|  |  |
| --- | --- |
| Группа M3213 | К работе допущен |
| Студент Губанов Константин | Работа выполнена |
| Преподаватель Хуснутдинова Наира Рустемовна | Отчет принят |

**Рабочий протокол и отчет по  
лабораторной работе №3.06**

Изучение электрических свойств сегнетоэлектриков

**Цель работы:**

Изучение электрических свойств сегнетоэлектриков, включая:

* Определение параметров петли гистерезиса: электрического смещения насыщения ​, остаточной поляризации ​, коэрцитивной силы ​.
* Расчёт диэлектрических потерь за цикл переполяризации сегнетоэлектрика.
* Анализ зависимостей электрического смещения и диэлектрической проницаемости от напряженности электрического поля .
* Определение начальной и максимальной диэлектрической проницаемости сегнетоэлектрика.

**Задачи, решаемые при выполнении работы:**

 Построение и исследование предельной петли гистерезиса сегнетоэлектрика.

 Измерение электрического смещения при различных значениях напряженности электрического поля .

 Вычисление параметров ​и диэлектрических потерь.

 Построение графиков зависимости и .

 Оценка начальной и максимальной диэлектрической проницаемости.

**Объект исследования:** Сегнетоэлектрический конденсатор (вариконд) модели ВК2-4, установленный в термокамере стенда С3-РМ02.

**Метод экспериментального исследования:** Исследование электрических характеристик сегнетоэлектрика с использованием лабораторной установки, включающей:

* Измеритель статических характеристик «ИСХ1» для построения петли гистерезиса.
* Анализ петли гистерезиса в координатах и .
* Обработка данных с использованием формул, включающих параметры установки и измеренные значения.

**Параметры установки:**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| R1 | 47 | кОм |
| R2 | 470 | кОм |
| C1 | 1 | мкФ |
| C2 | 0,01 | мкФ |
| S | 500 | мм |
| d | 0,5 | мм |

**Результаты измерений:**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Ys | Ds | 2,3 |
| Xs | Es | 2,8 |
| Yr | Dr | 0,8 |
| Xc | Ec | 0,5 |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| U, В | Kx(input 1) | Ky(input 2) | X, дел | Y, дел |
| 17 | 5 | 5 | 28 | 23 |
| 15 | 5 | 5 | 24 | 21 |
| 13 | 5 | 5 | 22 | 18 |
| 11 | 5 | 5 | 18 | 16 |
| 9 | 5 | 5 | 15 | 12 |
| 7 | 5 | 5 | 12 | 8 |
| 5 | 5 | 5 | 9 | 5 |
| 4,4 | 2 | 2 | 18 | 8 |
| 3,8 | 2 | 2 | 16 | 7 |
| 3,2 | 2 | 2 | 13 | 5 |
| 2,6 | 2 | 2 | 10 | 4 |
| 2,0 | 1 | 1 | 17 | 5 |
| 1,4 | 1 | 1 | 11 | 3 |
| 0,8 | 0,5 | 0,5 | 13 | 4 |
| 0,2 | 0,1 | 0,1 | 16 | 4 |

**Рабочие формулы:**

**Измерительные приборы:**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Наименование | Предел измерений | Цена деления | Погрешность прибора |
| 1 | ИСХ1 (измеритель статических характеристик) | -4 - 4 дел | 0,1 дел | 0,05 дел |

**Схема установки:**

Изображение выглядит как внутренний, электроника

Автоматически созданное описаниеИзображение выглядит как текст, диаграмма, снимок экрана, линия

Автоматически созданное описание

Общий вид лабораторной установки Принципиальная схема установки

**Результаты прямых измерений и их обработки:**

Эскиз предельной петли гистерезиса:

Изображение выглядит как текст, линия, диаграмма, График

Автоматически созданное описание

**Расчёт результатов косвенных измерений:**

Коэрцитивное поле:

Электрическая индукция в состоянии насыщения:

Остаточная поляризация:

Выберем множество точек на петле гистерезиса, и сделаем полиномиальную регрессию 4-й степени для верхней и нижней половины:

Для верхней половины p1​(x):

Для нижней половины p2​(x):

Изображение выглядит как линия, диаграмма, График, скат

Автоматически созданное описание

Тогда площадь предельной петли гистерезиса в делениях шкалы экрана будет примерно равна:

Найдём тангенс угла диэлектрических потерь в сегнетоэлектрике:

Для экстраполяции полученной зависимости 𝜀=𝜀(𝐸) к нулевому значению напряжённости электрического поля я использовал полиномиальную регрессию 6-й степени, из которой следует, что

Максимальное значение диэлектрической проницаемости Этому значению диэлектрической проницаемости соответствует

**Расчёт погрешности измерений:**

Погрешность напряжённости электрического поля (и коэрцитивного поля):

Погрешность электрической индукции (а также индукции в состоянии насыщения и остаточной поляризации):

Погрешность диэлектрической проницаемости:

Погрешность тангенса угла диэлектрических потерь в сегнетоэлектрике:

Погрешности начальной и максимальной диэлектрических проницаемостей:

**Графики:**

График зависимости

График зависимости

**Окончательные результаты:**

**Выводы и анализ результатов работы:**

В ходе работы изучены электрические свойства сегнетоэлектриков. Получены параметры предельной петли гистерезиса (​), рассчитаны диэлектрические потери, а также построены зависимости D(E) и ε(E). Определены начальная и максимальная диэлектрическая проницаемость, что подтверждает характерные свойства сегнетоэлектриков и их применимость в электронных устройствах.

В сегнетоэлектриках электрическая индукция изменяется неоднородно по мере увеличения напряжённости поля. В начале процесса наблюдается плавный рост, который затем становится более интенсивным, пока не наступает стадия насыщения, где прирост замедляется.

Диэлектрическая проницаемость ведёт себя аналогично: она увеличивается с увеличением напряжённости, достигает максимального значения в определённой точке, после чего начинает постепенно снижаться. Такой характер зависимости отражает физическую природу сегнетоэлектриков, связанную с особенностями их доменной структуры и свойствами поляризации.