

И.Б. Копылова

ВОЗДЕЙСТВИЕ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ПОЛЕЙ НА КРИСТАЛЛЫ ТРИГЛИЦИНСУЛЬФАТА

В статье приведены экспериментальные результаты воздействия на кристалл триглицинсульфата электрического поля пилообразной формы с частотой от 0,003 до 0,2 Гц. Проведена оценка статической диэлектрической проницаемости для данного диапазона частот. Показано влияние температуры на значение статической диэлектрической проницаемости. Установлено, что температура Кюри в изучаемом частотном диапазоне снижается на 1-1,5°C.

Ключевые слова: кристаллы триглицинсульфата, статическая диэлектрическая проницаемость, температура Кюри.

THE INFLUENCE OF LOW-FREQUENCY FIELDS ON TRIGLYCINE SULFATE CRYSTALS

The paper reveals the experimental results of influence of the electric field in the frequency range from 0,003 to 0,2 Hz. on triglycine sulfate crystals. Statistic permittivity for this frequency range is estimated. Besides the temperature influence on this statistic permittivity is shown in the article. Curie temperature in examined frequency range is determined to lower in 1-1,5°C.

Key words: triglycine sulfate crystals, statistic permittivity, Curie temperature.

Наиболее распространенным методом изучения диэлектрических свойств сегнетоэлектриков является изучение процессов переключения кристаллов в переменных электрических полях. Традиционным является исследование кристаллов в полях синусоидальной формы или в импульсных полях (методика Мерца). Чаще всего исследования проводятся либо на частотах порядка десятков герц, либо порядка мегагерц. Представляет интерес переполяризация сегнетоэлектриков при достаточно низких частотах, до нескольких герц, при достаточно медленном нарастании и спаде внешнего электрического поля.

В качестве образцов использовались кристаллы триглицинсульфата (ТГС) $((\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH})_3\text{H}_2\text{SO}_4)$, которые представляют собой водорастворимый одноосный прозрачный кристалл с тетрагональной кристаллической решеткой (как в парафазе, так и в сегнетофазе). Выбор объекта обусловлен тем, что ТГС является модельным кристаллом (т.е. выводы, сделанные по результатам опытов, будут справедливы и для других сегнетоэлектриков класса ТГС). Важнейшие качества, удобные для эксперимента, – высокое сопротивление, препятствующее утечкам заряда, и низкое коэрцитивное поле, низкая температура Кюри T_c (49°C) [1]. Образцы получали методом скола в плоскости, перпендикулярной сегнетоэлектрической оси, от одного большого кристалла. На сколотые плоскости кристалла методом вакуумного напыления были нанесены серебряные электроды.

На образцы подавались пилообразные импульсы чередующейся полярности с амплитудой от -120 В до +120 В и частотой сигнала в диапазоне от $3 \cdot 10^{-3}$ Гц до 0.2 Гц – рис. 1.

Изменение частоты сигнала приводит к изменению амплитуды токовых петель петли гистерезиса (зависимости тока переполяризации от напряженности приложенного поля) – рис. 2.

Максимальное значение тока переполаризации фиксируется в малом диапазоне частот порядка 0,024-0,031 Гц.

Площади петель, которые были определены с помощью программы Areas, определяют заряд, переключаемый в процессе переполаризации.

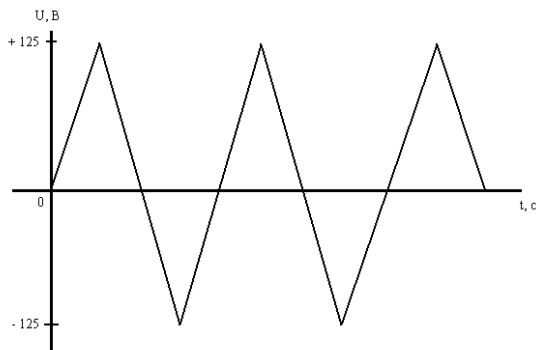


Рис. 1. Форма сигнала.

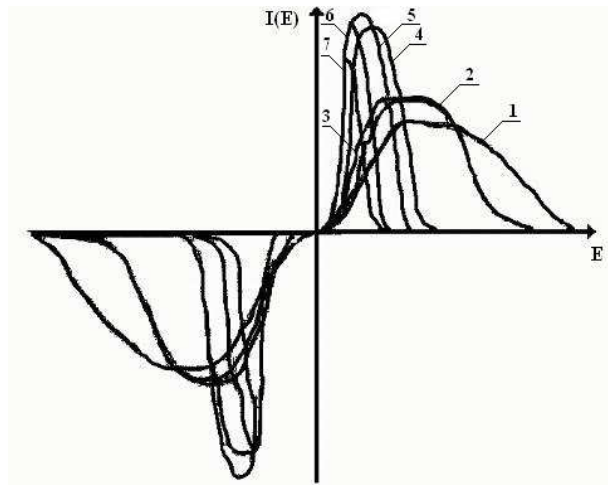


Рис. 2. Характер зависимостей $I(E)$ для кристалла ТГС на разных частотах: 1 – 0,2 Гц; 2 – 0,143 Гц; 3 – 0,1 Гц; 4 – $7,14 \cdot 10^{-2}$ Гц; 5 – $4,55 \cdot 10^{-2}$ Гц; 6 – $3,13 \cdot 10^{-2}$ Гц; 7 – $2,38 \cdot 10^{-2}$ Гц.

Площадь петли гистерезиса численно равна переключаемому заряду:

$$q = \int P dE. \quad (1)$$

С другой стороны, переключаемый заряд определяется через поверхностную плотность:

$$q = \sigma \cdot S, \quad (2)$$

где S – площадь кристалла.

По основной кривой поляризации можно определить статическую диэлектрическую проницаемость $\epsilon_{ст}$ сегнетоэлектрика.

$$\epsilon_{ст} = \frac{\bar{D}}{\epsilon_0} = 1 + \frac{\bar{P}}{\epsilon_0 \bar{E}} \approx \frac{\bar{P}}{\epsilon_0 \bar{E}} \quad (3)$$

Так как поверхностная плотность связана с поляризацией соотношением:

$$P = \sigma, \quad (4)$$

то статическая диэлектрическая проницаемость, т.е. диэлектрическая проницаемость в низкочастотных полях, определяется согласно соотношению:

$$\epsilon = \frac{qh}{\epsilon_0 SU} \quad (5)$$

По экспериментальным зависимостям силы тока от напряженности приложенного поля $I(E)$ с помощью программы Mathcad и соотношения (5) была рассчитана статическая диэлектрическая проницаемость $\epsilon_{ст}$. На рис. 3 представлена зависимость статической диэлектрической проницаемости от частоты подаваемого сигнала $\epsilon(\nu)$.

В интервале частот от 0,05 до 0,1 Гц наблюдаются два пика, т.е. присутствует как релаксационный механизм, так и гистерезисный механизм переполаризации.

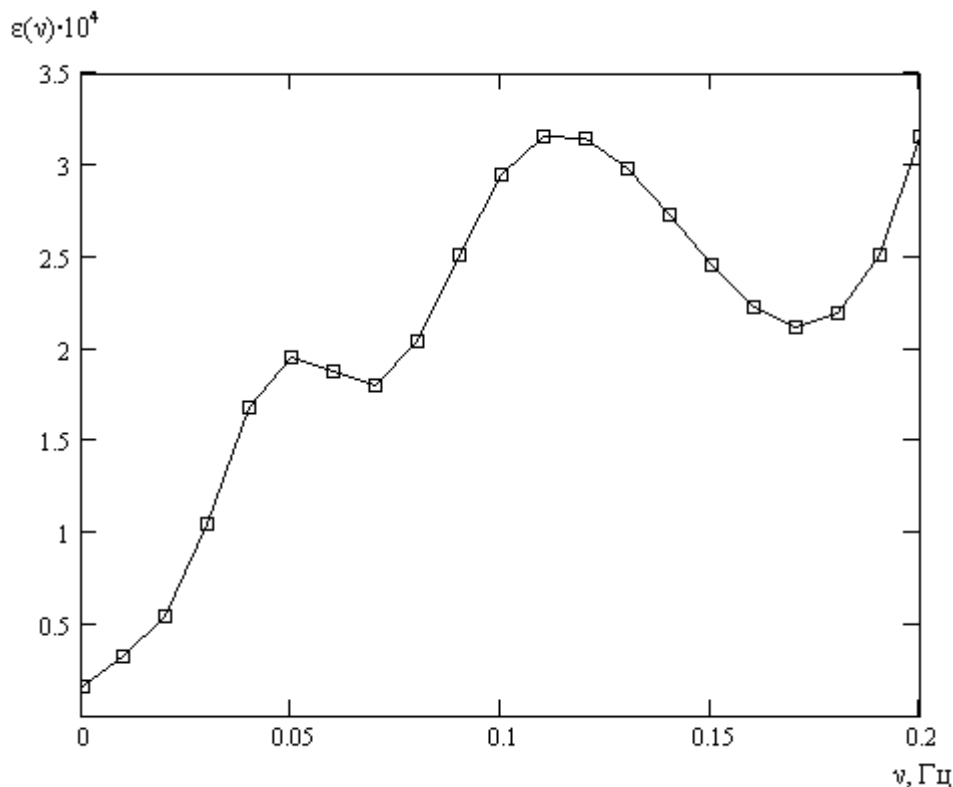


Рис.3. Зависимость статической диэлектрической проницаемости от частоты.

Обнаружено, что при увеличении частоты внешнего поля возрастает статическая диэлектрическая проницаемость при фиксированной температуре.

Возможно, это обусловлено потерями, связанными с колебательным движением доменных стенок и отрывом их от точек закрепления – точечных дефектов. С ростом частоты это приводит к появлению более подвижных границ доменов, которые перемещаются в более выгодные энергетические положения, что приводит к увеличению статической диэлектрической проницаемости [2].

Одновременно с приложением внешнего поля образец нагревался в печи. Температура на поверхности кристалла фиксировалась медь-константановой термопарой, включенной дифференциальным методом. Предварительно термопара была отградуирована и установлено, что в интервале температур от 20° до 50°С зависимость термо ЭДС от температуры является линейной.

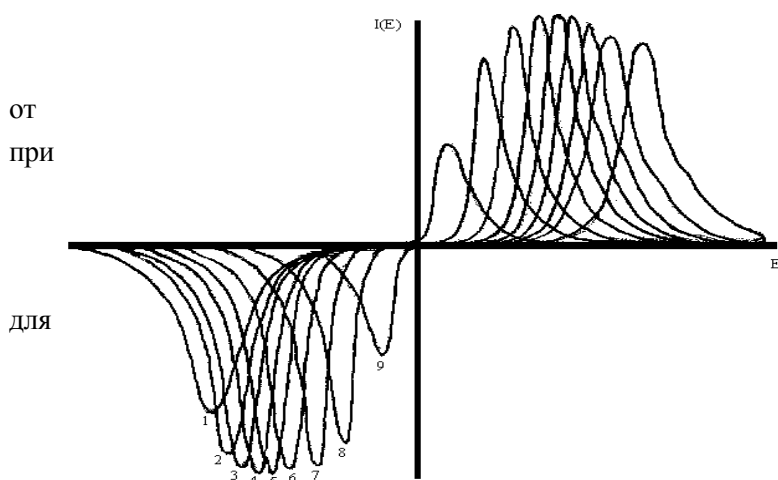


Рис. 4. Характер зависимостей $I(E)$ для кристалла ТГС на частоте 0.2 Гц при разных температурах (t в °С): 1-19; 2-24; 3-27; 4-30; 4-33; 5-36; 5-39; 6-42; 7-45.

С помощью самописца фиксировались зависимости силы тока напряженности приложенного поля $I(E)$ различных температурах. Характер зависимости во всем диапазоне частот имеет подобный вид (рис. 4). Аналогичные зависимости получены и других частот. Установлено, что при уменьшении частоты максимум силы тока смещается в сторону уменьшения напряженности приложенного поля. Форма петель остается симметричной. Амплитуда пиков увеличивается с уменьшением частоты в диапазоне от

0.2 Гц до $4.55 \cdot 10^{-2}$ Гц, затем уменьшается в частотном интервале от $3.13 \cdot 10^{-2}$ Гц до $3 \cdot 10^{-3}$ Гц.

С ростом температуры на всех исследуемых частотах насыщение поляризации происходит при меньшей напряженности внешнего поля, так как в процесс реполяризации включается термическая активация переключения доменов. При приближении к температуре Кюри амплитуда убывает. Самый большой пик на всех частотах наблюдается при температуре 36°C .

При дальнейшем повышении температуры начинаются процессы, связанные с перестройкой кристаллической решетки кристалла, что приводит к разрушению доменной структуры и уменьшению количества доменов. Поэтому амплитуда сигнала начинает уменьшаться. При температуре $\sim 47^\circ\text{C}$ ток реполяризации не регистрируется.

Обнаружено, что при увеличении температуры снижается статическая диэлектрическая проницаемость при фиксированной частоте.

Для оценки поведения статической диэлектрической проницаемости была построена зависимость натурального логарифма статической диэлектрической проницаемости от обратной температуры при фиксированной частоте; проведена аппроксимация графиков вблизи точки Кюри (рис. 5).

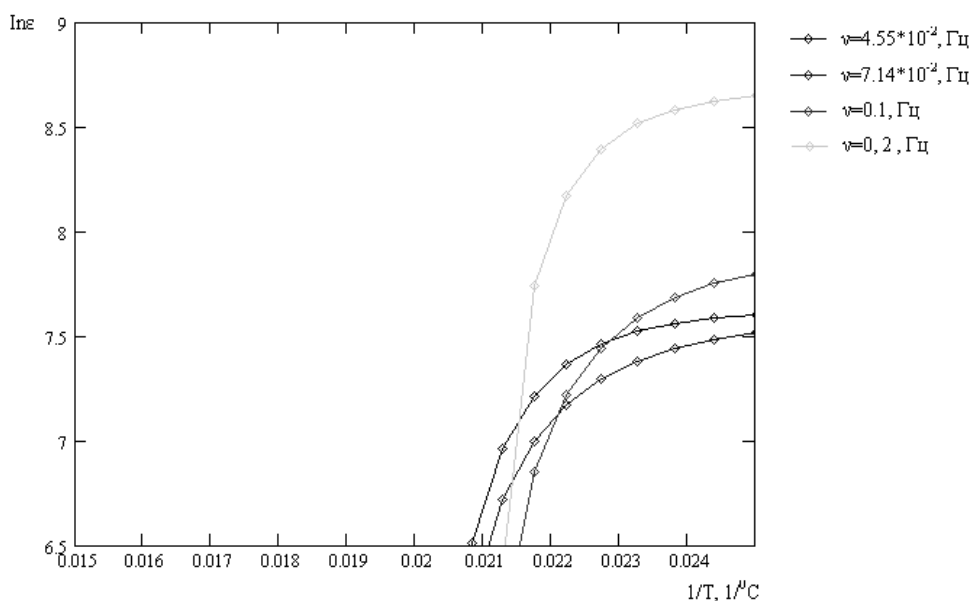


Рис. 5. Аппроксимация функции $\ln \epsilon = f\left(\frac{1}{T}\right)$.

В частотном интервале от $4.55 \cdot 10^{-2}$ Гц до 0.2 Гц точка Кюри T_K уменьшается на $1-1,5^\circ\text{C}$. Причем чем больше частота подаваемого импульса, тем меньше смещение.

Таким образом, установлено: на низких частотах в диапазоне 0,045-0,1 Гц присутствует как релаксационный, так и гистерезисный механизмы переполяризации сегнетоэлектрика; наблюдается уменьшение точки Кюри.

1. Лайнс, А.А., Гласс. Сегнетоэлектрики и родственные им материалы. – М.: Мир., 1981.– 736 с.

2. Шильников, А.В., Поздняков, А.П., Нестеров, В.Н., Федорихин, В.А., Шувалов, Л.А. О вкладе различных механизмов движения доменных границ в эффективную диэлектрическую проницаемость кристаллов триглицинсульфата в средних (промежуточных) низко- и инфранизкочастотных полях // ФТТ.– 2001.- Т. 54, № 8. – С. 1516-1519.