



040006. Исследование сегнетоэлектриков.

Цель работы: Изучение основных электрических свойств сегнетоэлектриков и их зависимости от напряженности электрического поля.

Требуемое оборудование:

1. Измеритель электропроводности ЛСМ1 – 1 шт.
2. Стенд СЗ-РМ02– 1 шт.

Краткое теоретическое введение

Сегнетоэлектрики – диэлектрики, состоящие из областей-доменов с самопроизвольной (спонтанной) поляризацией. Направление и значение вектора спонтанной поляризации доменов может быть изменено внешним электрическим полем.

Сегнетоэлектрические домены представляют собой совокупность элементарных кристаллических ячеек, имеющих одинаковое направление вектора спонтанной поляризации, т. е. домены обладают макроскопической электрической поляризацией $P_{СП}$ в отсутствие внешнего электрического поля. Отдельные домены имеют различные направления электрических моментов, и в целом кристалл не создает вокруг себя электрического поля (рис. 1, а).

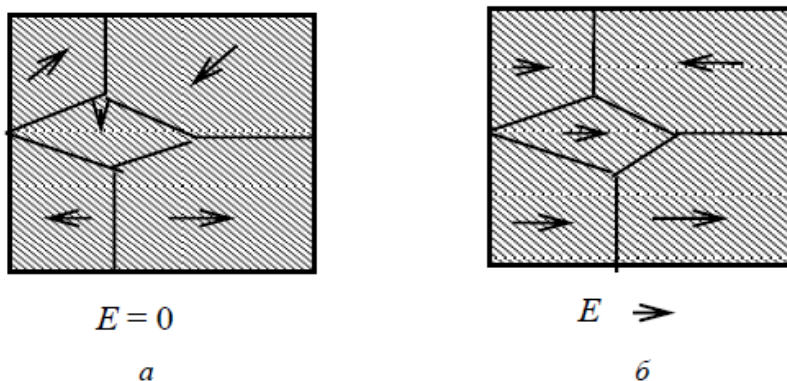


Рис. 1

Спонтанная поляризация $P_{СП}$ существует только в определенном температурном интервале, когда сегнетоэлектрик имеет доменную структуру.

При температуре фазового перехода, называемой температурой Кюри, происходит изменение структуры кристалла, сопровождаемое возникновением (исчезновением) спонтанной поляризации. При $t^\circ > t^\circ_{Кюри}$ исчезает электрическая асимметрия элементарной ячейки, пропадает дипольный момент и домены распадаются. В области фазового перехода резко меняются и имеют аномалии почти все свойства кристалла: электрические, оптические, механические и др.

При воздействии внешнего электрического поля электрические моменты доменов ориентируются вдоль поля, создавая наряду с электронной и ионной поляризацией еще один вид – доменную поляризацию (рис. 1, б). Эта поляризация преобладает над другими механизмами. При $t^\circ > t^\circ_{Кюри}$ домены исчезают и в сегнетоэлектрике наблюдаются только ионная и электронная поляризации. Закон, описывающий поведение диэлектрической проницаемости сегнетоэлектрика от температуры в области $t^\circ > t^\circ_{Кюри}$, называется законом Кюри-Вейсса и имеет вид:

$$\varepsilon = C/(T - T_{\text{Кюри}})$$

где C – постоянная Кюри, характеризующая материал,
 T – температура в К,
 $T_{\text{Кюри}}$ – температура Кюри, также измеренная в К.

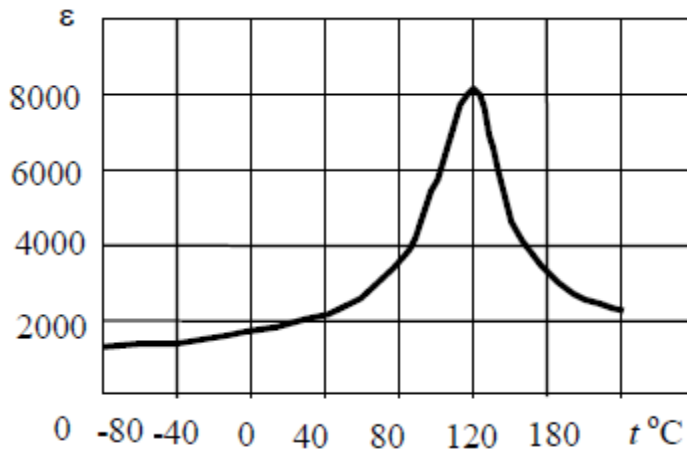


Рис. 2

Считается, что температура фазового перехода соответствует максимуму диэлектрической проницаемости. На рис. 2 представлен график зависимости $\varepsilon=f(t)$ для наиболее распространенного сегнетоэлектрика ионного типа (титанат бария BaTiO_3).

Особенности сегнетоэлектриков состоят в следующем:

1. Наличие диэлектрического **гистерезиса** – отставание поляризации от величины приложенного внешнего поля.

При небольших значениях внешнего поля, пока оно не в

состоянии переориентировать ни один из доменов, сегнетоэлектрик ведет себя как обычный диэлектрик. Но при некотором значении внешнего поля электрические моменты доменов начинают ориентироваться по полю. По мере увеличения внешнего поля начинается быстрый рост поляризации образца, как за счет движения доменных стенок, так и за счет поворота электрических моментов доменов. При достижении состояния, называемым **насыщением**, вектора поляризации в доменах ориентированы вдоль направления поля. Сегнетоэлектрик становится однодоменным. При дальнейшем увеличении напряженности внешнего поля общая поляризация такого кристалла слабо растет за счет увеличения индуцированной поляризации.

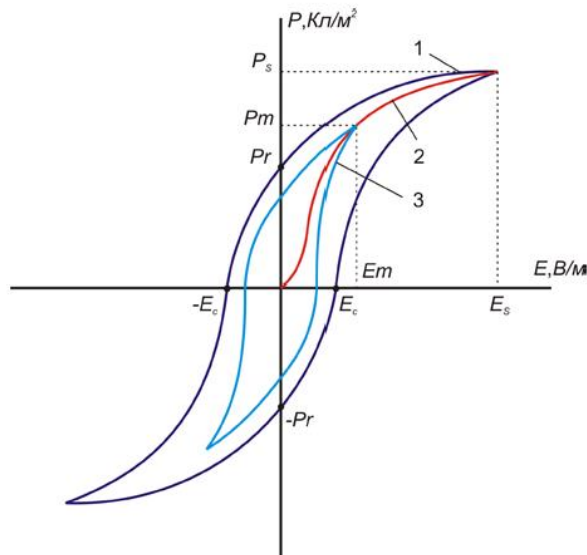


Рис. 3

При уменьшении электрического поля домены, в отличие от молекул полярного диэлектрика, не смогут до конца вернуться в свое первоначальное состояние, и тем самым обеспечивают остаточную поляризацию. Уменьшение поляризации P при уменьшении внешнего поля пойдёт по кривой 2, отличной от кривой 1 первоначальной поляризации, т.е. поляризация будет убывать более медленно, «запаздывать». Когда поле станет равным нулю, сегнетоэлектрик сохраняет остаточную поляризацию P_0 . Теперь для того чтобы свести поляризацию

сегнетоэлектрика к нулю, необходимо приложить поле направленное противоположно первоначальному, это поле будет действовать на домены, заставляя повернуться их в противоположную сторону и тем самым уменьшить общую поляризацию сегнетоэлектрика. Напряженность поля, при которой поляризация сегнетоэлектрика становится опять равной нулю, называется **коэрцитивной напряжённостью** E_c .

Гистерезис можно наблюдать, подводя к образцу сегнетоэлектрика с металлизированными поверхностями (сегнетоконденсатору) переменное напряжение. Часть электрической энергии, которая при переменном напряжении в диэлектрике переходит в тепло, называют диэлектрическими потерями. Площадь петли гистерезиса пропорциональна энергии, рассеянной за один период.

Изменяя значения подаваемого напряжения, можно получить семейство петель гистерезиса и восстановить кривую первоначальной поляризации. Сняв параметры петли, можно рассчитать такие характеристики сегнетоэлектрика как поляризация насыщения, остаточная поляризация, коэрцитивная сила при определенных значениях внешнего напряжения.

2. Нелинейная зависимость значения вектора поляризации P и диэлектрической проницаемости ϵ от напряженности внешнего электрического поля.

3. Значительная зависимость диэлектрической проницаемости ϵ от температуры с аномально большим максимумом при температуре Кюри. После температуры Кюри ϵ резко уменьшается до значений, обусловленных индуцированной поляризацией.

4. Высокое значение ϵ ($10^3..10^4$). Это обусловлено тем, что под воздействием внешнего электрического поля ориентируются электрические моменты доменов, а не отдельных атомов или молекул.

5. При переходе через точку Кюри скачкообразно изменяется целый ряд свойств вещества: структура кристаллической решетки, удельная теплоемкость, показатель преломления и др.

В настоящее время известно значительное число сегнетоэлектриков, отличающихся химическим составом, кристаллической структурой и свойствами. По механизму возникновения спонтанной поляризации все сегнетоэлектрики можно разделить на две группы (примеры даны в табл. 3).

Кристалл	t° Кюри	ϵ
Дополнительные сегнетоэлектрики $KNa(C_4H_4O_6) \cdot 4H_2O$	+ 24, - 18	≈ 9000
$LiNH_4(C_4H_4O_6) \cdot H_2O$	- 167	≈ 9000
ионные $BaTiO_3$	+ 120	≈ 104
$KNbO_3$	+ 435	≈ 104
$NaNbO_3$	+ 640	≈ 104

1-я группа – возникновение $P_{СП}$ обусловлено упорядочением определенных элементов структуры (например, водородных связей).

Сюда относятся сегнетова соль и другие дополнительные сегнетоэлектрики.

2-я группа – возникновение $P_{СП}$ связано со смещением некоторых ионов, занимавших в структуре centrosymmetric положение при температуре выше Кюри. Сюда относятся титанаты и аналогичные им вещества – это ионные сегнетоэлектрики. t .

Сегнетоэлектрики используются для изготовления нелинейных конденсаторов (сегнетокерамика типа ВК-1, ВК-2, ВК-3, ВК-4). Такие конденсаторы-вариконды применяются в различных схемах, где нужна нелинейность: для умножения и деления частоты; для детектирования сигналов; для создания частоты модуляции в схемах реле времени; в ячейках памяти; для создания диэлектрических усилителей и других устройств. В качестве материалов для варикондов чаще всего выступают твердые растворы систем $Ba(Ti, Sn)O_3$, $Pb(Ti, Zr, Sn)O_3$. Использование твердых растворов в системе сегнетоэлектрика позволяет варьировать основные параметры материала в широких пределах (рис. 4).

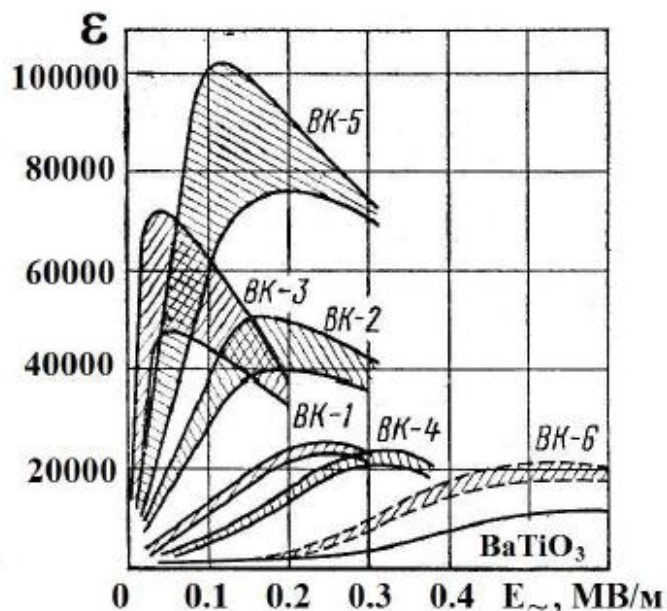
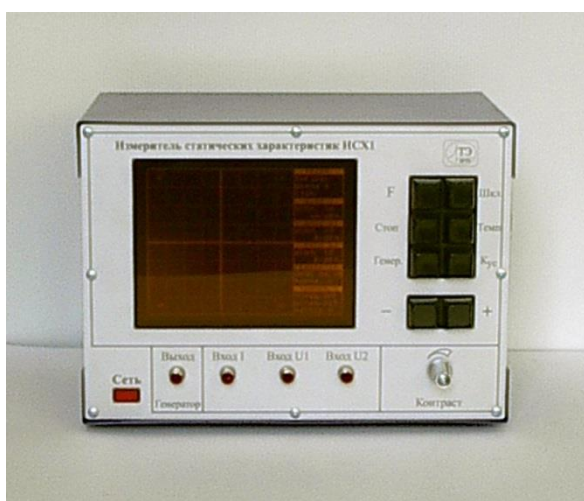


Рис. 4

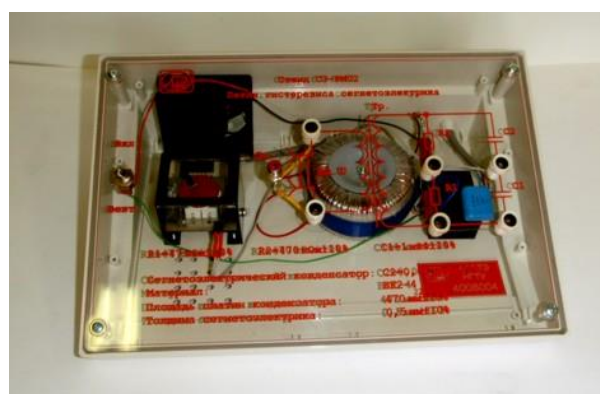
На рис. 4 показана зависимость диэлектрической проницаемости от температуры для одной из таких систем $\text{BaTiO}_3 - \text{BaZrO}_3$ с разным содержанием компонентов в растворе. Ясно видно, что как значение диэлектрической проницаемости, так и величина точки Кюри сильно изменяются при изменении концентрации BaZrO_3 в растворе. Аналогичное поведение можно наблюдать для распространенных варикондов типа ВК, построенных на основе титаната бария, окиси олова, окиси хрома и борной кислоты. Пример изменения величины диэлектрической проницаемости и максимальной напряженности внешнего поля для разных составов такой системы показан на рис. 4. Из этого рисунка можно видеть, что величина максимальной диэлектрической проницаемости сильно зависит от марки вариконда, т.е. от состава диэлектрика.

Методика проведения эксперимента

Свойства сегнетоэлектриков исследуются с помощью характериометра ИСХ1 (рис. 5а), работающего совместно со стендом СЗ-РМ02 (рис. 5б).



а)



б)

Рис. 5

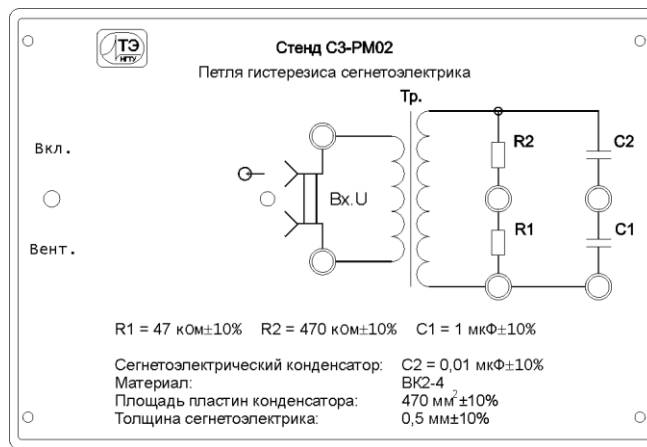


Рис. 6

На рис. 6 представлен внешний вид стенда С3-PM02. Он содержит термокамеру с исследуемым сегнетоэлектрическим конденсатором, повышающий трансформатор, резистивный делитель и конденсатор с полипропиленовым изолятором.

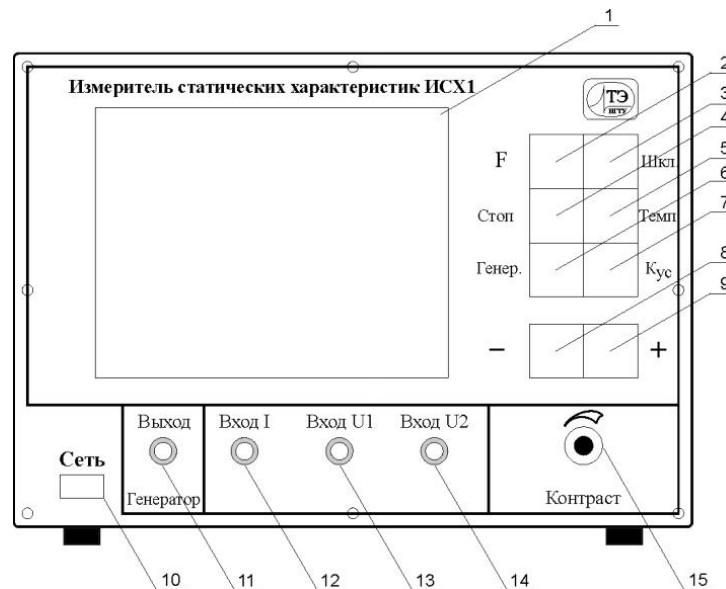


Рис. 7

Органы управления прибором показаны на рис. 7.

- 1 – графический дисплей;
- 2 – кнопка выбора режима работы «F»;
- 3 – кнопка выбора шкалы «Шкл.»;
- 4 – кнопка запоминания оцифрованного сигнала «Стоп»;
- 5 – кнопка выбора температурного режима «Темп»;
- 6 – кнопка управления генератором «Генер.»;
- 7 – кнопка выбора коэффициента отклонения «Кус»;
- 8 – кнопка уменьшения выбранной величины «-»;
- 9 – кнопка увеличения выбранной величины «+»;
- 10 – кнопка выключателя «Сеть»;
- 11 – выход генератора;
- 12 – вход тока I;
- 13 – вход напряжения U1;
- 14 – вход напряжения U2;
- 15 – ручка регулировки контраста изображения «Контраст»;

7. Для включения режима «Стоп-кадр» необходимо нажать кнопку 4 «СТОП». При этом кадр будет остановлен для проведения измерений. Для выхода из этого режима необходимо нажать кнопку «СТОП» повторно.

8. Установка требуемой температуры (по умолчанию образцы имеют температуру окружающей среды) осуществляется нажатием кнопки «ТЕМП» и последующим выбором кнопками «+» и «-» температуры, до которой необходимо нагреть образцы. В строке «УСТАН.» отображается заданная температура, а в строке «ТЕКУЩ.» ее текущее значение. Для регулировки температуры сегнетоэлектрика стенд снабжен вентилятором.

Градуировка горизонтальной и вертикальной осей характериографа

После включения установки ИСХ1, используя соединительные провода, необходимо подключить стенд СЗ-РМ02 к измерительным клеммам прибора. Для этого сигнал с генератора подается на первичную обмотку повышающего трансформатора, а выходной сигнал U_2 снимается с эталонного конденсатора C_1 , так как напряжение на нем пропорционально его заряду (и заряду на конденсаторе C_2 , так как при последовательном включении конденсаторов их заряды равны). При этом на горизонтальный вход осциллографа подается напряжение с резистора R_1 , которое связано с общим падением напряжения во второй обмотке U следующим образом: $U = U_1(1+R_2/R_1)$. Таким образом, по горизонтальной оси осциллограммы откладывается значение напряжения, а по вертикальной – значения заряда.

Градуировка горизонтальной и вертикальной осей характериографа

Масштабный коэффициент для горизонтальной оси вычисляется (оси напряжений) по формуле:

$$M_U = K_{U1} \frac{R_2}{R_1} \quad (1)$$

где K_{U1} – показания коэффициента усиления сигнала по входу U_1 (В/дел);

Масштабный коэффициент для горизонтальной оси вычисляется (оси зарядов) по формуле:

$$m_q = K_{U2} \cdot C_1 \quad (2)$$

где K_{U2} – показания коэффициента усиления сигнала по входу U_2 (В/дел).

Рекомендуемое задание

1. Определение основных параметров петли гистерезиса.

Определение основных параметров петли гистерезиса проводится при максимальном ее (предельном) размере. Для получения максимального размаха петли необходимо установить максимальное значение напряжения $U_{ген} = 10$ В. После этого определить максимальный заряд q_{max} , оста точный заряд q_r и коэртитивную силу U_c (см. рис. 3). Данные занести в таблицу.

2. Построение основной кулон-вольтной кривой сегнетоконденсатора.

При помощи генератора сигнала постепенно увеличивают напряжение $U_{ген}$ от нуля до 10 В ступенями 1 В. На экране характериографа получают все увеличивающиеся петли гистерезиса. При этом каждый раз фиксируется координаты положительной вершины петли, т.е. координаты амплитудных значений заряда q_m и напряжения U_m . Кривая, соединяющая вершины петель, есть основная кулон-вольтная кривая (рис. 3, начальная кривая 2). Для ее построения удобно использовать режим «СТОП-кадр».

Замечание. Для более точного определения координат вершин при малых значениях $U_{ген}$, изменяйте коэффициенты усиления по осям K_{U1} , K_{U2} , чтобы размер кривой был больше 5 мм x 5 мм.

3. Определение эффективной емкости и эффективной диэлектрической проницаемости

Эффективная емкость – емкость при переменном напряжении. Это емкость такого линейного конденсатора, заряд которого при амплитудном напряжении равен заряду нелинейного

конденсатора при том же напряжении. Эффективная емкость равна отношению максимального заряда на обкладках конденсатора к амплитуде приложенного напряжения:

$$C_{\text{эф}} = \frac{q_m}{U_m} \quad (3)$$

Поскольку основная кулон-вольтная кривая представляет собой зависимость, в любой точке прямо пропорциональна отношению Y/X в этой точке. По построенной кулон-вольтной кривой вычисляют величины эффективной емкости для различных напряжений (через 1 В):

$$C_{\text{эф}} = \frac{m_q}{M_U} \frac{Y}{X} \quad (4)$$

По полученным данным построить график зависимости $C_{\text{эф}}=f(U_m)$.

Значение эффективной диэлектрической проницаемости находят по формуле плоского конденсатора:

$$\varepsilon_{\text{эф}} = \frac{C_{\text{эф}}h}{\varepsilon_0 S} \quad (5)$$

Где h – толщина конденсатора;
 S – площадь конденсатора.

Напряженность электрического поля в образце вычисляется по формуле

$$E = \frac{U_m}{h} \quad (6)$$

По полученным данным построить график зависимости $\varepsilon_{\text{эф}}=f(E)$.

4. Определение температуры Кюри

Для определения температуры Кюри установите напряжение генератора 10 В. Определите X и Y -координаты положительной вершины предельной петли гистерезиса. Установите последовательно следующий температурный ряд: 30, 40, 60, 65, 70, 75 °С. **Интервал между измерениями 3 мин.** Для каждой температуры фиксируйте Y -координату вершины петли гистерезиса. По результатам измерений постройте зависимость $\varepsilon_{\text{эф}}(T)$ и определите из графика температуру Кюри, как точку максимальной величины диэлектрической проницаемости

Список используемых источников

Материаловедение. Конструкционные и электротехнические материалы. Материалы и элементы электронной техники. Методические указания к лабораторным работам №1-4 для студентов II курса ЭМФ, РЭФ / В.Н. Гаревский И.Л. Новиков, Р.П. Дикарева, Т.С. Романова. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2009. – 74 с.

февраль 2016

630092 г. Новосибирск пр. Карла Маркса 20, НГТУ,
НИЛ ТЕХНИКИ ЭКСПЕРИМЕНТА (НИЛ ТЭ)

тел.: (383)-3460677

http: www.nil.opprib.ru

e-mail: lab@opprib.ru