

POLITECHNIKA ŁÓDZKA

INSTYTUT FIZYKI

LABORATORIUM

FIZYKI KRYSZTAŁÓW STAŁYCH

ĆWICZENIE Nr 3

**Pomiar zależności temperaturowej
przenikalności dielektrycznej kryształów TGS
w pobliżu przejścia fazowego**

Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie zależności przenikalności dielektrycznej dielektryka (ferroelektryka) od temperatury, będącej typową, a zarazem najbardziej rozwiniętą metodą wykrywania i badania ferroelektrycznych przejść fazowych.

Wprowadzenie

Badanie ferroelektrycznych własności dielektryków zapoczątkowane zostały w latach dwudziestych ubiegłego stulecia. Stwierdzono, że praktycznie wszystkie główne własności i procesy zachodzące w ferroelektrykach (polaryzacja, przewodnictwo elektryczne, efekt piroelektryczny, efekt piezoelektryczny, zjawisko elektrostrykcji, zjawiska elektrooptyczne itd.) są ściśle związane z występowaniem polaryzacji spontanicznej i z jej zmianami pod wpływem czynników zewnętrznych (zmiany temperatury, deformacje, zewnętrzne pola elektryczne i inne).

W celu opisanego procesów związanych z polaryzacją spontaniczną najwygodniej jest rozpatrywać swobodną energię kryształu G jako funkcję temperatury T , naprężeń p i polaryzacji P . Postać różniczkowa tej funkcji jest następująca:

$$dG = -SdT + r_i dp_i + E_m dP_m \quad (1)$$

gdzie: S – entropia, r_i – składowe tensora deformacji,

E_m – składowe tensora natężenia pola elektrycznego

Rozpatrując kryształ pozbawiony naprężeń ($p = 0$) można rozłożyć funkcję G na szereg ze współczynnikami zależnymi od temperatury.

W kryształach posiadających tylko jedną oś polaryzacji spontanicznej (sól Seignette'a, TGS, KDP i wiele innych) możliwe są tylko dwie orientacje P_s , mianowicie: $+P_s$ i $-P_s$. Ponieważ żaden z tych kierunków nie jest uprzywilejowany, przeto w rozkładzie energii swobodnej $G(P, p)|_{p=0}$ na szereg będą występować tylko wyrażenia zawierające parzyste potęgi polaryzacji:

$$G = G_0 + (1/2)\alpha^* P_s^2 + (1/4)\beta P_s^4 + (1/6)\gamma P_s^6 + \dots \quad (2)$$

W związku z tym natężenie pola elektrycznego będzie miało postać:

$$E = \partial G / \partial P_s = \alpha^* P_s + \beta P_s^3 + \gamma P_s^5 + \dots \quad (3)$$

Pamiętając, że związek pomiędzy polaryzacją, a natężeniem pola elektrycznego ma postać:

$$P = \alpha E \quad (4)$$

możemy zapisać $\alpha^* = 1/\alpha$ (5)

gdzie: α - polaryzowalność, zaś α^* - polaryzowalność odwrotna.

Zakładając w pierwszym przybliżeniu, że α^* jest liniową funkcją temperatury napiszemy:

$$\alpha^* = (T - T_c) / c^* \quad (6)$$

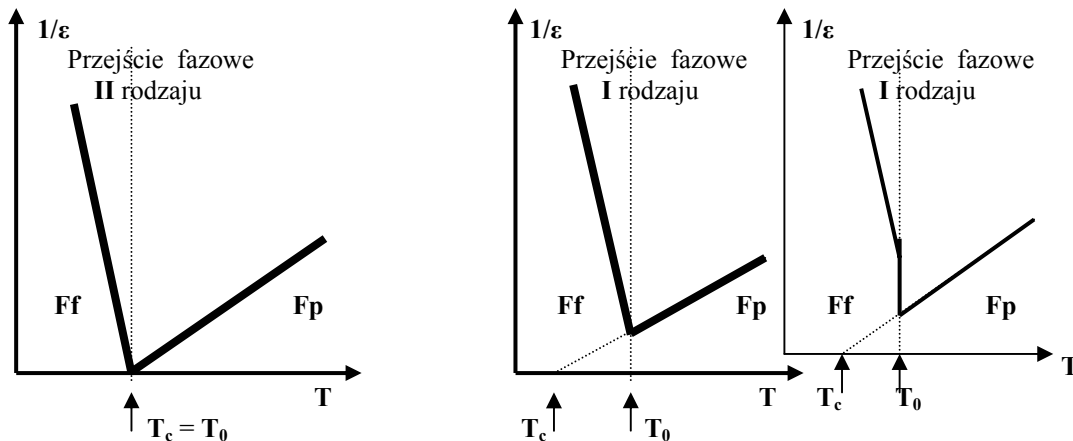
gdzie: T_c – temperatura Curie, zaś c^* - pewna stała.

Biorąc pod uwagę zależności (5) i (6) oraz pamiętając, że $\epsilon = 1 + 4\pi\alpha \cong 4\pi\alpha$ uzyskamy wzór:

$$\epsilon = c / (T - T_c) \quad (7)$$

gdzie: ϵ - współczynnik przenikalności dielektrycznej, zaś c – stała Curie-Weissa.

Można udowodnić, że nachylenie krzywej $\alpha^* = f(T)$ (lub $1/\epsilon = f(T)$) dla dielektryka w fazie ferroelektrycznej jest dwukrotnie większe, niż w fazie paraelektrycznej, co schematycznie przedstawiają rysunki poniżej:



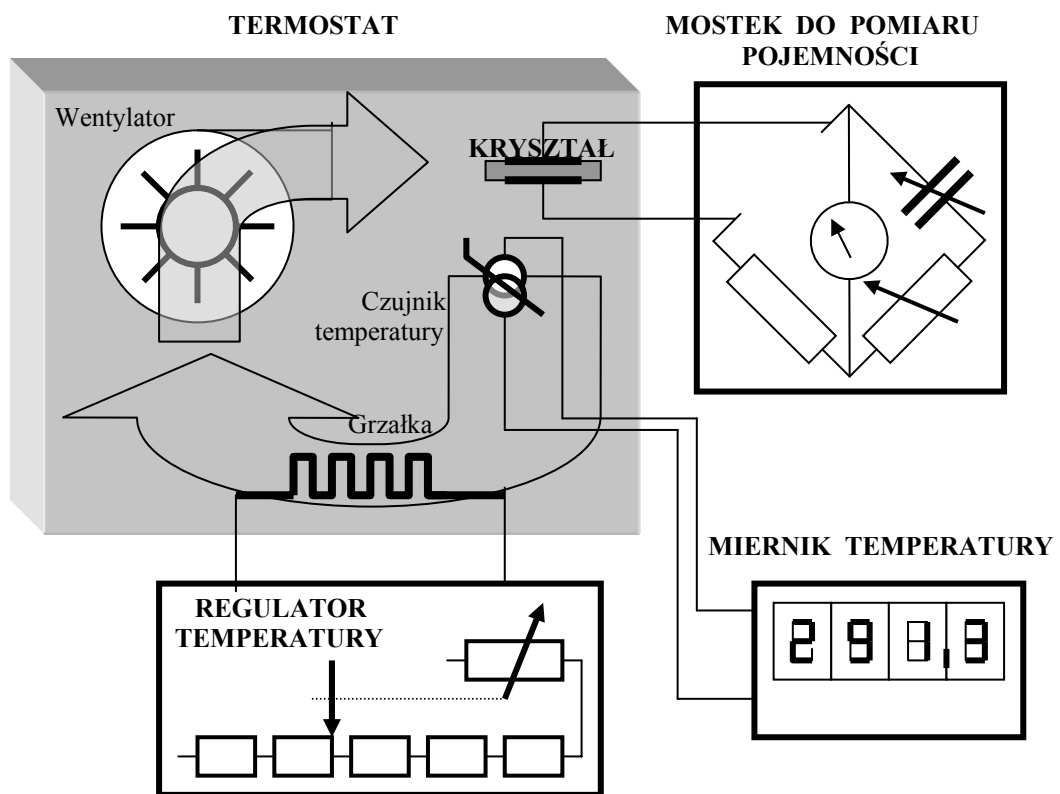
Gdzie: T_0 – temperatura przemiany fazowej, **Ff** – faza ferroelektryczna, **Fp** – faza paraelektryczna.

Opis metody i schemat układu pomiarowego

W niniejszym ćwiczeniu badanym elementem jest płytka płaskorównoległościenna, wycięta z kryształu siarczanu trójglicyny – TGS – $(\text{CH}_2\text{NH}_2\text{COOH})_3 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$. Na powierzchniach prostopadłych do osi y napyłono elektrody, stanowiące okładki kondensatora, w którym opisany wyżej element pełni rolę dielektryka. TGS wybrany został nieprzypadkowo, bowiem interesujące nas anomalie w wartościach przenikalności dielektrycznej występują wyraźnie w zakresie temperatur $25 \div 70 \text{ }^\circ\text{C}$, a uzyskanie takich temperatur nie następuje większych trudności.

Spośród różnych metod grzania zastosowano tu grzanie strumieniem gorącego powietrza. Alternatywny sposób to np. ogrzewanie poprzez kontakt z gorącą powierzchnią grzejną – jednakże, wbrew pozorom, przysparzający problemów. Mianowicie, dla skuteczniejszego przekazywania ciepła, stosowany docisk kryształu (a w zasadzie kondensatora płaskiego z dielektrykiem w postaci płytki krystalicznej) do takiej powierzchni powoduje wyraźne „spłaszczenie” badanego efektu. Ponadto, zastosowany w ćwiczeniu sposób grzania redukuje ewentualne gradienty temperatury w samym kryształcie.

Pomiar temperatury kryształu dokonywany jest w sposób ciągły za pośrednictwem scalonego przetwornika T/I (temperatura / prąd) produkcji firmy ANALOG DEVICES. Schemat układu pomiarowego przedstawiono poniżej.



Przebieg ćwiczenia

1. Włączyć do sieci przyrządy pomiarowe oraz termostat komórki pomiarowej. Elementy regulacyjne ustawić w pozycji odpowiadającej nastawom temperatury najniższej: przełącznik – zakres 1, potencjometr 10-cio obrotowy – pozycja licznika 0.
2. Ustawić pokrętkę potencjometru i przełącznika poziomo mocy w regulatorze temperatury w żądanej pozycji i po ustaleniu się temperatury odczytać wskazania pojemności i temperatury.

UWAGA: Fakt ustalenia się temperatury sygnalizowany jest miarowym włączaniem i wyłączaniem świecenia czerwonej lampki.

Przybliżone wartości minimalnej i maksymalnej temperatury termostatu wynoszą:

- Zakres 1 - $20 \div 31 \text{ }^\circ\text{C}$
- Zakres 2 - $30 \div 39 \text{ }^\circ\text{C}$
- Zakres 3 - $36 \div 45 \text{ }^\circ\text{C}$
- Zakres 4 - $41 \div 55 \text{ }^\circ\text{C}$
- Zakres 5 - $50 \div 61 \text{ }^\circ\text{C}$

3. Czynności wymienione w punkcie 2. powtórzyć kilkanaście razy, zwracając szczególną uwagę na **obszar temperatur bliskich temperaturze przejścia fazowego (okolice 49°C , (322 K))** .
4. Zanotować wymiary kondensatora i w oparciu o nie oraz pomierzoną pojemność wyznaczyć wartości przenikalności dielektrycznej .

Opracowanie sprawozdania

1. Wykreślić zależność $\epsilon = f(T)$ oraz $1/\epsilon = f(T)$
2. Na podstawie wykresów określić rodzaj przejścia i wyznaczyć stałą Curie-Weissa
3. Określić stosunek nachyleń prostoliniowych odcinków charakterystyki $1/\epsilon = f(T)$ w fazie ferro i paraelektrycznej.

Wymagania

1. Przemiany fazowe w kryształach
2. Teoria zjawiska ferroelektrycznego
3. Metody pomiaru pojemności

Literatura

1. T.Krajewski (red.) – Zagadnienia fizyki dielektryków ,WKŁ ,W-wa 1970 .
2. C.Kittel – Wstęp do fizyki ciała stałego , PWN , W-wa 1970 .
3. F.Kaczmarek (red.) – II Pracownia fizyczna , cz.1 , Poznań 1970 .
4. И.С.Желудев – Основы сегнетоэлектрчества, АТОМИЗДАТ, Москва, 1973.