

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет  
Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації  
Кафедра системного аналізу та інформаційних технологій

Звіт  
Про виконання лабораторної роботи №2-3  
З дисципліни «Фізика»  
Тема: « Визначення відносної діелектричної проникності  
сегнетоелектриків »

Виконав:  
студент групи СА-226  
Дудар А.М.

Перевірив:  
Доцент Книш Б.П.

Вінниця 2023

## Лабораторна робота № 2-3

### Визначення відносної діелектричної проникності сегнетоелектриків.

л.1. §23. 2. §§ 6.4, 6.5

Мета роботи: вивчення властивостей сегнетоелектриків та визначення відносної діелектричної проникності титанату барію.

Прилади та матеріали: міст змінного струму Р-577 для вимірювання ємностей в межах 1 пФ-1100 мкФ і штангенциркуль ; досліджувані сегнетоелектрики.

#### Теоретичні відомості

Згідно з уявленнями класичної фізики, діелектрики відрізняються від провідників тим, що при не дуже високих температурах та при відсутності дуже сильних електричних полів в них немає вільних електричних зарядів. При внесенні діелектриків в електричне поле вони поляризуються, на їх поверхні виникають зв'язані заряди і відповідне електричне поле, яке зменшує дію зовнішнього електричного поля. Для кількісної оцінки явища поляризації діелектрика користуються поняттям вектора поляризації  $\vec{P}$ , що характеризується електричним дипольним моментом одиниці об'єму діелектрика:

$$\vec{P} = \frac{\sum \vec{P}_i}{\Delta V},$$

де  $\vec{P}_i$  – дипольні моменти окремих молекул, які знаходяться в об'ємі  $\Delta V$ ;

$\Delta V$  – фізично безмежно малий об'єм.

Для широкого класу ізотропних діелектриків та широкого кола явищ вектор поляризації пропорційний вектору напруженості електричного поля всередині діелектрика  $\vec{E}$ :

$$\vec{P} = \chi \epsilon_0 \vec{E},$$

де  $\chi$  – діелектрична сприйнятливість речовини діелектрика (величина безрозмірна). Такий характер залежності між  $\vec{P}$  і  $\vec{E}$  пояснюється тим, що напруженість макроскопічних електричних полів здебільшого значно менша напруженості мікрополів в середині атомів та молекул.

Електричним зміщенням називають векторну величину

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}.$$

В ізотропних діелектриках  $\vec{D}$  і  $\vec{E}$  зв'язані співвідношенням:

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \chi \epsilon_0 \vec{E} = \epsilon_0 (1 + \chi) \vec{E} = \epsilon \epsilon_0 \vec{E},$$

де  $\epsilon$  – відносна діелектрична проникність речовини.

З молекулярної точки зору поляризація діелектриків полягає або в зміщенні пружно зв'язаних зарядів, що входять до складу молекули, атома чи іона, в електричному полі (пружна поляризація), або в виникненні дипольних молекул та іонів під дією електричного поля (релаксаційна поляризація). Пружна поляризація може бути електронною чи іонною.

Якщо діелектрик складається з неполярних молекул, то в електричному полі відбувається зміщення електронів відносно ядер в атомах чи іонах і молекули набувають дипольного моменту (індукційний дипольний момент), який пропорційний напруженості  $\vec{E}$  електричного поля  $E$ . Таким чином,  $\chi$  та  $\epsilon$  для цих діелектриків не залежать від  $E$ . Характерною особливістю електронної поляризації являється незалежність  $\chi$  та  $\epsilon$  від температури.

Іонна поляризація пружного зміщення виникає при зміщенні в електричному полі позитивних та негативних іонів, які створюють решітку іонних кристалів, від їх положень рівноваги. І в цьому випадку також зв'язок між  $P$  та  $E$  лінійний, тобто  $\epsilon$  не залежить від  $E$ .

Існують діелектрики, молекули яких у відсутності електричного поля мають власні дипольні моменти (полярні молекули). При  $E=0$  такий діелектрик не поляризований, тому що завдяки тепловому руху молекули-диполі хаотично зорієнтовані в просторі. Зовнішнє електричне поле приводить до орієнтації диполів вздовж силових ліній і діелектрик поляризується. Поляризація діелектрика в основному викликана орієнтацією молекул, тому що одночасно в електричному полі у молекул виникає індукційний дипольний момент, значно менший власного

дипольного моменту полярних молекул. Орієнтації молекул заважає їх тепловий рух. Якщо електричне поле забрати, то поляризація зникає, або релаксує,— звідси й назва — релаксаційна (теплова) поляризація, у випадку орієнтаційної поляризації вектор  $P$  лінійно зростає із збільшенням напруженості поля  $E$ . Але при цьому діелектрична сприйнятливність  $\chi$ , а також відповідно проникність  $\epsilon$  значно залежать від температури, зменшуючись з її підвищенням.

Відомі діелектричні кристали з незвичайними електричними властивостями. Навіть при відсутності електричного поля решітка додатних іонів в стані термодинамічної рівноваги у них зміщена відносно решітки від'ємних іонів, тому кристал виявляється поляризованим. Така самостійна поляризація називається спонтанною, а кристали - піроелектричними. Характерним прикладом піроелектричних кристалів являється турмалін.

Існує клас кристалічних діелектриків, які в певній області температур, яка носить назву полярної області, являються піроелектриками. На границях полярних областей у таких діелектриків відбуваються фазові переходи із зміною кристалічної модифікації, що супроводжується зникненням спонтанної поляризації. Такі діелектрики називаються сегнетоелектриками, так як вперше ці властивості були виявлені у сегнетової солі. По аналогії з феромагнетиками верхня межа полярної області називається точкою Кюрі  $T_K$ , а нижня межа може бути відсутня.

Ще однією характерною рисою сегнетоелектриків являється те, що напрямок їх спонтанної поляризації може бути легко замінений на протилежний навіть в слабкому електричному полі. У звичайних піроелектриків така заміна напрямку спонтанної поляризації не може бути досягнута навіть у сильних полях.

Пряма, що паралельна векторові спонтанної поляризації сегнетоелектрика, називається його полярною віссю. Сегнетоелектрики можуть мати одну полярну вісь, наприклад, сегнетова сіль, або кілька полярних осей, наприклад, титанат барію  $\text{BaTiO}_3$ .

Так як сегнетоелектрикам в полярній області температур властива спонтанна поляризація, то це означає, що такий стан більш стійкий, ніж неполярний, тобто відповідає мінімальній повній енергії сегнетоелектрика. Це можливе тільки тоді, коли при відсутності зовнішнього електричного поля в об'ємі досить великого сегнетоелектрика будуть утворюватись області з різним напрямком вектора поляризації - домени. Утворення доменів приводить до зменшення повної енергії сегнетоелектрика. Дійсно, повна енергія сегнетоелектрика складається з енергії всіх доменів, енергії зовнішнього електричного поля та поверхневої енергії на границях розділу доменів. Енергія зовнішнього електричного поля найбільша тоді, коли сегнетоелектрик має однаковий напрямок вектора поляризації в усьому об'ємі. Ділення на домени зменшує енергію зовнішнього поля, одночасно збільшуючи поверхневу енергію на границях доменів. Процес розпаду сегнетоелектриків на домени припиняється, коли внаслідок наявності двох конкуруючих процесів повна енергія кристалу стане мінімальною.

Завдяки доменній структурі дипольний момент сегнетоелектрика при відсутності зовнішнього електричного поля дорівнює нулеві, так як напрямок спонтанної поляризації доменів різний. В такому розумінні цей сегнетоелектрик є неполяризованим. Якщо сегнетоелектричний зразок внести в електричне поле, в ньому відбуватиметься переорієнтація доменів та ріст одних за рахунок інших. Це приводить до поляризації кристалу. Але у сегнетоелектриків вектор поляризації  $P$  залежить від  $E$  нелінійно. Записуючи співвідношення  $P = \epsilon_0 \chi E$ , слід пам'ятати, що  $\chi$  не є сталою величиною, а є функцією від  $E$ . При цьому для сегнетоелектриків в полярній області може досягати аномально великих значень порядку  $10^4$  і навіть більше.

Сегнетоелектрики знаходять широке практичне застосування в сучасній електро- та радіотехніці, їх використовують для виготовлення конденсаторів малих розмірів, генерування та прийому ультразвукових хвиль, модуляції частоти електромагнітних коливань і т.д.



## Порядок виконання роботи

1. Штангенциркулем заміряти параметри пластин сегнетоелектриків і для кожного з них вирахувати площу  $S$ .
2. Розташувати сегнетоелектрик між пластинами плоского конденсатора і з допомогою мосту змінного струму Р-577 заміряти його електричну ємність.
3. Результати вимірювань та обчислень для кожного сегнетоелектрика занести в таблицю.

## Обробка результатів експерименту

1. Вирахувати відносну діелектричну проникність кожного сегнетоелектрика, використовуючи формулу ємності плоского конденсатора

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d}.$$

2. Вирахувати абсолютну та відносну похибки вимірювань.
3. Результати роботи проаналізувати та зробити висновки.

## Контрольні запитання

1. Різниця між діелектриками і провідниками.
2. В чому полягає поляризація діелектриків? Що таке вектор поляризації?
3. Які види поляризації ви знаєте? Охарактеризуйте їх.

d, м	S, м <sup>2</sup>	C, Ф	$\varepsilon$
0,0012	0,0000463	$4,5 \cdot 10^{-10}$	1317,8
0,00015	0,0000304	$2,5 \cdot 10^{-9}$	1393,8
0,00018	0,00003	$1,99 \cdot 10^{-9}$	1349,1

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d} = \varepsilon = \frac{Cd}{\varepsilon_0 S} \quad \varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$$

$$\varepsilon_1 = \frac{C_1 d_1}{\varepsilon_0 S_1} = \frac{4,5 \cdot 10^{-10} \cdot 0,0012}{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 0,0000463} = 1317,8$$

$$\varepsilon_2 = \frac{C_2 d_2}{\varepsilon_0 S_2} = \frac{2,5 \cdot 10^{-9} \cdot 0,00015}{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 0,0000304} = 1393,8$$

$$\varepsilon_3 = \frac{C_3 d_3}{\varepsilon_0 S_3} = \frac{1,99 \cdot 10^{-9} \cdot 0,00018}{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 0,00003} = 1349,1$$

$$\varepsilon_c = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3}{3} = \frac{1317,8 + 1393,8 + 1349,1}{3} = 1353,5$$

$$\Delta \varepsilon_1 = |\varepsilon_1 - \varepsilon_c| = |1317,8 - 1353,5| = 35,7$$

$$\Delta \varepsilon_2 = |\varepsilon_2 - \varepsilon_c| = |1393,8 - 1353,5| = 40,3$$

$$\Delta \varepsilon_3 = |\varepsilon_3 - \varepsilon_c| = |1349,1 - 1353,5| = 4,4$$

$$\Delta \varepsilon_c = \frac{\Delta \varepsilon_1 + \Delta \varepsilon_2 + \Delta \varepsilon_3}{3} = \frac{35,7 + 40,3 + 4,4}{3} = 26,8$$

$$\% \varepsilon = \frac{\Delta \varepsilon_c}{\varepsilon_c} \cdot 100\% = \frac{26,8}{1353,5} \cdot 100\% = 1,98$$

Висновок : Завдяки цій лабораторній роботі ми набули навички вивчення властивостей сегнетоелектриків та визначення відносної діелектричної проникності титанату барію.