Кафедра конструирования и технологии электрической изоляции

Лабораторная работа

Тема: Исследование сегнетоэлектриков

2007

**Цель работы:** исследование основных диэлектрических свойств сегнетоэлектриков в зависимости от напряженности внешнего электрического поля и температуры осциллографическим методом.

**Основные сведения из теории**

Сегнетоэлектриками называется особая группа диэлектриков, которая ниже определенной температуры или в некотором интервале температур обладает самопроизвольной (спонтанной) поляризацией, т.е. находятся в поляризованном состоянии при отсутствии внешнего электрического поля. Свое название они получили от сегнетовой соли, которая явилась исторически первым сегнетоэлектриком.

Все известные сегнетоэлектрики можно разделить на две основные группы: протонные сегнетоэлектрики – вещества, содержащие водород (сегнетова соль, смешанные кристаллы, родственные сегнетовой соли, дигидрофосфаты и дигидроарсенаты калия, аммония и их дейтеро-замещенные соли) и вещества не содержащие водорода (титанат бария, титанат свинца, родственные по структуре изоморфные смеси титаната бария и другие соединения). По структуре, составу и свойствам эти две группы значительно отличаются друг от друга. Первая группа сегнетоэлектриков характеризуется сложной структурой, в них причиной возникновения спонтанной поляризации принято считать протон. Эти кристаллы имеют спонтанную поляризацию при низких температурах, отличаются хрупкостью, вследствие чего их практическое применение затруднено и несколько ограничено.

Вторую группу составляют беспротонные сегнетоэлектрики, отличительной особенностью структуры которых является октаэдрическое окружение ионами кислорода меньшего по размерам катиона. Это группу называют сегнетоэлектриками кислородно-октаэдрического типа. Благодаря высоким электрическим характеристикам, простоте получения, разнообразию свойств сегнетоэлектрики второй группы находят широкое применение в различных областях техники.

Наличие спонтанной поляризации определяет ряд особых свойств сегнетоэлектриков.

- Высокая диэлектрическая проницаемость.

- Нелинейная зависимость диэлектрической проницаемости от температуры и наличие точки Кюри (рис. 1).

- Нелинейная зависимость вектора спонтанной поляризации и диэлектрической проницаемости от напряженности внешнего электрического поля (рис. 2).

- Диэлектрический гистерезис (рис. 3).

- Пьезоэффект.



|  |  |
| --- | --- |
| Рис. 1. Температурная зависимость диэлектрической проницаемости сегнетоэлектрика | Рис. 2. Зависимость поляризованности Р и диэлектрической проницаемости ε сегнетоэлектрика от напряженности внешнего электрического поля |

Из теорий сегнетоэлектричества известны: термодинамическая – наиболее полная и строгая, и теория локальных минимумов – менее строгая, но более наглядная.

Самопроизвольная поляризация возникает в веществах, имеющих доменную структуру. Домен – макроскопическая область, внутри которой электрические моменты отдельных частиц равны по величине и расположены параллельно.

Согласно термодинамической теории доменная структура в веществе возникает в том случае, если при этом за счет упорядоченного расположения частиц обеспечивается минимум полной энергии системы.

Для характеристики степени упорядоченности частиц в сегнетоэлектрике Гинзбург выбрал величину квадрата вектора поляризованности, так как величина свободной энергии не зависит от его направления, и свободную энергию однодоменного изотропного ненапряженного кристалла сегнетоэлектрика выразил в виде следующего ряда:

(1)



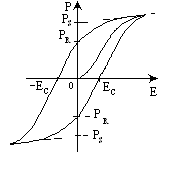
где F0 – свободная энергия кристалла в параэлектрической фазе;

P – модуль вектора поляризованности;

– коэффициенты разложения, зависящие от свойств вещества, причем



= const(T).



|  |  |
| --- | --- |
| Рис. 3. Петля гистерезиса cегнето-электрика: PR – остаточная поляризован-ность; Ec – коэрцитивное поле | Рис. 4. Зависимость свободной энергии F сегнетоэлектрика от поляризованности P  (PS – спонтанная поляризованность) |

Из анализа соотношения (1) следует, что устойчивое состояние спонтанной поляризации, соответствующее минимуму свободной энергии:



Возможно только после того, как коэффициент при переходе через некоторую температуру T0 изменит знак и приобретет отрицательное значение (рис. 4):



(2)



Физическая картина образования доменной структуры у сегнетоэлектриков кислородно-октаэдрического типа (титаната бария) описывается теорией локальных минимумов, предложенных Мэзоном и Маттиасом. Элементарная ячейка титаната бария представляет собой куб, в вершинах которого находятся ионы Ba2+, в центрах – ионы O2–, внутри куба – ион Ti4+ (рис. 5).

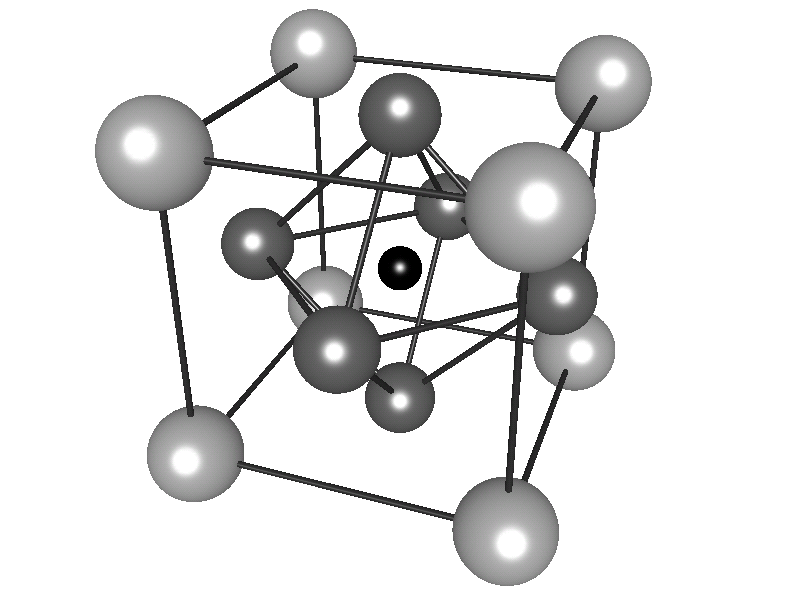


Рис. 5. Элементарная ячейка титанита бария

Ион титана располагается в пределах кислородного октаэдра, размеры которого много больше размеров иона титана. Это дает возможность иону титану колебаться, смещаясь к одному из ионов кислорода, и образовывать с ним частично ковалентную связь. Ковалентная связь удерживает ион титана в смещенном состоянии. Поскольку в этом случае центры положительного и отрицательного зарядов не совпадают, возникает электрический момент элементарной ячейки. Этот момент действует на соседние ионы титана, заставляя их смещаться в том же направлении. В результате появляется область кристалла с одинаково ориентированными электрическими моментами отдельных ячеек.

При кристаллизации вещества все 6 возможных направлений смещения иона титана являются равновероятными, поэтому возникающие домены взаимно уравновешиваются и кристалл в целом не обладает электрическим моментом.

При наложении внешнего электрического поля облегчается переброс ионов титана к тем ионам кислорода, образование ковалентной связи с которыми приводит к появлению момента, т. е. наблюдается рост доменов в направлении внешнего поля. Этим объясняется возрастание спонтанной поляризации с ростом электрического поля. Насыщение соответствует моменту полной ориентации всех доменов вдоль поля (см. рис. 2).



С увеличением температуры возрастает энергия теплового движения, благодаря чему облегчается разрушение старой ковалентной связи и образование новой, при которой электрический момент элементарной ячейки направлен вдоль поля. Таким образом, в случае многодоменного кристалла нагрев облегчает переориентацию доменов и приводит к увеличению спонтанной поляризации. При достижении определенной температуры хаотическое движение иона титана становится настолько интенсивным, что он колеблется внутри кислородного октаэдра, не создавая устойчивой ковалентной связи ни с одним из ионов кислорода. Можно считать, что в среднем он находится в центре октаэдра, и электрический момент элементарной ячейки становится равным нулю. Спонтанная поляризация исчезает. В этом физический смысл температуры Кюри.



Рис. 6. Зависимость диэлектрической проницаемости сегнетоэлектрика от температуры

Согласно термодинамической теории сегнетоэлектричества диэлектрическая проницаемость при воздействии внешнего электрического поля и температурах, близких к температуре Кюри, изменяется следующим образом (рис. 6):



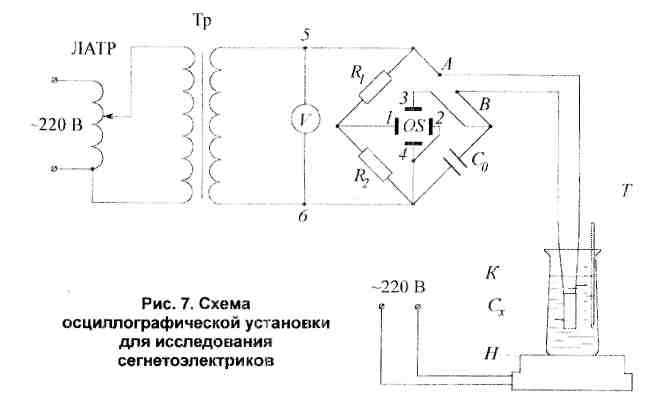
(3)



(4)



где – производная от по в точке Т = Т0.



Термодинамическая теория позволяет объяснить явление диэлектрического гистерезиса.

**Расчетная часть**

Начальные условия:



h - толщина сегнетоэлектрика



d – диаметр обкладки



S - площадь сегнетоэлектрика:



П - площадь петли гистерезиса .



Подать напряжение 60 В на образцовый конденсатор. На экране осциллографа будет видна наклонная прямая, соответствующая зависимости заряда образцового конденсатора от приложенного напряжения.

Определить отклонения X и Y и вычислить:

а) масштаб по горизонтальной оси электронно-лучевой трубки осциллографа:

,



где -амплитуда приложенного напряжения;



- показание вольтметра;



- отклонение от горизонтальной оси, соответствующее амплитуде приложенного напряжения;



б) масштаб по вертикальной оси электронно-лучевой трубки осциллографа:

,



где -заряд, соответствующий амплитудному значению напряжения на обкладках образцового конденсатора ;



-напряжение на образцовом конденсаторе,



;



- ёмкость градуировочного конденсатора



- отклонение от вертикальной оси.



в) диэлектрическая проницаемость сегнетоэлектрика:

,



где - ёмкость конденсатора из сегнетоэлектрика, [Ф]



,



- толщина образца



- площадь обкладок



г) тангенс угла диэлектрических потерь сегнетоэлектрика:

Диэлектрические потери в общем случае выражаются уравнением

.



Отсюда



Мощность потерь вычисляется по формуле

,



где - площадь петли гистерезиса, ;



;



Результаты вычислений записать в табл.1 и 2

Таблица 1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| , | , | , | , | , | , | , | , | , |
| 18 | 30 | 60 | 2 | 0,1 | 2,857 | 4,71 | 0,269 | 0,634 |

Таблица 2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| , | , | , |  |  |  | , | , |  |
| 18 | 30 | 84,85 | 8,081 | 0,095 | 13702 | 840 | 60 | 4,959 |

При помощи ЛАТРа и вольтметра изменять напряжение на сегнетоэлектрике от 150 В до 30 В с интервалом 20 В, отсчитывая ординаты вершин кривой.

Таблица 3

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 150 | 40 | 40 | 188,4 | 10,76 | 0,057 | 8200 | 840 | 8,26 | 1884 |
| 130 | 34 | 38 | 160,14 | 10,22 | 0,064 | 9210 | 760 | 6,66 | 1601,4 |
| 110 | 30 | 36 | 141,3 | 9,68 | 0,069 | 9930 | 670 | 5,45 | 1413 |
| 90 | 24 | 33 | 113,04 | 8,88 | 0,079 | 11370 | 600 | 4,26 | 1130,4 |
| 70 | 19 | 29 | 89,5 | 7,8 | 0,087 | 12520 | 430 | 2,77 | 895 |
| 50 | 13 | 22 | 61,2 | 5,92 | 0,097 | 13960 | 300 | 1,73 | 612 |
| 30 | 8 | 10 | 37,68 | 2,69 | 0,071 | 10220 | 130 | 1,03 | 376,8 |

График зависимости диэлектрической проницаемости сегнетоэлектрика от напряженности электрического поля в образце.

График зависимости тангенса угла диэлектрических потерь от напряженности электрического поля в образце.

Таблица 4

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 | 85 | 90 |
|  | 9 | 9 | 9 | 9 | 10 | 12 | 10 | 10 | 12 | 13 | 17 | 22 | 24 |

График зависимости ординаты Y от температуры



При температуре и Y=12(мм) появляется точка схожая с точкой Кюри(на этом участке она является точкой Кюри, но с увеличением t возможно появление других точек Кюри).



Затем подключим сегнетоэлектрик и подадим напряжение U=150 (В). При охлаждении фиксируем значения Y и X через каждые 10 секунд. Рассчитываем оставшиеся неизвестные величины и заносим их в таблицу.

Таблица 5

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| t, C | X, мм | Y, мм | Um, B | Qm,  Кл (10-6) | Cx,  Ф (10-6) |  | П, мм | tg |
| 90 | 38 | 16 | 141,600 | 5,120 | 3,6 | 5,200 | 1840 | 0,0004538 |
| 80 | 37 | 17 | 113,100 | 5,440 | 4,8 | 6,917 | 1440 | 0,0002670 |
| 70 | 36 | 22 | 84,800 | 7,040 | 8,3 | 11,938 | 960 | 0,0001031 |
| 60 | 36 | 23 | 56,600 | 7,360 | 13,0 | 18,699 | 234 | 0,0000160 |
| 50 | 35 | 23 | 28,300 | 7,360 | 26,0 | 37,398 | 57 | 0,0000020 |
| 40 | 35 | 25 | 14,14 | 8,000 | 56,6 | 81,358 | 8 | 0,0000001 |

График зависимости диэлектрической проницаемости сегнетоэлектрика от температуры



График зависимости тангенса угла диэлектрических потерь от температуры



Вывод: на графиках наблюдается нелинейная зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от температуры и напряжённости внешнего электрического поля, что соответствует свойствам сегнетоэлектриков.