

Работа 2.05

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКА

Задача

1. Измерить емкость сегнетоэлектрического образца в диапазоне температур 60-130° С.
2. Найти температуру Кюри Θ_k .
3. Выделить область действия закона Кюри-Вейса.
4. Вычислить постоянную Кюри-Вейса.

Введение

Специфические диэлектрические и пьезоэлектрические свойства сегнетоэлектриков - большая диэлектрическая проницаемость, достигающая до десятков тысяч, значительный прямой и обратный пьезоэлектрический эффекты [3, с.94-106], диэлектрический гистерезис, позволяют использовать их в электронике, электроакустике (малогабаритные конденсаторы, генераторы ультразвука, микрофоны, звуковые излучатели) и других областях техники.

Перечисленные свойства обусловлены тем, что в кристаллах сегнетоэлектриков имеются микроскопические области размером порядка 10^{-6} м, в каждой из которых дипольные моменты отдельных электрических диполей ориентированы одинаково даже при отсутствии внешнего электрического поля. Их называют доменами. Иначе говоря, домены представляют собой области спонтанной (самопроизвольной) поляризации. Они образуются в результате взаимодействия отдельных диполей, возникающих при смещении ионов кристаллической решетки сегнетоэлектрика. В каждом домене диполи ориентированы одинаково, и домен в целом обладает большим дипольным моментом (рис. 1).

Принципиальным недостатком, ограничивающим применение сегнетоэлектриков, является существенная зависимость их параметров от температуры.

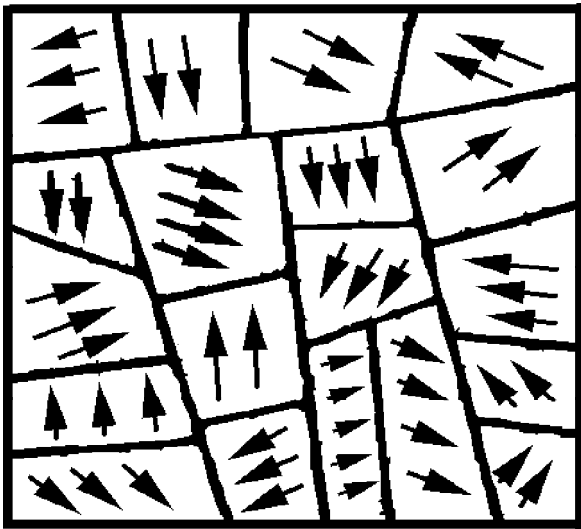


Рис. 1.

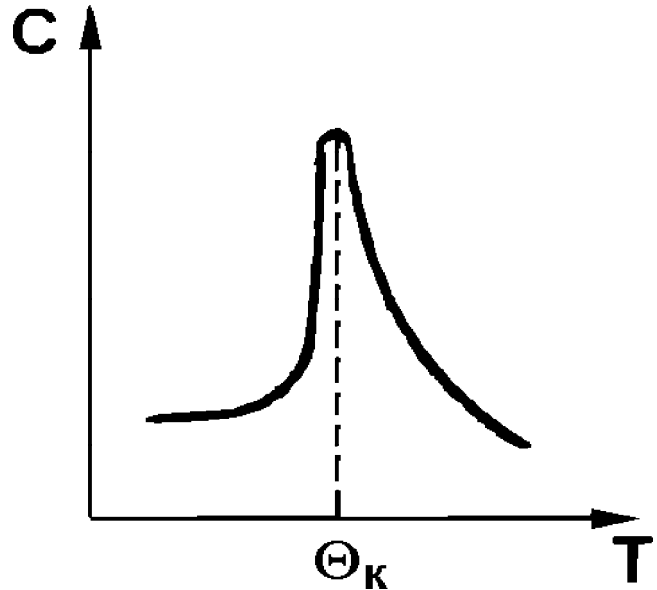


Рис. 2.

На рис. 2 показана характерная температурная зависимость диэлектрической проницаемости ϵ . При сравнительно низких температурах (в нашем случае - от комнатных) с ростом температуры наблюдается увеличение ϵ . При температуре Θ_K , которую называют точкой Кюри, происходит перестройка кристаллической решетки сегнетоэлектрика; перестройка сопровождается разрушением доменной структуры кристалла. При $T > \Theta_K$ диэлектрическая проницаемость уменьшается с ростом температуры и, начиная с некоторой температуры, которая обычно на 5-10 градусов выше температуры Кюри, приближенно описывается формулой

$$\epsilon = \frac{A}{T - \Theta_1} \quad (1)$$

или, что то же самое,

$$\frac{1}{\epsilon} = \frac{1}{A} \cdot T - \frac{\Theta_1}{A} \quad (2)$$

Здесь A и Θ_1 - константы; величину A называют постоянной Кюри-Вейсса.

Установка

Схема установки показана на рис. 3. Образец 1 в форме прямоугольного параллелепипеда изготовлен из титаната бария с примесью стронция. Образец помещен в нагреватель 2. Две противоположные грани образца, площадью S каждая, покрыты

тонким слоем серебра 3. Эти слои создают надежный электрический контакт с кристаллом и служат “пластинами” конденсатора, заполненного исследуемым сегнетоэлектриком. Толщина образца h есть расстояние между пластинами этого конденсатора. Измерив его емкость C , можно вычислить диэлектрическую проницаемость исследуемого материала из формулы

$$C = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot S}{h} \quad (3)$$

Здесь ε_0 - электрическая постоянная (см. приложение). Ёмкость измеряют прибором 6.

Для измерения температуры образца служит медь-константановая термопара 4. Ее “горячий” спай расположен

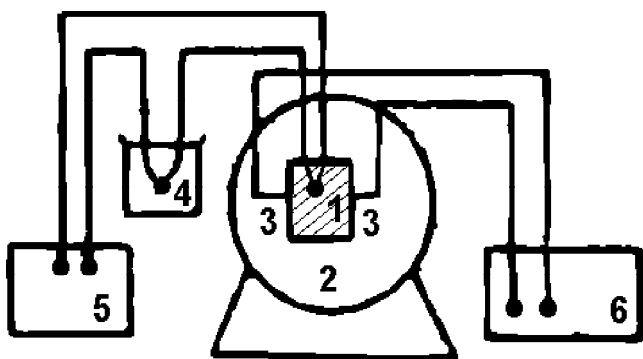


Рис. 3.

внутри нагревателя в непосредственной близости от образца: “холодный” спай находится при комнатной температуре. Термоэлектродвижущая сила термопары (ТЭДС) примерно пропорциональна разности температур горячего и холодного спаев [5, с.221, 222]. Она измеряется прибором 5. Температуру горячего спаев, т.е. температуру образца, находят по ТЭДС при помощи градуировочного графика, данного на установке. При установке указаны также площадь “пластины” образца S , расстояние между “пластинами” h и дана инструкция обращения с приборами 5 и 6.

Измерения и обработка результатов

Внимание! Проверьте надежность заземления корпусов приборов. Не открывайте дверцу нагревателя во время работы!

1. Запишите в протокол указанные на установке площадь S “пластин” образца и расстояние между ними h .
2. Ознакомьтесь с правилами пользования приборами для измерения емкости и ТЭДС, приведенными на каждой установке. Не включайте нагреватель до тех пор, пока не научитесь правильно, быстро и одновременно измерять емкость C и ТЭДС U_T .
3. Оцените заранее по градуировочному графику значение ТЭДС, соответствующее $130^\circ\text{C} \approx 400\text{ K}$ (верхний предел нагрева образца); занесите в протокол.

4. Включите нагреватель (с разрешения преподавателя или лаборанта) и по мере нагрева образца производите измерения; заносите результаты в табл. 1, заполняя только графы U_T и C .

Из рис. 2 видно, что на начальном участке емкость сравнительно слабо возрастает с увеличением температуры. Здесь отсчет ТЭДС (и соответственно емкости) рекомендуется производить через каждые 0,2 мВ, используя этот участок для окончательного освоения методики измерений. Когда скорость изменения емкости заметно увеличится, отсчет ТЭДС и емкости следует производить с интервалом около 0,1 мВ по ТЭДС.

5. Заполните графу Т в табл. 1. Постройте график зависимости $C = C(T)$; найдите по нему температуру Кюри Θ_K и оцените погрешность ее измерения.

6. Найдите максимальное значение емкости $C_m(\Theta_K)$. По формуле (3) вычислите максимальное значение диэлектрической проницаемости $\epsilon_m = \epsilon(\Theta_K)$.

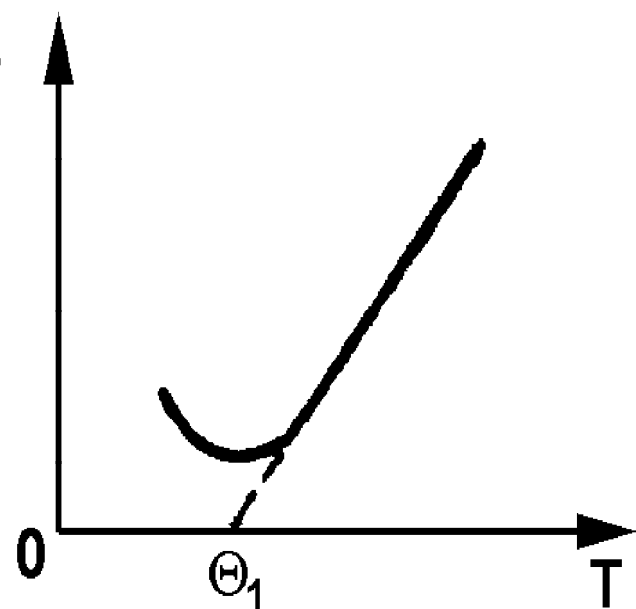


Рис. 4.

7. Для каждого из значений температуры выше Θ_K вычислите по формуле (3) и занесите в табл.1 $1/\epsilon$. Постройте график $1/\epsilon = 1/\epsilon(T)$, выделите на нем линейный участок (рис. 4).

8. Методом парных точек вычислите коэффициент $1/A$ зависимости (2) (см.[2, с. 35-36]) и погрешность его измерения. Для этих вычислений рекомендуется пользоваться табл. 2.

9. Вычислите константу Кюри-Вейсса A и погрешность ее измерения. При этом учтите, что относительные погрешности δA и $\delta(1/A)$ равны.

Из этого следует $\frac{\Delta A}{A} = \frac{\Delta(1/A)}{1/A}$, а значит,

$$\Delta A = \Delta\left(\frac{1}{A}\right) \cdot A^2 \quad (4)$$

10. Запишите окончательные результаты измерений для величин

$$\Theta_K = \dots \pm \dots; \varepsilon_m = \dots \pm \dots; A = \dots \pm \dots;$$

Таблица 1.

Номер измерения	U _T , мВ	T, К	C, нФ	Номер измерения	U _T , мВ	T, К	C, нФ	$\frac{10^4}{\varepsilon}$
1				21			C=C _{max}	
2				22				
.								
.								
.								
.								
.								
20								

$$C_{\max} = \quad ; T = \Theta_K \quad ; \varepsilon_m =$$

Таблица 2.

Пары точек						
i	j	$T_i - T_j, K$	$\frac{1}{\varepsilon_i} - \frac{1}{\varepsilon_j}$	$\left(\frac{1}{A}\right)_{ij}, K^{-1}$	$\left(\frac{1}{A}\right)_{ij} - \left\langle \frac{1}{A} \right\rangle, K^{-1}$	$\left(\left(\frac{1}{A}\right)_{ij} - \left\langle \frac{1}{A} \right\rangle\right)^2, K^{-2}$
			$\left\langle \frac{1}{A} \right\rangle =$			

Контрольные вопросы

1. Что служит объектом исследования? Перечислите специфические свойства сегнетоэлектриков, отличающие их от обычных диэлектриков. Что называют доменом ?
2. В чем задача работы ? Что называют температурой Кюри ? Почему при $T < \Theta_K$ и $T > \Theta_K$ зависимость емкости от температуры резко различна ?
3. Какие физические величины измеряют в этом эксперименте ? Какие участки зависимости $C = C(T)$ следует стремиться получить особенно подробно ? Почему ?
4. Какие зависимости между исследуемыми величинами вы должны представить в виде графиков ? Значения каких величин должны представить в отчете в качестве окончательного результата?