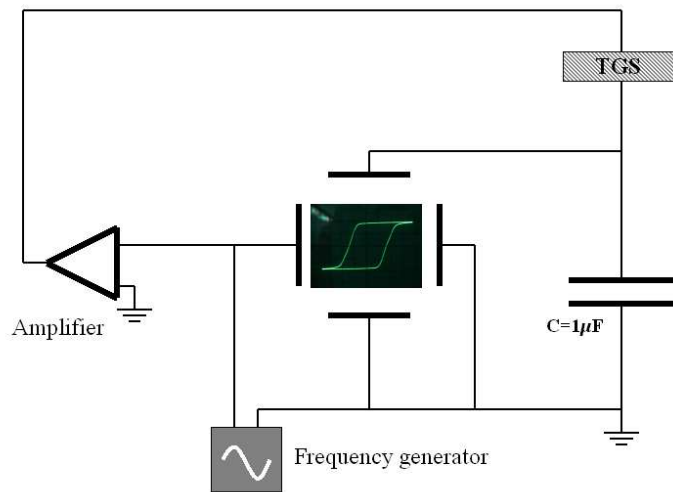


Abbildung 2: Schaltung von Sawyer und Tower

der Kurvenform mit sich ändernder Spannung/Frequenz. Wählen sie nun eine geeignete Messeinstellung zum Bestimmen der spontanen Polarisierung, begründen sie ihre Entscheidung.

2. Bilden sie die Hysteresekurve mit dem digitalen Oszilloskopen ab. Schalten die den x-y-Modus am Oszilloskopen aus. Speichern sie die Kurven und erklären sie deren Verlauf in Bezug auf die Hysteresekurve, welche im x-y-Modus sichtbar ist.
3. Bestimmen Sie den Verlauf der spontanen Polarisierung P_S in Abhängigkeit von der Temperatur. Dazu wird unter langsamen Aufheizen von Raumtemperatur an bis über den Phasenübergang für hinreichend viele Temperaturen die Hysteresekurve der Substanz auf dem Oszilloskopen abgebildet. Aus der Remanenz bestimmt man jeweils die spontane Polarisierung für die betreffende Temperatur. Stimmen Sie die Ausgangsspannung und die x- Verstärkung am Oszilloskopen so aufeinander ab, dass Sie saubere, voll ausgesteuerte Hystereseschleifen bekommen. Langsames Aufheizen der Probe erreicht man bei einer Heizleistung von bis zu 4 Watt. Was geschieht bei größerer bzw. kleinerer Heizleistung?
4. Messen Sie den Temperaturgang der statischen Dielektrizitätskonstanten ϵ_{st} in der nicht-polaren (paraelektrischen) Phase. Heizen Sie dabei die Probe auf 80° C auf und lassen sie langsam abkühlen. Messen Sie dabei die Kapazität der Probe. Sowohl die Temperatur als auch die Kapazität können mit dem Programm *xy-plotter* in einen PC eingelesen werden. Um die aufgenommene Datenmenge zu verringern kann die Anzahl der Datenpunkte auf einen Punkt pro Sekunde begrenzt werden.

6 Auswertung

1. (Siehe Punkte 1. und 2. unter Messung)
2. Tragen Sie jeweils die gemessenen Kurven auf: $P_S(T)$, $\varepsilon_{st}(T)$. Entnehmen Sie daraus den Wert der spontanen Polarisierung bei Raumtemperatur und die Curie-Temperatur T_C .
3. Tragen Sie das Quadrat der spontanen Polarisierung gegen die Temperatur auf und bestimmen Sie daraus durch geeignete Geradenanpassung T_C und die Curie-Konstante C .
4. Tragen Sie die inverse Dielektrizitätskonstante in der paraelektrischen Phase gegen die Temperatur auf und bestimmen Sie durch Geradenanpassung T_C und C .
5. Interpretieren Sie den Verlauf der Kurven und etwaige Unterschiede in den Ergebnissen physikalisch.

Bei allen Messungen ist die Probenhalterung mit äußerster Vorsicht zu behandeln, da der Kristall und seine Kontaktierung gegenüber Erschütterungen empfindlich sind. Nach Beendigung der Messung bitte das Dewar-Gefäß entleeren.