

УДК 537.9

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ И СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИОННЫХ КРИСТАЛЛОВ В УСЛОВИЯХ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

© Ю.А. Кочергина, В.А. Федоров, А.М. Подкауоро, Г.В. Григорьев

Ключевые слова: ионный кристалл; малоразмерные структуры; термоэлектрическое воздействие. Систематизированы и обобщены результаты исследования процессов в ионных кристаллах, протекающих при термоэлектрическом воздействии на свободной поверхности и на поверхностях, ограничивающих несплошность в кристалле.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из значимых направлений развития физики диэлектриков, входящих составной частью в фундаментальные исследования, является исследование поведения диэлектрических материалов при различных внешних энергетических воздействиях. Кроме того, исследование поведения материалов в условиях экстремальных воздействий позволяет прогнозировать изменения их свойств в процессе эксплуатации в условиях воздействия высоких напряжений и температур [1].

Цель работы состоит в обобщении и систематизации закономерностей:

- 1) структурно-фазового превращения на свободных поверхностях ионных кристаллов в зависимости от параметров термоэлектрического воздействия;
- 2) формирования структурного состояния на внутренних искусственно созданных поверхностях ионных кристаллов.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА И РЕЗУЛЬТАТЫ

Одновременному воздействию теплового и электрического полей подвергали кристаллы LiF, NaCl с размерами $20 \times 10 \times 3$ мм. Содержание примесей – 10^{-5} , 10^{-2} вес. % для NaCl и 10^{-5} , 10^{-3} вес. % для LiF. Кристалл размещали между плоскими электродами, между которыми создавали напряжение 400 В. Кристалл и электроды размещали в печи. Эксперименты проводили по различным схемам. Рис. 1а соответствует исследованиям на свободной поверхности, схема рис. 1б – исследованиям на внутренних поверхностях. Скорость нагрева не превышала 200 К/ч. Нагрев осуществляли в интервале температур 293–923 К. Время выдержки составляло от одного до шести часов.

Затем поле отключалось, и далее образец остывал вместе с печью до комнатной температуры.

При термоэлектрическом воздействии на свободных поверхностях ЦГК различной кристаллографической ориентации появляются структурные изменения [2]. Зависимость между плотностью тока и геометрическими размерами новообразований носит экспоненциальный характер (рис. 2). Экспериментально полученные результаты аппроксимированы функцией $y =$

$= A_1 e^{x/b} + y_0$, где $A_1 = 0,50415$; $b = 0,1228$; $y_0 = 0,43035$. Это говорит о термоактивированных процессах, формирующих новообразования.

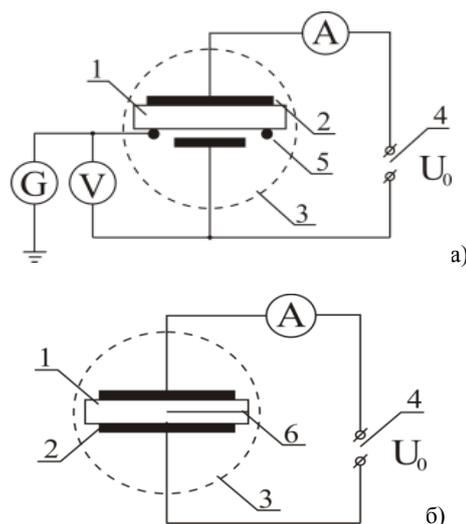


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – образец; 2 – электроды; 3 – печь; 4 – источник постоянного напряжения; 5 – изолированные от электродов подвесы; 6 – искусственно введенная трещина

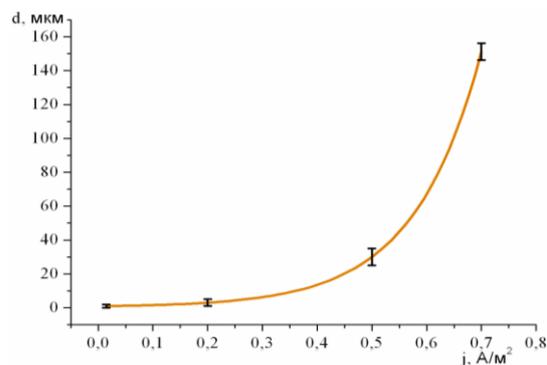


Рис. 2. Зависимость геометрических размеров новообразований от плотности тока

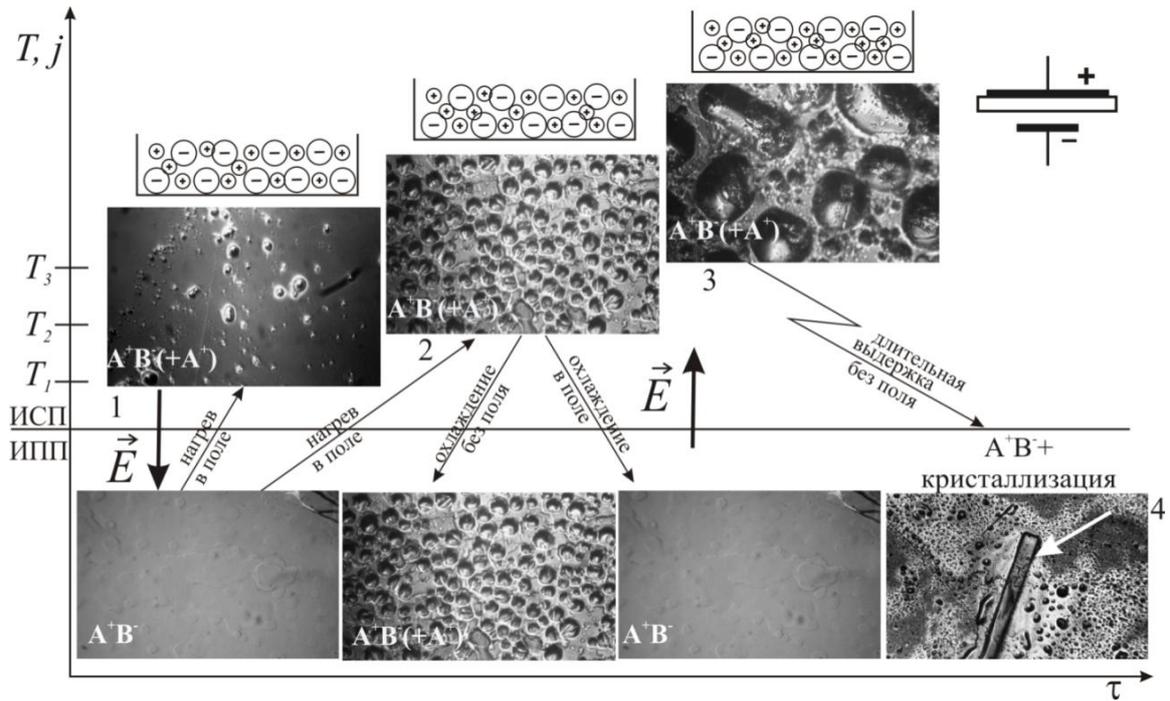


Рис. 3. Систематизация структурно-фазовых превращений в зависимости от температуры (T) и времени выдержки (τ) на свободных поверхностях ЦГК. \vec{E} – напряженность поля. На вставках 1, 2, 3 – новая фаза. На вставке 4 кристалл (отмечен стрелкой), выросший в новой фазе

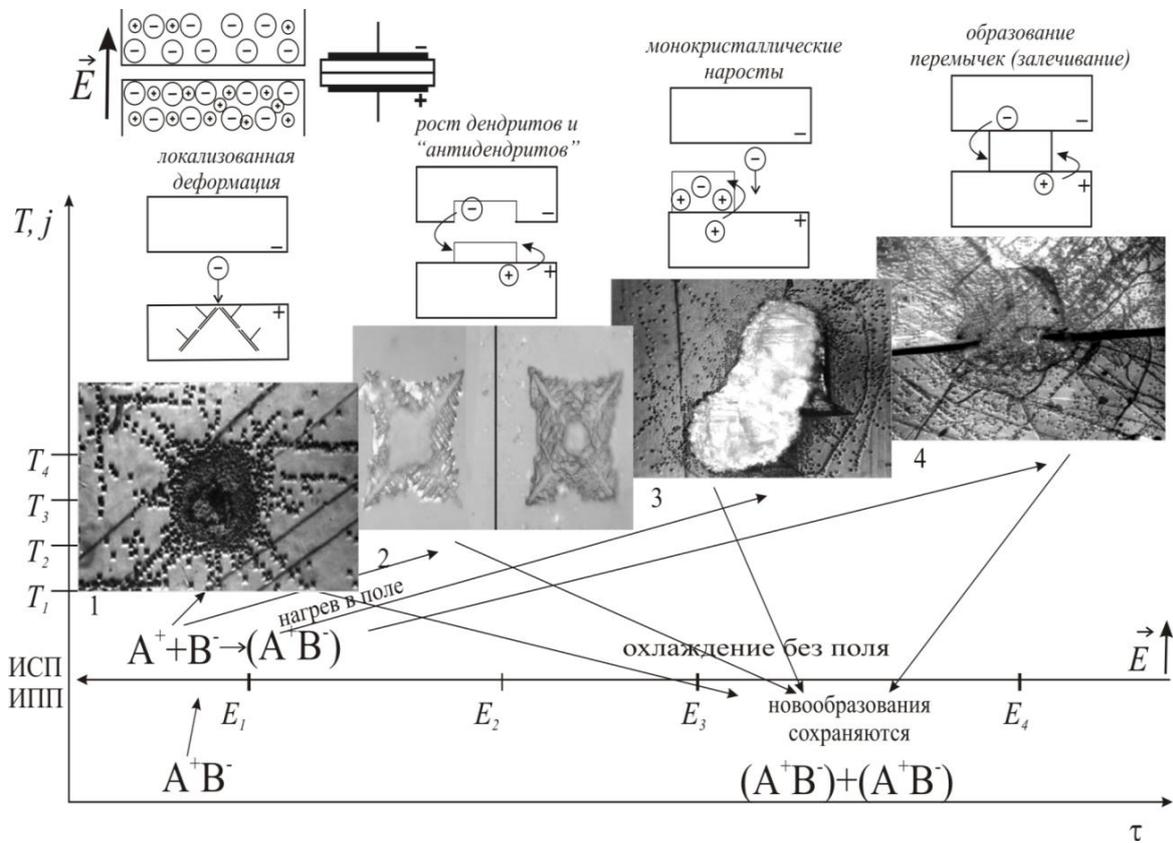


Рис. 4. Структурно-морфологические особенности внутренних поверхностей ионных кристаллов, формирующиеся в условиях термоэлектрического воздействия в зависимости от времени воздействия (τ), температуры образца (T) и напряженности электрического поля (\vec{E})

На рис. 3 систематизированы процессы, протекающие на свободной поверхности ионного кристалла. Образование аморфного вещества – это результат структурно-фазового превращения. Основной причиной образования новой фазы является нарушение стехиометрического состава, обусловленное ионной проводимостью кристаллов при достижении температуры перехода от примесной проводимости к собственной [3]. С ростом температуры и времени выдержки увеличивается количество и геометрические размеры образований.

Процесс образования новой фазы обратим. В первых, при охлаждении в поле обратного знака новообразования исчезают. Во-вторых, при длительном вылеживании при комнатной температуре формируется исходный кристалл эквивалентного состава.

Морфологические изменения внутренних поверхностей зависят от времени воздействия, температуры и напряженности электрического поля (рис. 4).

Противоположные поверхности несплошности по-разному реагируют на воздействие электрическим полем.

Ионный ток создается преимущественно анионами. Возникающий анионный эмиссионный ток, бомбардируя положительно заряженную поверхность, приводит к деформационным сдвигам (рис. 4, вставка 1). При уменьшении напряженности электрического поля и увеличении температуры на отрицательно заряженной поверхности происходит разрушение решетки по антидендритному механизму (рис. 4, вставка 2). На положительно заряженной поверхности при рекомбинации происходит наращивание дендрита. При дальнейшем увеличении температуры происходит образование монокристаллических наслоений (рис. 4, вставка 3). С увеличением времени выдержки на всем участке под электродом образуется наслоение, перемыкающее с течением времени берега трещины (рис. 4, вставка 4).

Кочергина Юлия Алексеевна, Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, г. Тамбов, Российская Федерация, кандидат физико-математических наук, методист учебно-методического управления, e-mail: yulkochergina@yandex.ru

Kochergina Yuliya Alekseyevna, Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov, Russian Federation, Candidate of Physics and Mathematics, Methodologist of Educational Methodological Department, e-mail: yulkochergina@yandex.ru

Федоров Виктор Александрович, Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, г. Тамбов, Российская Федерация, доктор физико-математических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, зав. кафедрой общей физики, e-mail: feodorov@tsu.tmb.ru

Feodorov Viktor Aleksandrovich, Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov, Russian Federation, Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Honored Worker of Science of Russian Federation, Head of General Physics Department, e-mail: feodorov@tsu.tmb.ru

Подкауру Александр Михайлович, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры общей физики, e-mail: feodorov@tsu.tmb.ru

Podkauro Aleksander Mikhailovich, Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor, Associate Professor of General Physics Department, e-mail: feodorov@tsu.tmb.ru

Григорьев Григорий Викторович, Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, г. Тамбов, Российская Федерация, студент по специальности «Физика» института математики, физики и информатики, e-mail: feodorov@tsu.tmb.ru

Grigoryev Grigoriy Viktorovich, Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov, Russian Federation, Student of "Physics" Specialty of Mathematics, Physics and Informatics Institute, e-mail: feodorov@tsu.tmb.ru

ВЫВОДЫ

Проведены систематизация и обобщение морфологических особенностей процессов на свободной и внутренних поверхностях в ионных кристаллах, протекающих при термоэлектрическом воздействии, в основе которых лежат структурно-фазовые превращения (свободная поверхность) и формирование вторичных кристаллических структур при рекомбинации ионов (внутренние поверхности).

ЛИТЕРАТУРА

1. Кочергина Ю.А. Закономерности изменения структуры поверхностей и свойств ионных кристаллов с металлом, имплантированным термоэлектрическим воздействием: дис. ... канд. физ.-мат. наук. Тамбов, 2012. 162 с.
2. Карьев Л.Г., Федоров В.А., Мексичев О.А. Аккумуляция электрического заряда у поверхности ионных кристаллов при нагреве в электрическом поле // Физика и химия обработки материалов. 2002. № 5. С. 87-89.
3. Иванов В.П., Карьев Л.Г., Федоров В.А. Залечивание трещин в щелочногалоидных кристаллах ионным током // Кристаллография. 1995. Т. 40. № 1. С. 117.

БЛАГОДАРНОСТИ: Работа выполнена при финансовой поддержке гранта № 12-01-97519-р_центр_a.

Поступила в редакцию 21 ноября 2013 г.

Kochergina Y.A., Feodorov V.A., Podkauro A.M., Grigoryev G.V. SYSTEMATIZATION OF MORPHOLOGICAL AND STRUCTURAL CHANGES OF SURFACES OF IONIC CRYSTALS IN CONDITIONS OF THERMOELECTRIC EFFECTS

The results of research processes in ionic crystals occurring in thermoelectric effects on the free surface and on the surfaces bounding discontinuity in the crystal are systematized and summarized.

Key words: ionic crystal; fine scale structure; thermoelectric effect.