

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПИРОКОЭФФИЦИЕНТА В КРИСТАЛЛАХ ТРИГЛИЦИНСУЛЬФАТА

There are results of definition of electrons irradiated TGS crystals pirocoefficient presented in this article. There is presented that pirocoefficient of electrons irradiated TGS crystals decreases with growth of a dose of an irradiation.

В физике сегнетоэлектриков одной из приоритетных задач остается изучение нелинейных свойств сегнетоэлектрических кристаллов. Для исследования распределения поляризации $P(x)$ по толщине сегнетоэлектрического кристалла широко распространен метод тепловых волн. Для расчета пироккоэффициента в работе были использованы два подхода: метод регуляризации Тихонова и метод среднего распределения температуры.

Кристаллы ТГС, заполяризованные предварительно в направлении естественной поляризации и против направления естественной поляризации, подвергались облучению электронами с энергией 30 кэВ.

Пироккоэффициент определялся методом динамического пироэффекта, который заключается в том, что кристалл освещается световыми импульсами определенной частоты (в нашем эксперименте – 2 Гц), регистрируется пироэлектрический ток (пиронапряжение). Пироэлектрический ток возникает в кристалле при изменении его температуры.

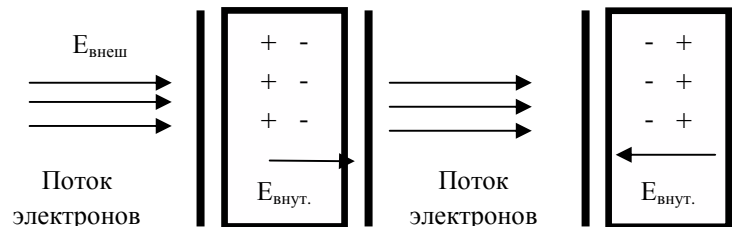


Рис. 1.

На рис. 2 представлен общий вид пироимпульсов, которые были получены для кристаллов, облученных по направлению естественной поляризации (рис. 2а) и против направления естественной поляризации (рис. 2б).

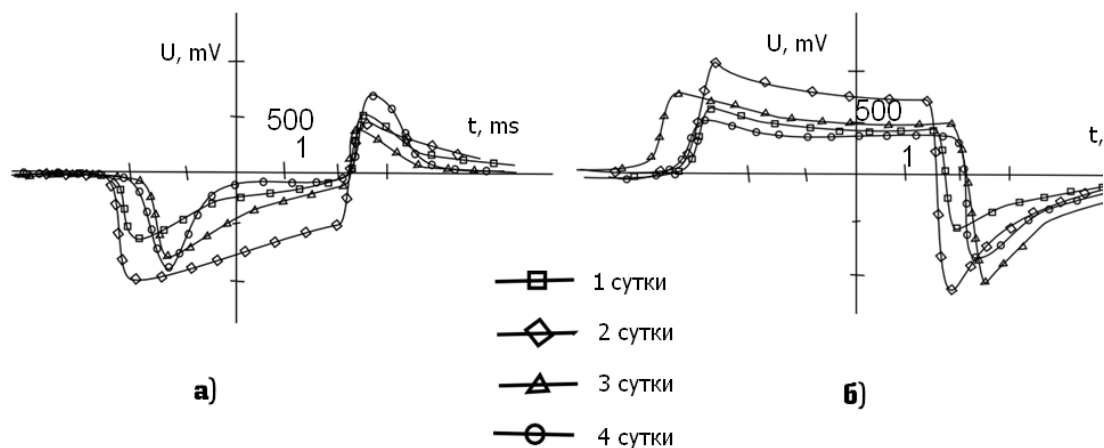


Рис. 2.

Постепенно импульсы изменяют свою форму и амплитуду. В течение нескольких суток после облучения регистрировались пироимпульсы с экспериментальных образцов. На рис. 2б хорошо видно, что в процессе старения образца пироимпульс разделяется на два импульса противоположной полярности, с примерно одинаковой амплитудой. У кристаллов, поляризованных по направлению естественной поляризации (рис. 2а), такого разделения не происходит, изменяется лишь амплитуда импульса. У кристаллов, облученных против естественной поляризации, наблюдается частичное ее восстановление, так как при изменении формы импульса отмечается тенденция приближения формы пироимпульса к пироимпульсам образца, облученного по естественной поляризации.

Пирокоэффициент облученных электронами кристаллов триглицинсульфата определялся из соотношения (1), которое представляет собой зависимость пиротока от скорости изменения температуры образца [1]:

$$I(t) = \frac{S}{d} \int_0^d \gamma(X) \frac{\partial T(x,t)}{\partial t} dx, \quad (1)$$

где S – площадь освещаемой поверхности образца; γ – пирокоэффициент; $\frac{\partial T}{\partial t}$ – скорость изменения температуры; d – толщина образца.

Решение уравнения (1) относится к классу некорректных задач: малая погрешность в задании входных данных может изменить его столь сильно, что оно не будет иметь ничего общего с тем физическим процессом, который описывает уравнение, и даже привести к тому, что решения просто не будет существовать.

Пирокоэффициент устанавливался двумя методами расчета: методом регуляризации Тихонова [2] и методом среднего распределения температуры. При определении пирокоэффициента с помощью метода регуляризации Тихонова уравнение для определения пиротока решается в условиях минимизации методом неопределенных множителей Лагранжа. Во втором методе среднее распределение температуры сначала устанавливается по толщине образца. Для этого пироток представляется в виде тепловой волны, которая изменяет свои характеристики при распространении в веществе со скоростью, равной

$$u = 2\sqrt{\alpha \cdot \pi \cdot f},$$

где α – коэффициент тепловой диффузии; f – частота модуляции теплового потока.

В результате решения уравнения (1) для пиротока получаем выражение для нахождения пирокоэффициента:

$$\gamma(X) = \frac{U(x)kT}{4RS\beta_0 w_0} \operatorname{Re} \left[\left(\sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin^2\left(\frac{n\omega\tau}{2}\right)}{\left(\frac{n\omega\tau}{2}\right)} \cdot \frac{i}{\varphi_n^2 2t\sqrt{\alpha\pi f}} \cdot (1 - \exp(\varphi_n(-x))) \right)^{-1} \right], \quad (2)$$

где $\omega = 2\pi f$; $T = \frac{1}{f}$ – период; $\varphi_n = (1+i)\sqrt{\frac{n\omega}{2\alpha}}$; τ – длительность светового промежутка; d –

толщина образца; w_0 – плотность мощности теплового потока; β_0 – коэффициент поглощения тепла; k – коэффициент теплопроводности; $U(t)$ – пиронапряжение.

Расчеты были выполнены в среде программы MATLAB. Из экспериментальных зависимостей были определены основные параметры, которые использовались в расчетах: прежде всего это $U(t)$ – зависимость пиронапряжения от времени действия импульса. Обработка результатов эксперимента проводилась для двух групп образцов. В первой учитывалось изменение пирокоэффициента в зависимости от прогрева кристалла. Температура освещенной поверхности кристалла отличается от температуры неосвященной поверхности на 2-3°C в зависимости от толщины образца. Во второй группе определялось значение пирокоэффициента для кристаллов с различными дозами облучения, взятых при одинаковой температуре.

По результатам исследования двух групп образцов были построены зависимости пирокоэффициента от толщины кристалла. Установлено, что пирокоэффициент возрастает при увеличении температуры образца. При увеличении дозы облучения значение пирокоэффициента уменьшается.

Графики зависимости пирокоэффициента от толщины образца приведены на рис. 3(а, б). Первая зависимость (рис 3. а) получена методом регуляризации Тихонова, вторая (рис 3.б) – методом среднего распределения температуры по образцу.

Несмотря на то, что зависимости различаются по форме, общие тенденции уменьшения пирокоэффициента сохраняются. Значения пирокоэффициента, определенные разными методами при одной и той же дозе облучения, совпадают. Таким образом, обе методики расчета пирокоэффициента дают хорошо согласующиеся результаты и могут быть использованы для определения пирокоэффициента. Однако трудоемкость решения уравнения по методу регуляризации Тихонова значительно выше, чем по методу среднего распределения температуры.

Экспериментальные данные показали, что профиль пироотклика облученных электронами кристаллов триглицинсульфата со временем частично восстанавливается для образцов, облученных против естественной поляризации. Это происходит потому, что во время облучения

происходит накопление дефектов и свойства кристалла претерпевают изменения. Изменения свойств кристаллов как раз и являются причиной частичного восстановления профиля

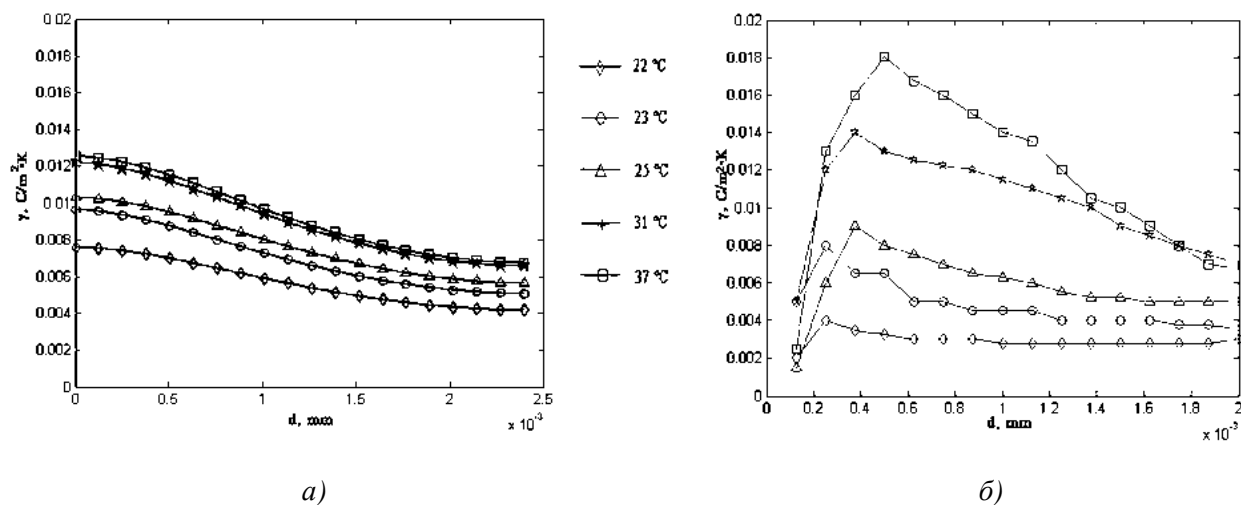


Рис. 3.

пироотклика. Полное восстановление естественной поляризации невозможно при наличии дефектного слоя.

1. Малышкина О.В., Мовчиков А.А. Новый метод определения координатных зависимостей пиротока в сегнетоэлектрических материалах // ФТТ. – 2007. – Т. 49, вып. 11.

2. Кушнарв П.И. Диэлектрические и пироэлектрические свойства униполярных кристаллов ТГС: Дис. ...канд. физ.-мат. наук. – Благовещенск: АмГУ, 2009. – 134 с.