

010206. Сегнетоэлектрик.

Цель работы: экспериментальное определение основных параметров сегнетоэлектриков по петле гистерезиса.

Требуемое оборудование:

Стенд с объектами исследования СЗ-СЭ1 «Сегнетоэлектрик»;
Генератор напряжений ГН1;
Осциллограф ОЦЛ2.

Краткое теоретическое введение

Диэлектриками называют материалы, в которых нет свободных электрических зарядов, поэтому они не могут проводить электрический ток. При внесении диэлектрика во внешнее электрическое поле происходит явление **поляризации**, т. е. смещения зарядов, входящих в состав молекул, в соответствии с их знаком (положительные заряды смещаются в направлении вектора электрического поля, отрицательные – в противоположном). В результате на поверхности диэлектрика возникают связанные заряды, неспособные свободно перемещаться по диэлектрику. Наличие этих зарядов приводит к тому, что поле внутри диэлектрика уменьшается. Физическая величина, равная отношению модуля вектора напряженности E_0 однородного электрического поля в вакууме к модулю вектора напряженности электрического поля в диэлектрике E , называется диэлектрической проницаемостью вещества:

$$\varepsilon = \frac{E_0}{E}$$

Для количественной характеристики поляризации используется физическая величина, называемая **вектором поляризации** P . Он равен дипольному моменту единицы объема диэлектрика:

$$\vec{P} = \frac{\sum_{i=1}^N \vec{p}_i}{V}$$

где $p_i = ql$ – дипольный электрический момент молекулы (вектор l направлен от отрицательного заряда к положительному), V – объем образца, N – число диполей в объеме V .

Для большинства диэлектриков в отсутствии внешнего электрического поля дипольные моменты молекул равны нулю (в случае неполярных молекул), либо расположены хаотично так, что суммарный дипольный момент равен нулю.

Для ряда ионных кристаллов центры положительных и отрицательных зарядов, расположенных в одной элементарной ячейке, не совпадают. Каждая такая элементарная ячейка может рассматриваться как диполь. В результате взаимодействия элементарных ячеек друг с другом могут образовываться микроскопические области, в которых дипольные моменты элементарных ячеек ориентированы одинаково. Это приводит к тому, что в кристалле возникают области со **спонтанной поляризацией** в отсутствии внешнего электрического поля. Такие области называются **доменами**. Направление суммарного дипольного момента каждого домена

расположено хаотично по отношению друг другу. По этому, суммарный дипольный момент всего кристалла равен нулю. Такие вещества называются **сегнетоэлектриками**.

Для сегнетоэлектриков спонтанная поляризация существует только в определенном интервале температур. При температуре фазового перехода, называемой **точкой Кюри**, происходит изменение структуры кристалла. При температуре выше точки Кюри исчезает электрическая несимметрия элементарных ячеек и домены распадаются. Кристалл становится неполярным.

Особенности сегнетоэлектриков состоят в следующем:

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

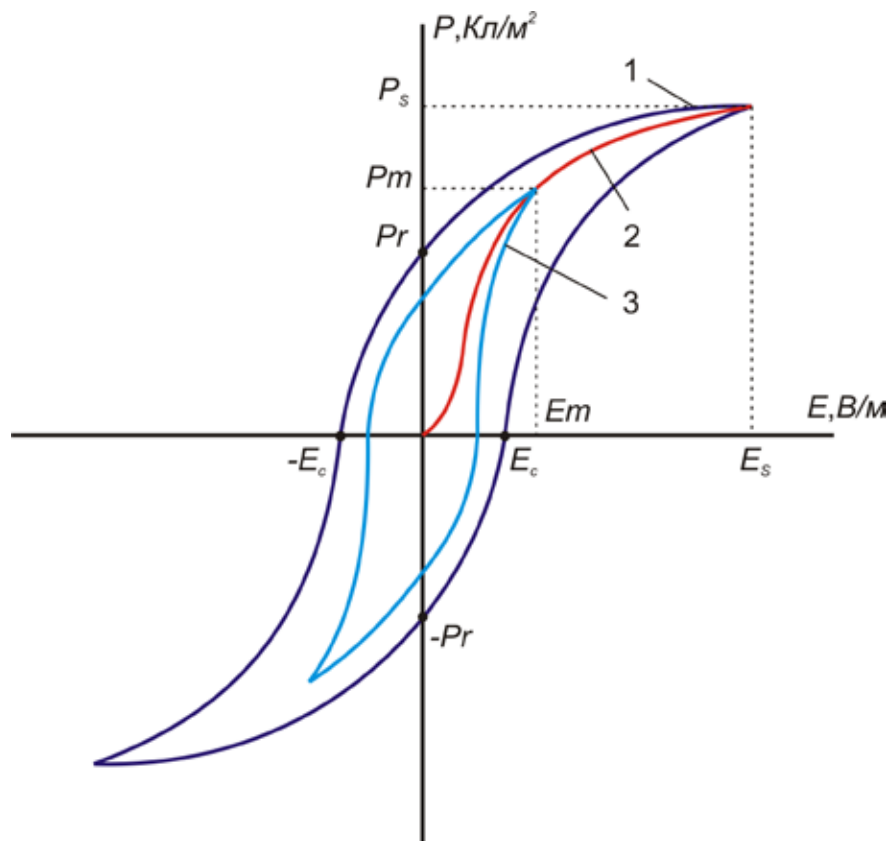


Рис. 1

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.

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 пойдет 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.

Методика эксперимента

В качестве исследуемого образца используется сегнетоэлектрический конденсатор вариконд ВК2-4, у которого известны геометрические размеры. Он расположен на термостатированной площадке в стенде СЗ-СЭ1. Стенд содержит ещё терморегулятор, повышающий трансформатор, делитель напряжения, эталонный конденсатор и вентилятор для быстрого охлаждения образца. Стенд подключается к генератору напряжений ГН1 через разъем на задней панели прибора.



Рис. 2

Получить изображение петли гистерезиса сегнетоэлектрика на экране осциллографа ОЦЛ2 можно с помощью схемы рис. 3. Схема собирается с помощью проводников. В качестве источника используется генератор регулируемого синусоидального напряжения, расположенный в приборе ГН1. Осциллограф переводится в режим X-Y.

На схеме исследуемый сегнетоэлектрический конденсатор $C_{сегн}$ последовательно присоединен к эталонному конденсатору $C1$. Напряжение U на выходе повышающего трансформатора равно сумме напряжений на каждом из конденсаторов:

$$U = U_{сегн} + U_{C1} = \frac{q}{C_{сегн}} + \frac{q}{C1}$$

Заряды q на конденсаторах равны, т. к. конденсаторы соединены последовательно. Поскольку в схеме $C_{сегн} \gg C1$, то $U_{сегн} \gg U_{C1}$ и $U \approx U_{сегн}$ (напряжение на выходе трансформатора

приблизительно равно напряжению на сегнетоэлектрическом конденсаторе). В этом случае модуль вектора напряженности в сегнетоэлектрическом образце:

$$E = \frac{U}{d}$$

где d – толщина образца.

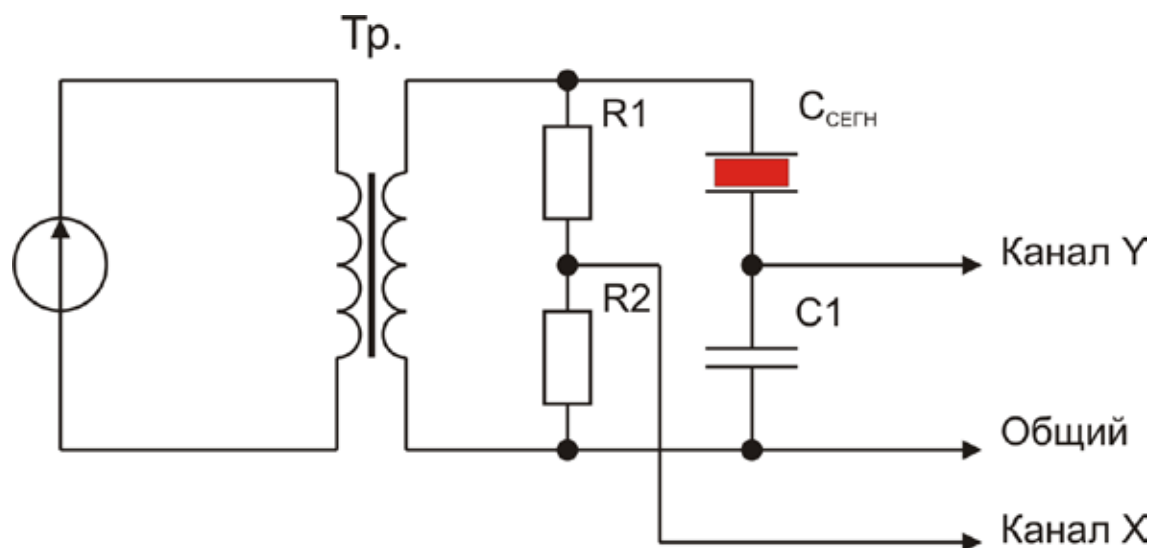


Рис. 3

Из схемы видно, что напряжение на выходе трансформатора пропорционально напряжению на резисторе $R2$:

$$U_{R2} = U \frac{R2}{(R1 + R2)}$$

Напряжение на эталонном конденсаторе пропорционально заряду на сегнетоэлектрическом образце:

$$U_{C1} = \frac{U_{\text{сегн}} C_{\text{сегн}}}{C_1} = \frac{Q_{\text{сегн}}}{C_1}$$

В то же время

$$Q_{\text{сегн}} = \sigma S$$

где S - поверхностная плотность заряда на пластинах сегнетоэлектрического конденсатора.

В слабых полях $s = P$. Тогда:

$$U_{C1} = \frac{PS}{C_1}$$

Таким образом, напряжение на эталонном конденсаторе пропорционально модулю вектора поляризации.

Рекомендуемое задание к работе

1. Включить в сеть осциллограф и лабораторный стенд. С помощью ручек, установить изображение петли гистерезиса в центре экрана.
2. Изменяя напряжение генератора ГН1, получить на экране осциллографа 5-7 петель.
3. Для каждой из полученных петель определить координаты и рассчитать значения P_m E_m .
4. Построить кривую начальной поляризации (график зависимости $P_m = f(E_m)$).
5. Зарисовать предельную петлю, отметив на рисунке значения поляризации насыщения, остаточной поляризации и коэрцитивной силы.
6. Плавно увеличивая температуру, найдите точку Кюри, при которой исчезает петля гистерезиса.

Май 2013