



Politechnika Lubelska  
Wydział Elektrotechniki i Informatyki  
Katedra Urządzeń Elektrycznych i TWN  
20-618 Lublin, ul. Nadbystrzycka 38A  
[www.kueitwn.pollub.pl](http://www.kueitwn.pollub.pl)

---

## **LABORATORIUM INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ**

Podstawy teoretyczne do ćwiczenia **nr 9**

**Badanie właściwości ferroelektryków**

## 1. CEL ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z wybranymi właściwościami materiałów ferroelektrycznych, w szczególności wyznaczenie zależności przenikalności elektrycznej kryształu ferroelektrycznego od temperatury w fazie ferroelektrycznej i paraelektrycznej, określenie temperatury przejścia fazowego (temperatury Curie) oraz obserwacja histerezy ferroelektrycznej w zależności od temperatury.

## 2. WIADOMOŚCI TEORETYCZNE

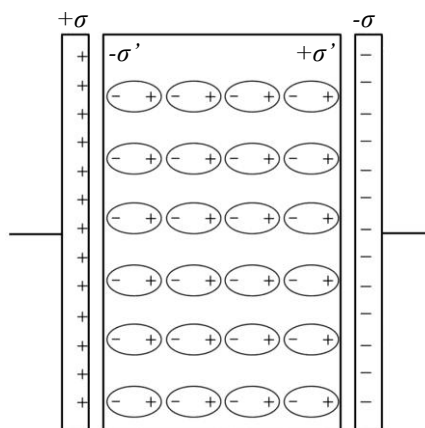
### 2.1. Opis mikroskopowy ferroelektryków

Ferroelektryki należą do dielektryków, czyli substancji o bardzo małym lub zerowym przewodnictwie elektrycznym. Dielektryki umieszczone w zewnętrznym polu elektrycznym polaryzują się, tzn. że na powierzchni prostopadłej do linii sił pola pojawia się ładunek elektryczny. Właściwości dielektryczne wiążą się z właściwościami dipola elektrycznego w polu elektrycznym. Znaczenie dipola jest związane z faktem, że atomy w polu elektrycznym stają się dipolami, co nazywamy polaryzowaniem substancji.

**Dipol elektryczny** jest układem dwóch elektrycznych ładunków punktowych równych co do wartości lecz przeciwnego znaku. W praktyce wprowadza się pojęcie wektora, zwane **elektrycznym momentem dipolowym**, który jest iloczynem ładunku oraz wektora odległości wzajemnej dipola skierowanej od ładunku ujemnego do ładunku dodatniego dipola.

Jako **dielektryki** rozumiemy materiały, w których pod wpływem przyłożonego pola elektrycznego indukowany jest elektryczny moment dipolowy. Wartość tego indukowanego momentu dipolowego jest proporcjonalna do natężenia pola zewnętrznego. Współczynnik tej proporcjonalności nazywamy **polaryzowalnością**.

Opisany wyżej proces indukowania momentów dipolowych nazywa się **polaryzacją elektryczną**, która z kolei jest sumą polaryzacji elektronowej, jonowej i dipolowej.



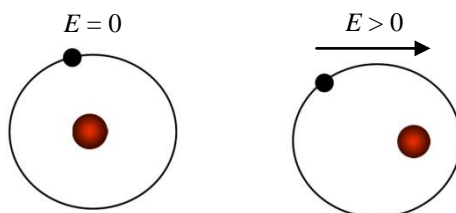
Rys. 1. Dielektryk w polu elektrycznym

## 2.2. Polaryzacja elektronowa

Polaryzacja elektronowa jest rezultatem przesunięcia się ujemnie naładowanych chmur elektronowych względem dodatnich jąder pod wpływem pola elektrycznego.

$$p_e = \alpha_e \cdot E_l, \quad (1)$$

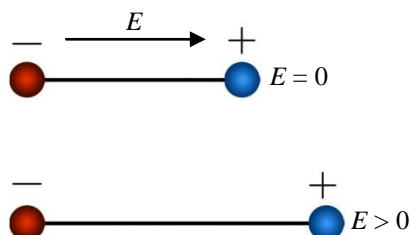
gdzie:  $\alpha_e$  - polaryzowalność elektronowa atomów dielektryka,  $p_e$  - zaindukowany moment dipolowy pojedynczego atomu,  $E_l$  - natężenie pola elektrycznego.



Rys. 2. Ilustracja polaryzacji elektronowej

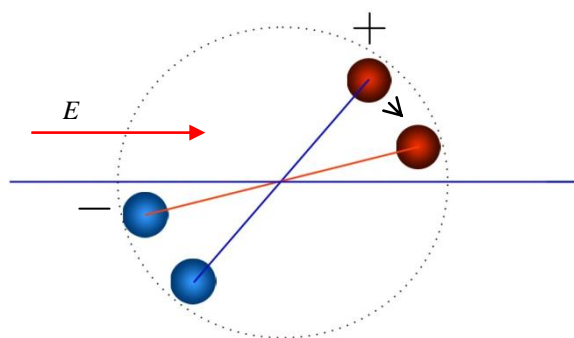
## 2.3. Polaryzacja jonowa

Polaryzacja jonowa zachodzi tylko w materiałach o wiązaniach jonowych. Jest rezultatem przesunięcia się jonów w sieci krystalicznej materiału.



Rys. 3. Ilustracja polaryzacji jonowej

## 2.4. Polaryzacja dipolowa



Rys. 4. Ilustracja polaryzacji dipolowej

Polaryzacja dipolowa zwana również orientacyjną powstaje w dielektrykach, których molekuly mają trwałe momenty dipolowe. Przy braku pola momenty dipolowe wskutek drgań termicznych są zorientowane w sposób przypadkowy, a więc wypadkowy moment dipolowy próbki jest równy zero.

Po przyłożeniu pola elektrycznego na drgania ciepłe cząsteczek nakłada się porządkujące działanie pola i próbka uzyskuje moment dipolowy równoległy do kierunku pola.

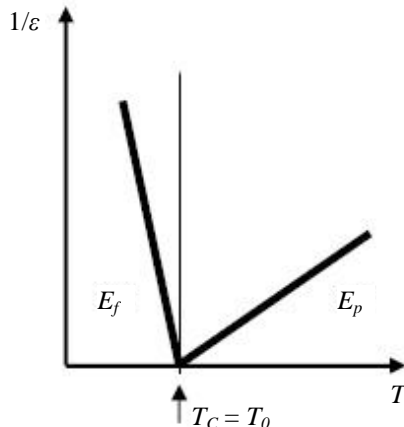
### 2.5. Kryształy ferroelektryczne

Niektóre kryształy wykazują się posiadaniem wypadkowego momentu dipolowego różnego od zera, nawet przy nieobecności zewnętrznego pola elektrycznego. W kryształach tego typu ma miejsce **polaryzacja spontaniczna**.

Okazuje się, że polaryzacja spontaniczna może występować tylko w kryształach o biegunowych osiach symetrii. Te właśnie materiały nazywamy **piroelektrykami**. Nazwa tych kryształów pochodzi stąd, że przy ogrzewaniu na ich powierzchni pojawia się ładunek elektryczny. Dla niektórych piroelektryków zależność między polaryzacją, a temperaturą jest liniowa. Ważnym faktem jest, że dla tych kryształów polaryzacja spontaniczna występuje w całym zakresie temperatur.

**Ferroelektryki** są wyjątkowym przypadkiem piroelektryków. W tych kryształach z kolei polaryzacja spontaniczna nie występuje w całym zakresie temperatur. Powyżej pewnej temperatury uporządkowanie momentów dipolowych zostaje zniszczone przez ruchy ciepłe. Zatem w ferroelektrykach zachodzi przejście ze stanu ferroelektrycznego do stanu paraelektrycznego, który cechuje brak stałego momentu dipolowego.

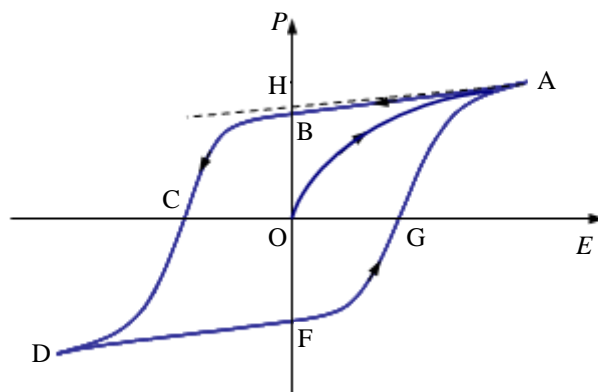
Temperaturę przejścia  $T_C$  nazywamy ferroelektryczną **temperaturą Curie**.



Rys. 5. Wykres ilustrujący przejście fazowe

### 2.6. Histereza ferroelektryczna

W ferroelektrykach poniżej temperatury Curie obserwuje się **zjawisko histerezy**, polegające na tym, że polaryzacja zależy w wyjątkowy sposób nie tylko od natężenia pola elektrycznego, ale również od historii próbki.



Rys. 6. Histereza ferroelektryczna

Fragment **OA** nazywa się krzywą pierwotną. Gdy natężenie pola elektrycznego maleje, polaryzacja zmienia się po krzywej **AB**, leżącej powyżej **OA**. W zerowym polu polaryzacja próbki nie zanika, lecz jest równa odcinkowi **OB** i nazywa się **polaryzacją resztkową**. Po zmianie kierunku pola elektrycznego polaryzacja stopniowo maleje. Natężenie pola elektrycznego, przy którym polaryzacja próbki spada do zera (odcinek **OC**) nazywamy **polem koercji**  $E_C$ . Gdy poprowadzimy styczną do krzywej w punkcie **A**, to punkt przecięcia stycznej z osią **P** wyznacza odcinek **OH**, reprezentujący **polaryzację spontaniczną**  $P_S$  kryształu. Dalsze zmiany natężenia pola elektrycznego powodują przepolaryzowanie próbki do punktu nasycenia **D** i dalej przeprowadzają ją przez punkty **F** i **G** do punktu **A**.

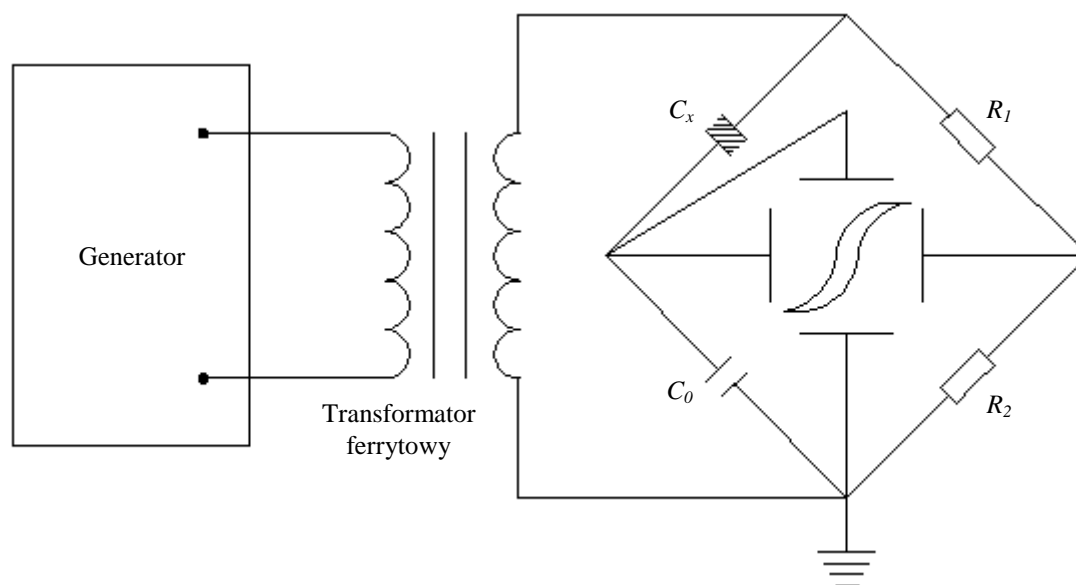
### 2.7. Zastosowanie ferroelektryków

Ferroelektryki, ze względu na **dużą przenikalność dielektryczną** stosuje się powszechnie do produkcji **kondensatorów**. Znalazły również zastosowanie w **detektorach ciepła** (ferroelektryki mają także własności piroelektryczne), a także w elektroakustycznych **przetwornikach dźwięku** (ferroelektryki mają także własności piezoelektryczne). W ostatnich latach powstały ferroelektryczne **pamięci RAM**, w których wykorzystano trwałą polaryzację ferroelektryków i możliwość jej zmiany pod wpływem pola elektrycznego.

## 3. PROGRAM ĆWICZENIA

### 3.1. Obserwacja pętli histerezy

Histerezę ferroelektryczną obserwujemy na ekranie oscyloskopu, znajdującego się w składzie stanowiska. W celu wykonania obserwacji należy przełączyć przełącznik wyboru pomiarów na stanowisku na pomiar histerezy, załączyć oscyloskop i generator i ustawić na generatorze częstotliwość 10 kHz. Po załączeniu grzałki obserwujemy na ekranie oscyloskopu pętle histerezy i rejestrujemy je co 10°C, zaczynając od temperatury pokojowej do ok.80°C.



Rys. 7. Schemat układu do obserwacji pętli histerezy

### 3.2. Pomiar przenikalności dielektrycznej $\epsilon_r$

Badanym kryształem ferroelektrycznym jest monokryształ siarczanu trójglicyny  $(\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH})_3\text{H}_2\text{SO}_4$ , który w skrócie oznacza się jako **TGS**. Kryształ ten wykonano w kształcie prostokątnej płytki, na górną i dolną powierzchnie której naniesiono srebrne elektrody.

Przenikalność elektryczną  $\epsilon_r$  wyznacza się przez pomiar pojemności kondensatora ferroelektrycznego o pojemności  $C$ , wykonanego z płytki ferroelektrycznej. Grubość płytki  $d$  jest znacznie mniejsza od innych wymiarów, więc dopuszczalne jest wyrażenie pojemności użytego kondensatora przy pomocy wzoru na pojemność kondensatora płaskiego:

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r S / d, \quad (2)$$

gdzie:  $S$  - powierzchnia okładki,  $\epsilon_r$  - przenikalność elektryczna substancji zawartej między okładkami,  $\epsilon_0$  - przenikalność elektryczna próżni ( $8,85 \cdot 10^{-12}$  F/m).

Znajomość pojemności  $C$  i rozmiarów kondensatora pozwala obliczyć  $\epsilon_r$ :

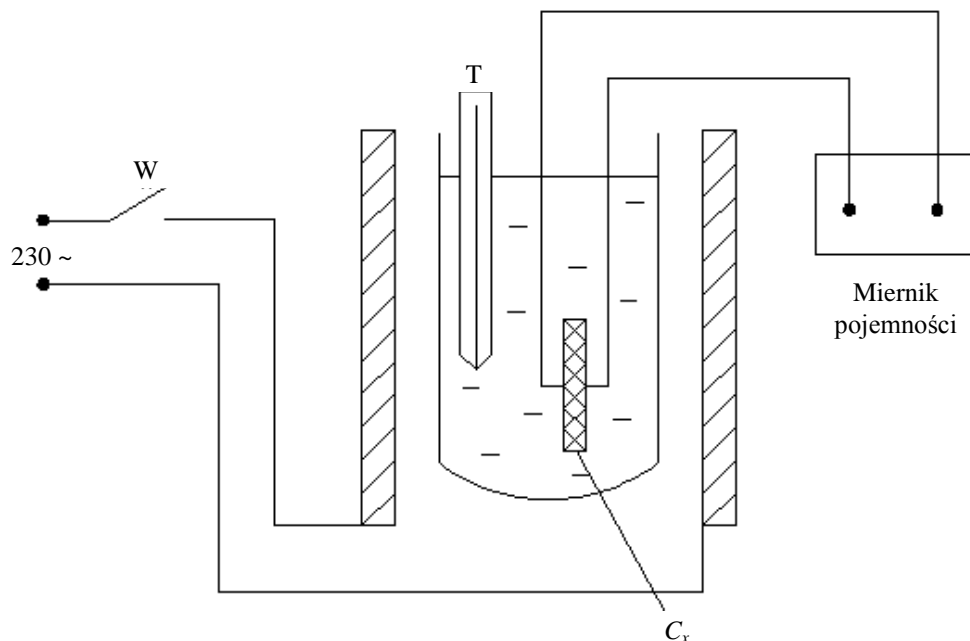
$$\epsilon_r = dC / S \epsilon_0, \quad (3)$$

gdzie wymiary badanego kondensatora są równe:  $d = 7,9 \cdot 10^{-4}$  m,  $S = 2,29 \cdot 10^{-5}$  m<sup>2</sup>

### 3.3. Sposób przeprowadzenia pomiarów:

Kryształ TGS (kondensator ferroelektryczny) umieszczony jest w naczyniu z olejem, w którym będzie następował proces nagrzewania. Badanie właściwości dielektrycznych należy przeprowadzić w zakresie od temperatury około 70°C do temperatury pokojowej. W tym celu należy załączyć włącznik grzałki **W** i obserwując wskazanie termometru **wyłączyć przy temperaturze około 50°C**. Pomiary wykonujemy, gdy temperatura wzrośnie do około (75 ÷ 80)°C, a następnie zacznie opadać.

W celu wykonania pomiarów pojemności wyłączamy generator i oscyloskop, a układ pomiarowy przełączamy na pomiar pojemności. Następnie załączamy miernik pojemności, odczytujemy wyniki pomiarów i notujemy je w tabeli 1.



Rys. 8. Schemat układu do pomiaru pojemności kondensatora ferroelektrycznego

Tabela 1. Tabela pomiarowa

$T, ^\circ\text{C}$	$C, \text{pF}$	$\epsilon_r$	$1/\epsilon_r$
80,0			
78,0			
76,0			
74,0			
72,0			
70,0			
68,0			
66,0			
64,0			
62,0			
60,0			
58,0			
56,0			
54,0			
52,0			
51,0			
50,0			
49,0			
48,8			
48,6			
48,4			
48,2			
48,0			
47,8			

$T, ^\circ\text{C}$	$C, \text{pF}$	$\epsilon_r$	$1/\epsilon_r$
47,6			
47,4			
47,2			
47,0			
45,0			
43,0			
40,0			
37,0			
34,0			
32,0			
30,0			

#### 4. OPRACOWANIE SPRAWOZDANIA

- obliczyć wartość  $\epsilon_r$  ze wzoru  $\epsilon_r = d \cdot C / S \cdot \epsilon_0$ , gdzie  $d = 7,9 \cdot 10^{-4} \text{ m}$ ,  $S = 2,29 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$ ,
- wykonać wykresy  $\epsilon_r = f(T)$  oraz  $1/\epsilon_r = f(T)$ ,
- na podstawie otrzymanych charakterystyk należy wyznaczyć temperaturę Curie,
- zamieścić oraz opisać zmiany pętli histerezy w zależności od temperatury.

#### 5. PYTANIA KONTROLNE

- Pojęcie i właściwości dielektryków.
- Rodzaje polaryzacji.
- Pojęcie polaryzacji spontanicznej.
- Pierwszy i drugi rodzaj przejścia fazowego.
- Pojęcie zjawiska histerezy oraz parametry pętli histerezy.

#### 6. LITERATURA

- Buszmanow B.N., Chromow J.A.: *Fizyka ciała stałego*. Warszawa, WNT 1973.
- Chwaleba A.: *Metrologia elektryczna*. Warszawa, WNT 1994.
- Halliday D., Resnick R.: *Fizyka*. Warszawa, PWN 1998.
- Kittel C.: *Wstęp do fizyki ciała stałego*. Warszawa, PWN 1970.
- Smoleński G.A., Krajnik N.N.: *Ferroelektryki i antyferroelektryki*. Warszawa, PWN 1970.
- Wert C.A., Robb M.T.: *Fizyka ciała stałego*. Warszawa, PWN 1974.
- Sawieliew I.W.: *Wykłady z fizyki*. Warszawa, PWN 2002.
- Jaworski B., Dietłaf A., Miłkowska L.: *Kurs fizyki*. Warszawa, PWN 1984.