

Лабораторная работа 7. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ

Цели работы: исследование диэлектрических свойств сегнетоэлектриков, экспериментальное наблюдение связи электростатической индукции с напряженностью поля в сегнетоэлектрике, установление зависимости диэлектрической проницаемости сегнетоэлектрика от напряженности электрического поля.

Приборы и принадлежности: установка для исследования диэлектрических свойств сегнетоэлектриков.

Установка для исследования диэлектрических свойств сегнетоэлектриков (рис. 7.1), используемая в работе, содержит исследуемый образец, представляющий собой конденсатор C_x с диэлектриком из исследуемого сегнетоэлектрика и конденсатор C_0 с диэлектриком, диэлектрическая проницаемость которого не зависит от напряженности электрического поля («линейный» конденсатор). Конденсаторы C_x и C_0 могут быть подключены (будучи соединёнными последовательно с помощью Π_1 и Π_2) к источнику постоянного напряжения U_1 . Конденсатор C_x при необходимости может подключаться к источнику переменного (50 Гц) напряжения U_2 , обеспечивающего деполяризацию исследуемого образца.

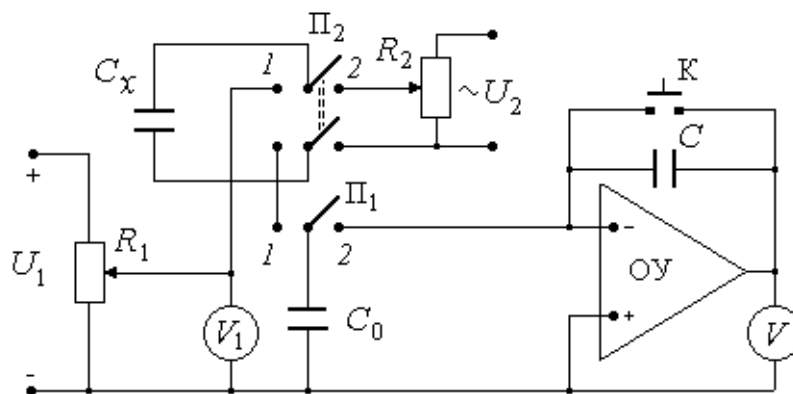


Рис. 7.1

Напряжение, снимаемое с потенциометра R_2 подается также на полупроводниковый индикатор (на рисунке не показан), по интенсивности свечения которого можно судить об уровне деполяризующего напряжения. Заряд на конденсаторе C_0 измеряется с помощью операционного усилителя ОУ с конденсатором C в цепи обратной связи.

Исследуемые закономерности

Диэлектрики, у которых в определенном интервале температур наблюдаются макроскопические области спонтанной (самопроизвольной) поляризации, называют *сегнетоэлектриками*. По аналогии с ферромагнетиками области спонтанной поляризации называют *доменами*. Несмотря на наличие доменов, обладающих макроскопической поляризацией, сегнетоэлектрик в целом может быть не поляризован, так как поляризация одних доменов компенсируется противоположно направленной поляризацией других. При наложении внешнего электрического поля происходит как рост доменов с направлением поляризации близким к направлению внешнего поля за счет сокращения размеров доменов с другим направлением поляризации, так и переориентация доменов, что создает эффект сильной поляризации.

Именно этим объясняются свойственные сегнетоэлектрикам сверхвысокие значения диэлектрической проницаемости и нелинейная зависимость электрической индукции поля в веществе сегнетоэлектрика от напряженности электрического поля.

Зависимость электрической индукции D от напряженности E электрического поля называют *основной кривой поляризации* (рис. 7.2) сегнетоэлектрика. Из рисунка видно, что при некоторой напряженности поля рост D с увеличением E становится менее заметным, что соответствует состоянию технического насыщения, когда все домены оказываются ориентированными по полю. Незначительное возрастание индукции на участке насыщения обусловлено процессами индуцированной поляризации. При расширении доменов под действием внешнего поля доменная стенка наталкивается на дефекты кристаллической решетки и примеси и останавливается. При дальнейшем увеличении индукции стенка скачкообразно перемещается дальше. На кривой поляризации эти скачки сглажены.

Для характеристики свойств сегнетоэлектрика используют понятия статической

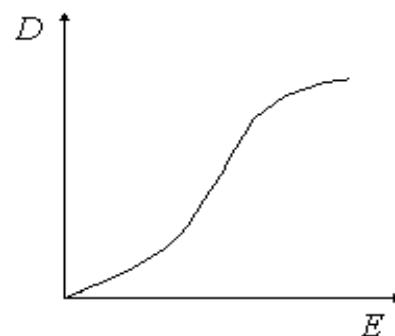


Рис. 7.2.

$$\epsilon = \frac{D}{\epsilon_0 E}$$

и дифференциальной

$$\varepsilon_d = \frac{1}{\varepsilon_0} \frac{dD}{dE}$$

диэлектрической проницаемости. Из основной кривой поляризации видно, что как ε , так и ε_d не являются постоянными. Можно определить статическую начальную ε_H и максимальную ε_{\max} диэлектрические проницаемости, а также коэффициент нелинейности

$$k = \frac{\varepsilon_{\max}}{\varepsilon_H}.$$

Наличие нелинейности в сегнетоэлектрике используется для управления емкостью в специальных конденсаторах – варикондах. Нелинейные свойства служат основой для использования сегнетоэлектрика в параметрических усилителях, фазовращателях, умножителях частоты и др. Важнейшим применением сегнетоэлектриков остается использование их в малогабаритных низкочастотных конденсаторах большой удельной емкости.

Методика проведения эксперимента

В работе использован уникальный способ наблюдения кривой поляризации статическим методом. Последовательно с исследуемым конденсатором C_x подключается «линейный» конденсатор C_0 , емкость которого $C_0 \gg C_x$. Последовательное соединение конденсаторов реализуется, если оба переключателя Π_1 и Π_2 находятся в положении 1. На последовательно соединенные конденсаторы подается постоянное напряжение U_1 , которое можно менять потенциометром R_1 от нуля до некоторого максимального значения $U_{1\max}$. Так как конденсаторы соединены последовательно, их заряды равны, а напряжение

$$U_{C_0} = \frac{U_{C_x} C_x}{C_0} \ll U_{C_x},$$

т. е. практически все напряжение U_1 приложено к конденсатору C_x . При известном U_1 легко найти напряженность поля в конденсаторе C_x

$$E = U_1/d,$$

где d – расстояние между обкладками конденсатора C_x (указано на панели

установки).

Учитывая, что $D = \sigma$,

где σ – поверхностная плотность свободных зарядов, можно, измерив заряд на конденсаторе C_0 (а следовательно, и на C_x), вычислить значение D для данного значения E :

$$D = \sigma = \frac{Q}{S} = \frac{CU}{S},$$

где C – емкость конденсатора в цепи обратной связи ОУ; S – площадь пластин конденсатора C_x (указаны на панели установки); U – напряжение на выходе ОУ.

Измерять D следует на деполяризованном диэлектрике конденсатора C_x . Деполяризация проводится следующим образом. Переключатель Π_2 переводится в положение 2. При этом на конденсатор C_x с потенциометра R_2 подается переменное напряжение, которое может меняться от $U_{2\max}$ до нуля. Установив с помощью потенциометра R_2 максимальное значение U_2 (при этом индикатор горит наиболее ярко), плавно уменьшают это напряжение до нуля.

Далее с помощью потенциометра R_1 устанавливают $U_1 = 0$ и *только после этого* переключатели Π_1 и Π_2 устанавливают в положение 1. Полученное состояние сегнетоэлектрика и конденсатора C_x будет характеризоваться значениями $D = \epsilon_0 E = \epsilon_0 \epsilon E_0$. Следующее показание снимают при возможно более низком значении напряжения U_1 (≤ 5 В). Затем последовательно увеличивают напряжение U_1 (через 5...10 В) до значения, которое соответствует состоянию насыщения.

Заметим, что кривая поляризации должна сниматься при последовательном изменении напряжения U_1 *в одном направлении*. Попытка скорректировать какое-либо значение U_1 в противоположном направлении исказит весь ход кривой и потребует повторения деполяризации.

Задание по подготовке к работе

1. Изучить описание работы и ответить на контрольные вопросы.
2. Подготовить общую часть отчета по лабораторной работе, содержащую титульный лист, краткое описание исследуемых

закономерностей, задачи эксперимента, описание (схема или эскиз) лабораторной установки и методики проведения эксперимента.

3. Подготовить протокол наблюдений с соответствующими таблицами.

Указания по проведению наблюдений

1. Включить измерительную установку.

2. Переключатели Π_1 и Π_2 перевести в положение 2.

3. Нажатием кнопки К разрядить конденсатор C , установив тем самым «0» на выходе ОУ

4. Деполяризовать сегнетоэлектрик конденсатора C_x , для чего установить потенциометром R_2 максимально напряжение U_2 и, плавно уменьшая, довести его до нуля, ориентируясь на яркость свечения индикатора.

5. Установить переключатели Π_1 и Π_2 в положение 1, зарядив тем самым конденсаторы C_x и C_0 .

6. Нажатием кнопки К проверить наличие нуля на выходе ОУ.

7. Переключатель Π_1 перевести в положение 2, что соответствует измерению заряда на конденсаторе C_0 (C_x), и записать максимальное значение (U_i) изменения выходного напряжения ОУ.

8. Наблюдения по пп. 3–7 выполнить, плавно увеличивая напряжение U_1 через 5...10 В до состояния насыщения сегнетоэлектрика.

Задание по обработке результатов

1. Рассчитать значения напряженности E_i и индукции D_i электрического поля, пользуясь формулами описания и данными на панели установки. Построить основную кривую поляризации сегнетоэлектрика.

2. Построить зависимости статической и дифференциальной диэлектрических проницаемостей от напряженности электрического поля. Оценить коэффициент нелинейности исследуемого сегнетоэлектрика как отношение значения максимальной статической диэлектрической проницаемости к ее начальному значению.

Контрольные вопросы

1. Чем объясняется нелинейная зависимость вектора поляризации сегнетоэлектрика от напряженности электрического поля?
2. Оцените емкость сегнетоэлектрического конденсатора, исследуемого в данной работе, при напряжении на нем 50 В.
3. Чем объясняется рост индукции D с ростом напряженности E в области технического насыщения?
4. Что такое начальная диэлектрическая проницаемость?
5. Что произойдет, если значения емкостей C_0 и C изменить?
6. Что такое коэффициент нелинейности?

ПРОТОКОЛ НАБЛЮДЕНИЙ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7
ИССЛЕДОВАНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ

«___» _____ 20__ г.

Выполнил: студент группы _____
(Фамилия И.О.) (Подпись)

Проверил: преподаватель _____
(Фамилия И.О.) (Подпись)

Измеряемая величина	Номер наблюдения									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U_{1i} , В										
U_i , мВ										
E_i , В/м										
D_i , мкКл/м ²										
ϵ_i										
ϵdi										

Емкость конденсатора

$C = 0.1$ мкФ

Площадь электродов конденсатора S_x

$S = 1.23$ см²

Толщина сегнетоэлектрика

$d = 1$ мм