

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ВОЛЖСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ)
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

КАФЕДРА «ПРИКЛАДНАЯ ФИЗИКА И МАТЕМАТИКА»

А.Л. Суркаев, М.М. Кумыш

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ

Методические указания



Волгоград
2015

УДК 53 (075.5)

Рецензент:

Канд. физ.-мат. наук, доцент Т.А. Сухова

Издается по решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

А.Л. Суркаев, **Исследование свойств сегнетоэлектриков** [Электронный ресурс]: методические указания / А.Л. Суркаев, М.М. Кумыш //Сборник «Методические указания» Выпуск 3.-Электрон. текстовые дан.(1файл:141Кb) – Волжский: ВПИ (филиал) ГОУВПО ВолгГТУ, 2015.-Систем.требования:Windows 95 и выше; ПК с процессором 486+; CD-ROM.

Методические указания содержат рекомендации к выполнению лабораторной работы, представленной во второй части практикума кафедры «Прикладная физика и математика» Волжского политехнического института.
Предназначены для студентов всех форм обучения.

©Волгоградский
государственный
технический
университет, 2015
© Волжский
политехнический
институт, 2015

Лабораторная работа № 227

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ

227.1. Цель работы: Изучение поляризации сегнетоэлектриков, изменение спонтанной поляризованности, коэрцитивного поля и исследование их зависимостей от температуры.

227.2. Содержание работы Диэлектрики – непроводники электричества. По представлениям классической физики в них, в отличие от проводников, нет свободных микроскопических зарядов, способных перемещаться на макроскопические расстояния и обеспечивать электрическую проводимость. Свойства диэлектрика определяются свойствами отдельных его молекул. Каждая молекула диэлектрика нейтральна, но содержит положительно заряженные ядра и отрицательно заряженные электроны.

Диэлектрик называют полярным, если в его молекулах центры тяжести положительных и отрицательных зарядов не совпадают. Такую молекулу можно рассматривать как электрический диполь (рис. 227.1), характеризуемый электрическим моментом:

$$\vec{P}_e = q\vec{\ell} \quad (227.1)$$

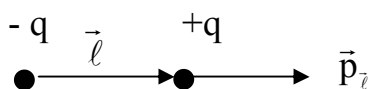


Рис.227.1

В отсутствие внешнего электрического поля молекулы-диполи ориентированы хаотично (в результате теплового движения), поэтому в любом объеме диэлектрика векторная сумма электрических моментов всех молекул равна нулю.

Диэлектрики называют неполярным, если в его молекулах центры тяжести положительных и отрицательных зарядов совпадают и электриче-

ский момент \vec{p}_ℓ каждой молекулы, а, следовательно, и любого объема равен нулю.

Во внешнем электрическом поле заряды, связанные в молекуле диэлектрика, могут смещаться в пределах молекулы, а молекулы-диполи могут ориентироваться полем. В результате всех изменений, происходящих в диэлектрике под действием электрического поля, возникает новое состояние диэлектрика с электрическим моментом у всего объема, отличным от нуля. Это явление называется поляризацией диэлектрика.

Механизм поляризации полярных и неполярных диэлектриков разный.

В однородном электрическом поле молекулы полярного диэлектрика стремятся повернуться так, чтобы их электрические моменты были направлены вдоль поля. Этому препятствует хаотическое тепловое движение молекул, стремящееся произвольно «разбросать» молекулы-диполи. В результате совместного действия поля и теплового движения устанавливается некоторая преимущественная ориентация электрических моментов \vec{p}_ℓ молекул вдоль поля. Ориентация будет тем более полной, чем сильнее электрическое поле и чем ниже температура. Рассмотренный тип поляризации называется ориентационной.

Во внешнем электрическом поле в молекулах неполяризованного диэлектрика центр тяжести отрицательных зарядов смещается по отношению к центру тяжести положительных зарядов на некоторое малое расстояние l , в направлении, противоположном направлению вектора напряженности поля. Неполярная молекула приобретает индуцированный (наведенный) электрический момент за счет деформации электронных орбит. Существенно, что электрические моменты всех таких молекул наводятся в направлении действующего поля и независимо от температуры диэлектрика. В результате весь объем неполярного диэлектрика в электрическом поле

так же приобретает электрический момент. Такого типа поляризацию называют электронной (или деформационной). Количественной мерой поляризации диэлектрика является поляризованность \vec{P}_ℓ :

$$\vec{P}_\ell = \frac{\sum_{i=1}^N \vec{p}_{\ell i}}{\Delta V} \quad (227.2)$$

где $\sum_{i=1}^N \vec{p}_{\ell i}$ - векторная сумма электрических моментов всех молекул в физически бесконечно малом объеме ΔV .

У изотропных диэлектриков любого типа поляризованность связана с напряженностью поля в той же точке диэлектрика соотношением:

$$\vec{P} = \aleph \epsilon_0 \vec{E}, \quad (227.3)$$

где \aleph - независящая от E безразмерная величина, называемая диэлектрической восприимчивостью; ϵ_0 - электрическая постоянная.

Заряды, входящие в состав молекул диэлектрика, называют связанными в отличие от свободных зарядов (носителей тока в проводящих средах и избыточных сообщенных телу зарядов, нарушающих его электрическую нейтральность). Поляризация диэлектрика (при любом ее типе) сопровождается возникновением в тонком поверхностном слое диэлектрика избытка связанных зарядов одного знака. Эти связанные заряды, распределенные по поверхности поляризованного диэлектрика, называют поляризационными.

Между поверхностью плотность σ_p поляризационных зарядов и поляризованностью \vec{P} диэлектрика существует простая связь:

$$\sigma_p = P_n, \quad (227.4)$$

где P_n - проекция вектора \vec{P} на внешнюю нормаль к поверхности диэлектрика. В соответствии с формулой (227.4) единица поляризованности в СИ – кулон на квадратный метр (Кл/м²).

Некоторые диэлектрики в силу особенностей кристаллической структуры могут быть в поляризованном состоянии и в отсутствие внешнего электрического поля. Такая поляризация называется спонтанной или самопроизвольной. Среди спонтанно поляризованных диэлектриков значительную группу составляют сегнетоэлектрики, получившие свое название по первому открытому с такими свойствами – сегнетовой соли.

В спонтанно поляризованном состоянии сегнетоэлектрики находятся в определенном интервале температур. В этом состоянии кристалл разбит на ряд самопроизвольно поляризованных областей – доменов. Внутри домена электрические моменты всех молекул ориентированы в одном направлении, и вся микроскопическая область имеет определенным образом ориентированный значительный электрический момент. Без внешнего поля домены располагаются хаотично и электрический момент кристалла близок к нулю. При температуре, называемой точкой Кюри, происходит фазовый сегнетоэлектрический переход (первого или второго рода) с возникновением или исчезновением спонтанной поляризации. Чаще всего спонтанная поляризация существует ниже этой температуры, а при температурах выше точки Кюри домены разрушаются и кристалл становится обычным поляризуемым диэлектриком. Под влиянием внешнего электрического поля в многодоменном кристалле происходит изменение размеров благоприятно ориентированных доменов и переориентация электрических моментов доменов в направлении внешнего поля, что приводит к значительной поляризации кристалла в целом.

Возможность изменения направления поляризованности внешним электрическим полем (переполариза-

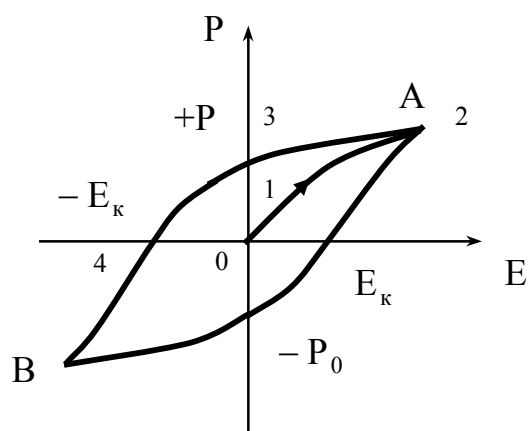


Рис. 227.2

ция) – характерная особенность сегнетоэлектриков. Этот процесс можно изучить, периодически изменяя поле. При первоначальном увеличении напряженности E поля поляризованность P неполяризованного образца растет нелинейно в соответствии ветвью 0-1-2 (рис. 227.2). Особенно интенсивен рост в полях, способных ориентировать домены. Поляризованность нарастает до тех пор, пока не будет достигнута ориентация всех доменов по полю (кристалл становится однодоменным). Спонтанная поляризованность достигает насыщения и дальнейшее увеличение напряженности поля вызывает лишь незначительный рост P за счет индуцированной поляризации. Если после достижения состояния А напряженность начинает убывать, то поляризованность сегнетоэлектрика изменяется не по начальной кривой, а по кривой 2-3-4, отставая от изменений E . Это явление диэлектрического гистерезиса («гистерезис» по-гречески - запаздывание). При $E=0$ поляризованность, уменьшаясь, достигает значения P_r , называемого остаточной поляризованностью. Чтобы поляризованность образца уменьшить до нуля, на образец надо наложить поле противоположного направления с напряженностью E_k , называемой коэрцитивным полем (коэрцитивной силой). При напряженности поля E_k произойдет изменение направления вектора \vec{P} . Дальнейшее увеличение, а затем уменьшение до нуля напряженности поля этого направления \vec{p} не изменяет. Цикл изменения $P(E)$ будет завершен, если после достижения $E=0$ еще раз изменить направление вектора \vec{E} и увеличить напряженность поля до значения, соответствующего точке 2.

Кривая зависимости поляризованности P сегнетоэлектрика от напряженности E периодически изменяющегося поля, называемая петлей диэлектрического гистерезиса, используется в настоящей работе для измерения спонтанной поляризованности P_s и коэрцитивного поля E_c .

Определения P_s и E_c производится в интервале температур от комнатной до точки Кюри при нагревании сегнетоэлектрика триглицинсульфата. Характер изменения P_s вблизи точки Кюри характеризует род сегнетоэлектрического фазового перехода. Зависимости P_s и E_c от температуры для исследуемого сегнетоэлектрика изображаются графически.

227. 3. Описание лабораторной установки

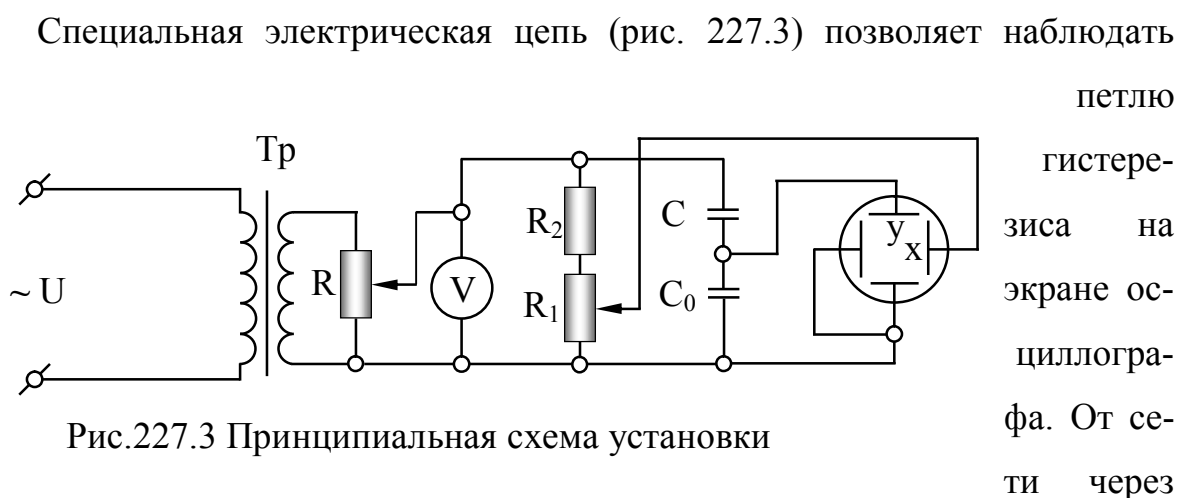


Рис.227.3 Принципиальная схема установки

трансформатор Т напряжение подается на делители напряжения: резисторный R_1R_2 и емкостный C, C_0 . Напряжение на делителях измеряется вольтметром V . С потенциометра R_1 напряжение подается на горизонтально отклоняющие пластины осциллографа. Амплитуду этого напряжения U_x можно изменять, вращая ручку потенциометра R_1 . Исследуемый образец в виде пластин с электродами представляет собой сегнетоэлектрический конденсатор электрической емкости C , много меньше емкости вспомогательного конденсатора C_0 подается на вертикально отклоняющие пластины осциллографа. Сегнетоэлектрик помещен в нагреватель, температура внутри которого измеряется термометром.

ВНИМАНИЕ! Не прикасайтесь к токонесущим частям электрической цепи. По достижению точки Кюри, когда петля гистерезиса превратится в слегка наклонную линию, немедленно отключите нагреватель.

227.4. Методика эксперимента

На горизонтально отклоняющие пластины осциллографа подается напряжение U_x , прямо пропорциональное напряжению U , приложенному к резисторному делителю:

$$U_x = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U. \quad (227.5)$$

Так как $C \ll C_0$, практически все напряжение U , приложенное к емкостному делителю, падает на сегнетоэлектрике с расстоянием между его электродами d . Напряженность поля в нем будет:

$$E = \frac{U}{d}. \quad (227.6)$$

Таким образом, горизонтальное отклонение луча осциллографа, определяемое напряжением прямо пропорциональным напряженности поля в сегнетоэлектрике:

$$U_x = \frac{R_1 d}{R_1 + R_2} E, \quad (227.7)$$

На вертикально отклоняющие пластины подается напряжение со вспомогательного конденсатора, пропорциональное его заряду:

$$U_y = U_0 = q_0 / C_0 \quad (227.8)$$

Так как сегнетоэлектрический и вспомогательный конденсаторы включены последовательно, заряды на них одинаковы. Поэтому:

$$U_y = q_0 / C_0 \quad (227.9)$$

где Q – заряд на сегнетоэлектрическом конденсаторе. Поскольку $q = \sigma_{\delta}S$, а в соответствии с формулой (227.4) $\sigma_{\delta} = \mathfrak{D}$, то $q = \mathfrak{D}S$, где S - площадь пластины сегнетоэлектрического конденсатора. Тогда из формулы (227.9) для U_y получаем:

$$U_y = \frac{S}{C_0} P \quad (227.10)$$

Следовательно, вертикальное отклонение луча прямо пропорционально поляризованности сегнетоэлектрика. Результирующее смещение электронного луча определяется напряжениями U_x и U_y одновременно, поэтому в соответствии с формулами (227.7) и (227.10) луч «выписывает» на экране в определенном масштабе графическую зависимость $P(E)$ за цикл изменения напряженности поля (рис. 227.4). Так как на участке 1-2 петли гистерезиса (рис. 227.2) происходит линейный рост поляризованности только за счет индуцированной поляризации, то экстраполируя прямую 2-1 до пересечения с осью ОР можно определить спонтанную поляризованность P_s . Обратите внимание на то, что пунктирная прямая на рис. 227.2 и 227.4 является продолжением прямой 2-1, а не перпендикуляром к оси ОР. Определяя по графику на экране осциллографа длину отрезка в делениях измерительной сетки и цену деления k_y сетки по вертикальной оси, по формуле (227.10) получим спонтанную поляризованность:

$$P_s = \frac{k_y l_y C_0}{2S} \quad (227.11)$$

Используя формулу (227.6), определяя длину отрезка l_x (рис.27.4) в делениях сетки и цену деления k_x , находим коэрцитивное поле:

$$E_c = \frac{k_x l_x}{2d} \quad (227.12)$$

При исследовании температурных зависимостей P_s и E_c измерения отрезков l_y и l_x проводятся в интервале температур от комнатной до точки Кюри.

Литература, рекомендуемая для обязательной проработки: [1], §§7.1, ..., 7.6; [2], §§115, ..., 132; [3], §§43, ..., 45; [4], §§58, ..., 62; [5], §§131, ..., 136; [6], §§IV.9.1, ..., IV.9.7.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иродов И.Е. Электромагнетизм. Основные законы: Учебное пособие для физич. спец. вузов. – 9-е изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 319 с.
2. Калашников С.Г. Электричество. – 6-е изд., стер. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 624 с.
3. Савельев И.В. Курс общей физики в 4-х томах. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. – М.: КноРус, 2012. – Т.2. – 576 с.
4. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Электричество. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – Т.3. – 656 с.
5. Трофимова Т.И. Курс физики. – 20-е изд., стер. – М.: Изд-во «Академия», 2014. – 560 с.
6. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. – 8-е изд., испр. и перераб. – М.: Изд-во «Оникс», 2008. – 1056 с.

Учебное издание

Анатолий Леонидович Суркаев
Михаил Маркович Кумыш

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ

Методические указания

в авторской редакции

Темплан 2007 г., поз.№ __27. В_
Лицензия ИД № 04790 от 18.05.2001 г.

Подписано в печать _____. Формат 60x84 1/16.

Усл. печ. л. _1,16__.

Уч.-изд. л. _1,2 на магнитоносителе

Волгоградский государственный технический университет.
400131, г. Волгоград, просп. им. В.И. Ленина 28.

РПК “Политехник” Волгоградского государственного
технического университета.
400131, Волгоград, ул. Советская, 35.