

УДК 546.31+532.72

## СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЦГК ЛЕГИРОВАННЫХ МЕТАЛЛАМИ ПРИ НАГРЕВЕ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

© Ю.А. Кочергина, Л.Г. Карьев, В.А. Федоров

Ключевые слова: диффузия, ионные кристаллы, электрическое поле, тепловое поле.

Исследованы морфологические особенности поверхности, возникающие под влиянием диффузии различных металлов в ионных кристаллах, а также изменения поверхности искусственно введенной трещины (100) при воздействии электрических и тепловых полей.

### ВВЕДЕНИЕ

Изменение физических свойств кристаллических тел под действием различных факторов, в частности, влияния электрических полей и термообработки на поверхность и структуру кристалла, легирования кристаллов металлами являются весьма актуальными задачами физики конденсированного состояния.

Экспериментально установлено, что под действием электрического поля и нагрева происходит изменение поверхности скола [1].

В связи с этим целью данной работы является исследование морфологии поверхностей ионных кристаллов, легированных металлами, при воздействии электрического поля и одновременного нагрева.

### МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Исследовали образцы NaCl размером 20×8×(2–3)мм, которые выкалывались из крупных кристаллов по плоскостям спайности. В образцах искусственно зарождали трещину по плоскости (100) длиной ≈ 15 мм, в которую вводили металлическую фольгу из алюминия или сплава на основе Fe (73,5 %) толщиной ≈ 20 мкм, перекрывающую ≈ 20 % поверхности трещины от вершины. Кроме того, проводили эксперименты без металла в полости трещины. Образец помещался между электродами с напряжением 400 В, электрическое поле было ориентировано нормально к плоскости (100). Комплекс «кристалл-металл» помещался в печь, где осуществлялся его нагрев до 873 К со скоростью 200 К/ч. После чего образец в течение часа выдерживали при заданной температуре и напряжении между электродами 400 В. Сила тока при этом составляла 10–20 мА. Охлаждали образцы со скоростью 50 К/ч вместе с печью. Напряжение на образце и температуру контролировали прибором «Н 307/2».

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

После охлаждения в образцах наблюдали трещины по плоскости (010) при проведении экспериментов с металлическим элементом в полости трещины. Растрескивание кристалла происходило по всей длине

независимо от расположения металлической фольги. На поверхностях, образующихся при растрескивании, обнаружены множественные ступени скола (рис. 1), т. н. «речной узор».

Появление трещин в ионных кристаллах NaCl связано с тем, что размеры радиусов ионов для Fe(II), равные 0,082 нм, для Fe(III) – 0,067 нм, для Al – 0,057 нм

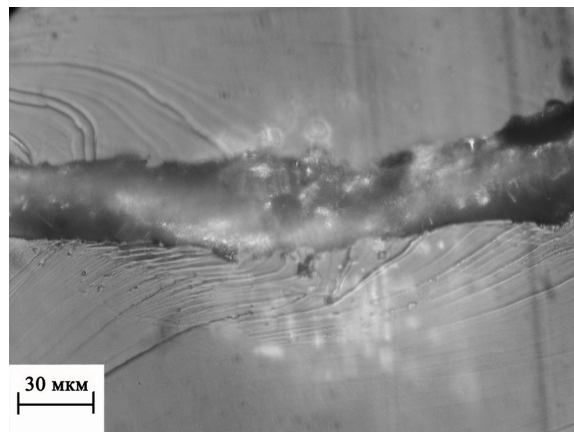


Рис. 1. Рельеф, образовавшийся на поверхностях (010)

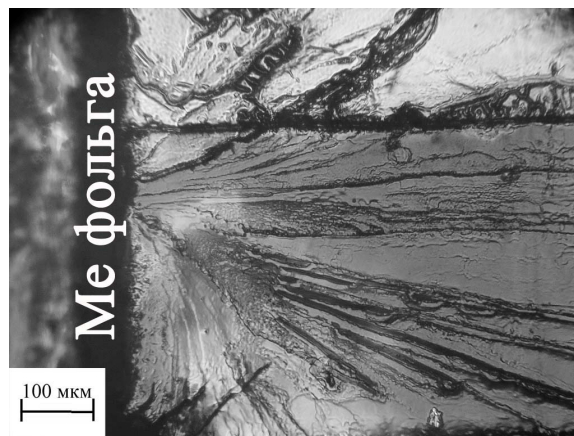


Рис. 2. Русло трещины (100)

меньше, чем радиус ионов Na – 0,098 нм. В результате диффузии под действием электрического поля и одновременного нагрева происходит замещение ионов Na, что приводит к смещению ионов Cl и, как следствие, возникновению растягивающих напряжений.

Кроме того, наблюдали микрочастицы Al, диффундировавшие в кристалл NaCl (рис. 2).

При частичном залечивании искусственно зарожженной трещины были обнаружены внутрикристаллические образования (рис. 3), обладающие сложной морфологией поверхности. Были проведены дополнительные исследования на микротвердомере ПМТ-3: индентирование новообразований при нагрузке 50, 20, 15, 5 г (рис. 4). Результаты индентирования, а также характер изученной слоистой структуры внутренних поверхностей говорят о том, что данные образования являются внутрикристаллическими порами.

Проведя дополнительные исследования поверхности трещины (010), также наблюдали изменения. Морфология скола по плоскости трещины двух поверхностей кристалла представлена на рис. 5. Симметричное расположение внутрикристаллических образований на двух поверхностях кристалла показано на рис. 6. Средний размер пор 30–70 мкм, вариация отношения глубины пор к их среднему радиусу от 0,3 до 1. Наблюдается преимущественное расположение в направлении  $45^\circ$  к ориентации силовых линий прикладываемого электрического поля.

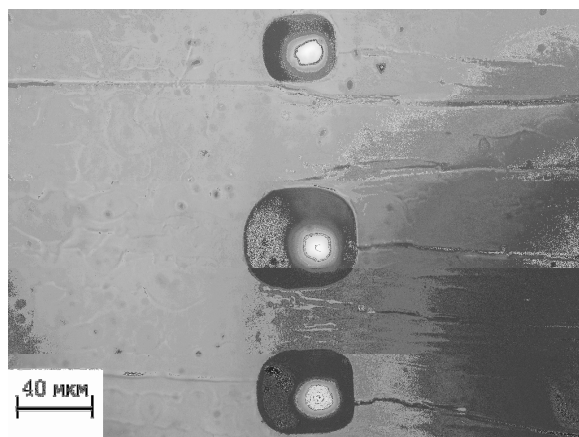


Рис. 3. Структурные изменения поверхности трещины по плоскости (010) в ионном кристалле NaCl

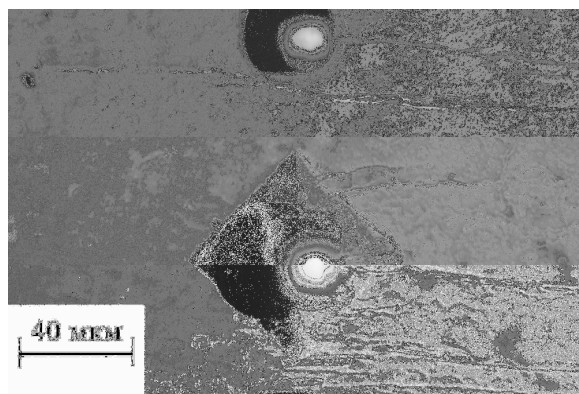


Рис. 4. Результат индентирования поверхности скола (010) (нагрузка 50 г)

Кроме того, обнаружена некоторая самоорганизация в виде сот (рис. 7).

Внутренняя поверхность пор представляет собой слоистую структуру (рис. 8). Кроме того, при изучении структуры новообразований после травления были обнаружены дислокации на поверхности «дна» пор. При исследовании скола, перпендикулярного плоскости искусственно введенной трещины, внутрикристаллических образований не обнаружено.

Появление внутрикристаллических образований связано, вероятнее всего, с перемещением дислокаций на поверхность трещины под действием нагрева и электрического поля. В местах наибольшего скопления дислокаций происходит их объединение и, как следствие, образование пор в приповерхностных областях ионного кристалла.

При отсутствии металла явления растрескивания не наблюдали, однако на поверхностях (001), дополнительно расколотых после эксперимента, обнаружено появление пор, средний радиус которых от 6 до 35 мкм на расстояниях  $\approx 100$  мкм от вершины трещины (100). По мере удаления от вершины наблюдается уменьшение расстояния между центрами внутрикристаллических образований от 75 мкм до 50 мкм. Характерный вид пор представлен на рис. 9.

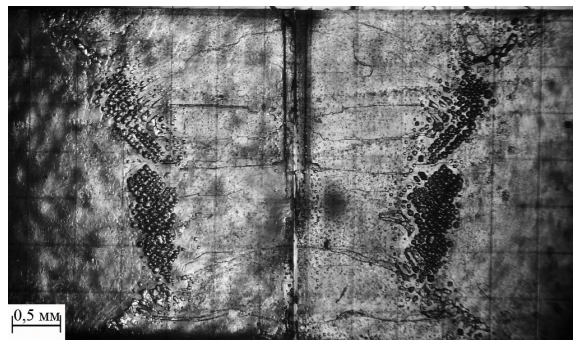


Рис. 5. Морфология поверхностей скола (010)

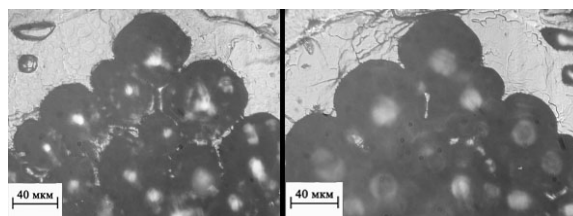


Рис. 6. Симметрия в расположении пор относительно плоскости (100)

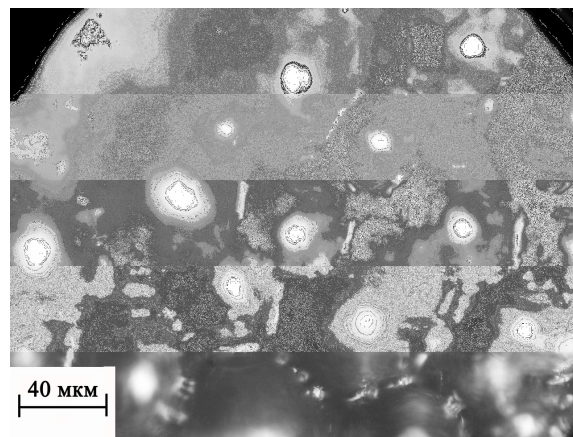
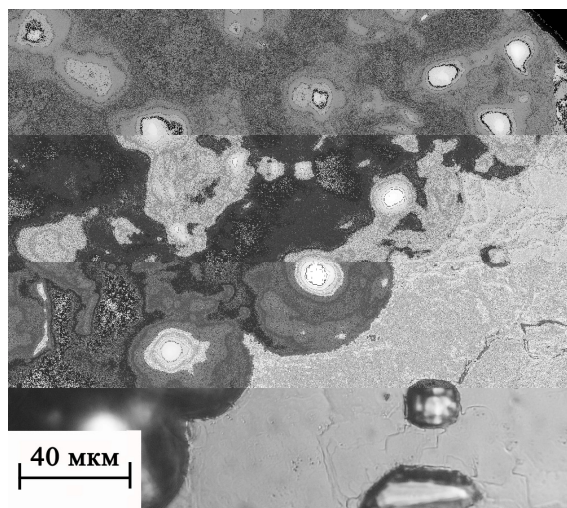
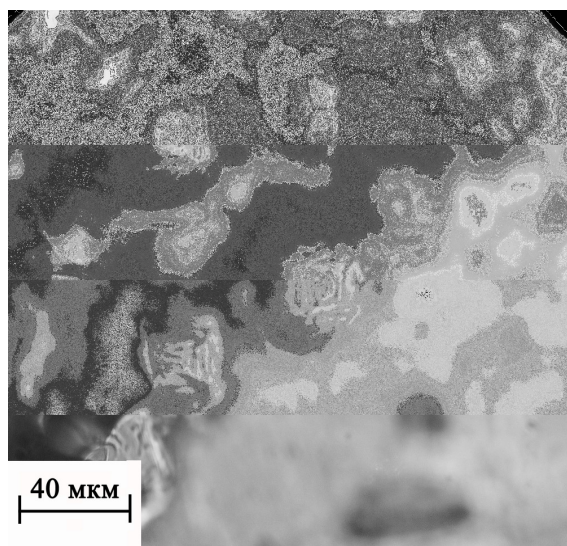


Рис. 7. Самоорганизация образований



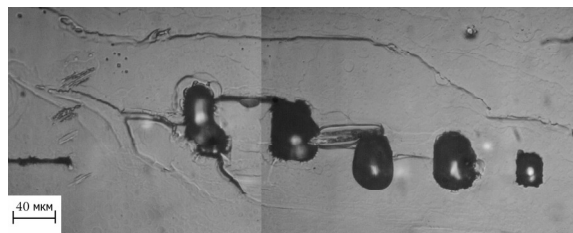
а)



б)

**Рис. 8.** а) – поверхностные поры в NaCl, б) – их внутренняя структура

Под действием электрического поля и одновременного нагрева происходит залечивание введенной в кристалл трещины [2]. На поверхности трещины в момент ее зарождения образуются микропоры за счет скопле-



**Рис. 9.** Поверхностные поры в NaCl

ния дислокаций. Действие электрических и тепловых полей приводит к увеличению размеров внутрикристаллических пор.

## ВЫВОДЫ

1. Диффузия атомов металлов в кристаллах под действием электрического поля и одновременного нагрева сопровождается растрескиванием кристаллов, что связано с появлением растягивающих напряжений при замещении ионов Na ионами Fe, Al.

2. Образование внутрикристаллических пор связано с увеличением плотности дислокаций за счет их миграции на поверхность трещины и, как следствие, образованием микропор, размеры которых под действием электрического поля и нагрева увеличиваются.

## ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Карьев Л.Г., Мексичев О.А., Федоров В.А., Стерелюхин А.А. Влияние поверхностных токов на состояние поверхностей щелочногалогенидных кристаллов // Вестн. Тамб. ун-та. Сер. Естеств. и техн. науки. Тамбов, 2003. Т. 8. Вып. 1. С. 87–89.

Поступила в редакцию 21 сентября 2008 г.

Kochergina Y.A., Karyev L.G., Fedorov V.A. Structural changes of the surface of alkali halide crystals alloyed by metals when being warmed in the electric field. Morphological peculiarities of the surface, which appear under the influence of diffusion of different metals in ionic crystals, as well as changes of the surface of artificially introduced cracks (100) under the influence of electric and thermal fields have been researched.

Key words: diffusion, ionic crystals, electric field, thermal field.