

ПОВЕДЕНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ СКОЛА ЩЕЛОЧНО-ГАЛОИДНЫХ КРИСТАЛЛОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ ПРИ ОДНОВРЕМЕННОМ НАГРЕВЕ

© В.А.Федоров, Л.Г.Карьев, В.П.Иванов, А.М.Николюкин

Государственный педагогический институт,
392000 Тамбов, Россия
(Поступило в Редакцию 17 ноября 1994 г.
В окончательной редакции 23 июня 1995 г.)

Установлена возможность [1] залечивания трещин скола в LiF ионным током при одновременном нагреве. На ранних стадиях такой обработки на поверхностях трещины появляются локальные необратимые изменения в виде монокристаллических наростов [2]. В связи с этим исследовано поведение поверхностей, ограничивающих полость введенной в кристалл по (001) макротрещины, и поверхностей наложенных друг на друга половинок расколотого образца в условиях нагрева и одновременного воздействия стационарного электрического поля, силовые линии которого ориентированы нормально исследуемым поверхностям.

Для экспериментов использовались монокристаллы LiF, суммарный состав примесей в которых по Ca^{+2} , Mg^{+2} , Ba^{+2} варьировался в пределах 10^{-6} – 10^{-3} wt%.

Образцы размерами $17 \times 8 \times (2-4)$ мм выкалывали по плоскостям спайности из крупных блоков. Трещину скола вводили лезвием ножа. Расстояние между исследуемыми поверхностями составляло $5 \cdot 10^{-3}$ – 10^{-1} мм. Дислокационную структуру выявляли химическим травлением. Эксперименты проводились в воздушной среде [1] и в вакууме. Скорость нагрева кристаллов до $543 \leq T \leq 873$ К, при которых образцы обрабатывались электрическим полем, не превышала 250 К/ч. Скорость охлаждения составляла не более 50 К/ч, за исключением ряда опытов, когда кристаллы охлаждались на воздухе сразу же после окончания обработки. Напряженность электрического поля между поверхностями составляла $1.6 \cdot 10^6 \leq E \leq 1.3 \cdot 10^7$ В/м. Плотность ионного тока в образцах ~ 27 А/м². Время в зависимости от температуры обработки и целей опыта варьировалось от 2 мин до 2 ч.

1. В интервале примесной проводимости ($T < 823$ К, определяли экспериментально) и при небольших временах обработки (2–10 мин) локальные изменения противоположных поверхностей скола проявлялись в виде образования дислокационных «розеток» (рис. 1,а), расположенных напротив друг друга. При нагреве кристаллов без электрического поля «розеток» не наблюдали.

2. В интервале собственной проводимости ($T > 823$ К) наблюдали образование локальных монокристаллических наростов (рис. 1,б) размерами $4.4 \cdot 10^{-2}$ – $3 \cdot 10^{-1}$ мм. Во всех случаях наслоения появлялись на положительно заряженных поверхностях в местах существования

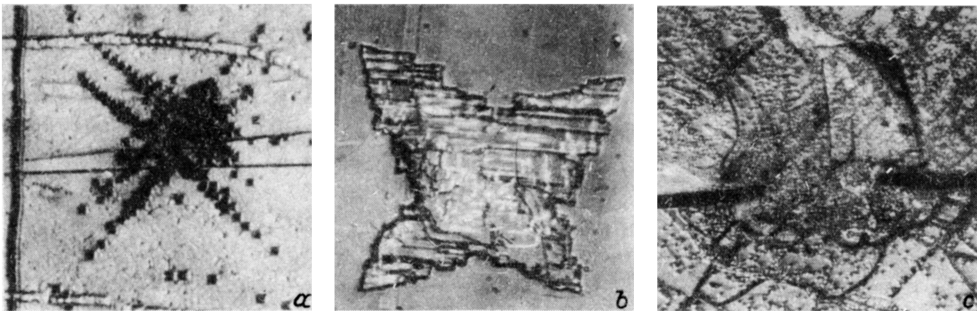


Рис. 1. Локальные изменения поверхностей скола искусственно введенной в кристалл трещины.

a, b — форма «розеток» и соответствующих им наростов на положительно заряженной поверхности трещины вблизи вершины; *b* — нетравленная поверхность; *c* — поверхность скола, перпендикулярного руслу обрабатываемой трещины, в области восстановленной сплошности; $\times 150$.

дислокационных «розеток», форма наростов соответствовала форме «розеток», на которых они образовывались. Вблизи наростов наблюдались полиглотные стенки, подтверждающие существование предварительной деформации.

Обнаруженные закономерности можно объяснить возникновением в определенных точках поверхности эмиссионного тока. В части кристалла, находящейся на положительном электроде, перемещаются в основном в направлении поля более подвижные ионы Li^+ и ионы примеси [3]. Поверхность скола при этом заряжается положительно без разрушения кристаллической решетки. Являясь энергетическим барьером для ионов Li^+ и примесей, поверхность препятствует эмиссии последних. В противоположность этому отрицательно заряженная поверхность скола обедняется положительным зарядом, диффундирующим к отрицательному электроду. Межионные кулоновские силы и внешнее электрическое поле способствуют отрыву ионов F^- , что приводит к разрушению поверхностных слоев кристаллической решетки, т.е. появлению дислокационной «розетки». Возникающий анионный эмиссионный ток (энергия F^- при отмеченных параметрах составляет ~ 70 eV), бомбардируя положительно заряженную поверхность, приводит к деформационным сдвигам, а следовательно, к образованию 1) либо дислокационной «розетки» ($T < 823$ K), 2) либо нароста ($T > 823$ K) в результате рекомбинационной кристаллизации. Образованию нароста способствует механоэмиссия ионов Li^+ , имеющая место в зонах пластических сдвигов.

Достигнув противоположной отрицательно заряженной поверхности, нарост образует перемычку, соединяющую берега скола. В этих участках наблюдается восстановление сплошности (рис. 1, *c*).

Одна из основных причин развития монокристаллических наростов — эмиссионный ионный ток. В связи с этим были поставлены эксперименты по выявлению его закономерностей и определению работы выхода ионов (рис. 2). Опыты проводились в вакууме (0.01 Pa) при температурах $293 \leq T \leq 793$ K на кристаллах LiF (10^{-3} wt%). Напряженность электрического поля между поверхностью скола кристалла (1) и свободным электродом (2) $E \sim 7 \cdot 10^6$ V/m. В экспериментах изменяли полярность: прямая, соответствующая рис. 2, и обратная.

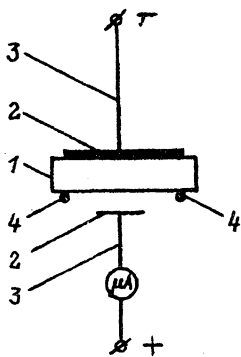


Рис. 2. Схема проведения экспериментов в вакууме.

1 — обрабатываемый кристалл, 2,3 — нихромовые контактные электроды и токопроводы, 4 — изолированные от системы опоры для кристалла.

Появление эмиссионного тока регистрировали только при температурах $T \geq 573$ К.

Проводимость σ щелочно-галогидных кристаллов удовлетворяет зависимости $\sigma = A_0 \exp(-E_0/kT)$ [4], где A_0 — термический коэффициент электропроводности, E_0 — энергия активации процесса, k — постоянная Больцмана. Очевидно, такой же зависимости (с точностью до коэффициентов) подчиняется проводимость участка поверхность кристалла-электрод, так как в обоих случаях она определяется идентичным вероятностным механизмом [5]. Во втором случае E_0 — энергия сублимации поверхностного иона (без учета энергии восстановления иона на электроде), электронная эмиссия в исследуемых кристаллах практически отсутствует [5].

Таким образом, определив экспериментально зависимость $\lg \sigma(T)$, мы получили значения E_0 для прямой и обратной полярности (соответственно 2.16 и 5.02 eV), подтверждающие анионный характер эмиссионного тока между берегами искусственно введенной макротрещины.

Поскольку в воздушной среде между берегами трещины кроме собственно ионного тока существуют разряды в газе, были поставлены эксперименты по обнаружению и исследованию наростов в вакууме. Отличный в форме и кинетике развития наростов, полученных в обеих средах, не обнаружено. В вакууме наблюдались монокристаллические наслоения и в монокристаллах NaCl (ЧДА).

Таким образом, показано, что одновременное воздействие на кристалл нагрева и электрического поля приводит к появлению монокристаллических наростов на поверхности искусственно введенной трещины. Последние образуются в процессе рекомбинационной кристаллизации. Предложен механизм, объясняющий кинетику развития наростов и восстановления сплошности, основанный на различии в подвижности ионов разного знака и процессе локализованного электролиза.

Список литературы

- [1] Иванов В.П., Карьев Л.Г., Федоров В.А. Кристаллография **40**, 1, 117 (1995).
- [2] Федоров В.А., Карьев Л.Г., Иванов В.П. Тез. докл. XIII Междунар. конф. «Физика прочности и пластичности металлов и сплавов». Самара (1992). С. 304-305.
- [3] Иоффе А.Ф. Избранные труды. Л. (1974). Т. 1. С. 325.
- [4] Лидьярд А. Ионная проводимость кристаллов. М. (1962). С. 222.
- [5] Уэрт Ч., Томсон Р. Физика твердого тела. М. (1969). С. 558.