

## РАЗВИТИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО РАЗРЯДА НА ЩЕЛОЧНО-ГАЛОИДНЫХ КРИСТАЛЛАХ

Л. А. ПРУДНИКОВА

(Представлена научным семинаром лаборатории диэлектриков и полупроводников)

В настоящее время достаточно полно исследованы закономерности электрического пробоя щелочных галоидов, при этом выявлена зависимость величины электрической прочности кристаллов от энергии решетки [1].

Вместе с тем мало изученными остаются вопросы, связанные с законами развития электрических разрядов на поверхности кристалла, в то время как определяемые этими законами процессы в поверхностных слоях материала чаще всего ускоряют время наступления пробоя диэлектрика [2].

Имеющиеся в литературе сведения о поверхностном пробое материалов касаются в основном органической и керамической изоляции, а полученные закономерности построены для конкретных изоляционных конструкций [3, 4, 5].

Отдельные данные о поверхностном пробое кристаллов [6] рассматриваются вне связи с физико-химическим составом диэлектрика.

В предлагаемой статье изложены результаты работы по выявлению зависимости степени нарушений, вносимых поверхностными электрическими разрядами в кристаллах NaCl, KCl, KBr от величины энергии решетки диэлектриков и напряженности приложенного электрического поля.

В основу метода решения этих вопросов положен считающийся в настоящее время установленным факт, что кристаллические структуры, в частности щелочно-галоидные кристаллы, реагируют на воздействия механических и электрических полей, ионизирующих излучений образованием дислокационных нарушений, которые выявляются различными способами травления кристаллов [7].

В работе использовались кристаллы, приготовленные по методу Киропулоса в кристаллизационной лаборатории Томского политехнического института из реактивов марки ХЧ.

Подготовка кристаллов к опытам включала выкалывание по плоскости (100) образцов размерами  $20 \times 20 \times 2$  мм<sup>3</sup> и травление для выявления первоначальной дислокационной картины, при этом использовались следующие составы травителей:

NaCl — ледяная уксусная кислота с добавкой, прокаленной ZnO;  
KCl, KBr — абсолютизированный этиловый спирт с добавкой PbSO<sub>4</sub>.

Полученная в результате травления дислокационная картина кристалла наблюдалась и фотографировалась с помощью микроскопов МИМ-6 и МБУ-1, снабженного микрофотонасадкой МФ-1. При подсчете плотности дислокаций использовался объект-микрометр точностью до 0,01 мм.

Заключительным этапом исследований являлось изучение образцов, повторно протравленных после воздействия поля.

Образцы помещались в резко неоднородное электрическое поле между электродами «острие — плоскость».

Использование импульсного напряжения позволило исключить фактор влияния влажности окружающего воздуха [8].

Начало разряда фиксировалось электронным осциллографом, включенным параллельно образцу.

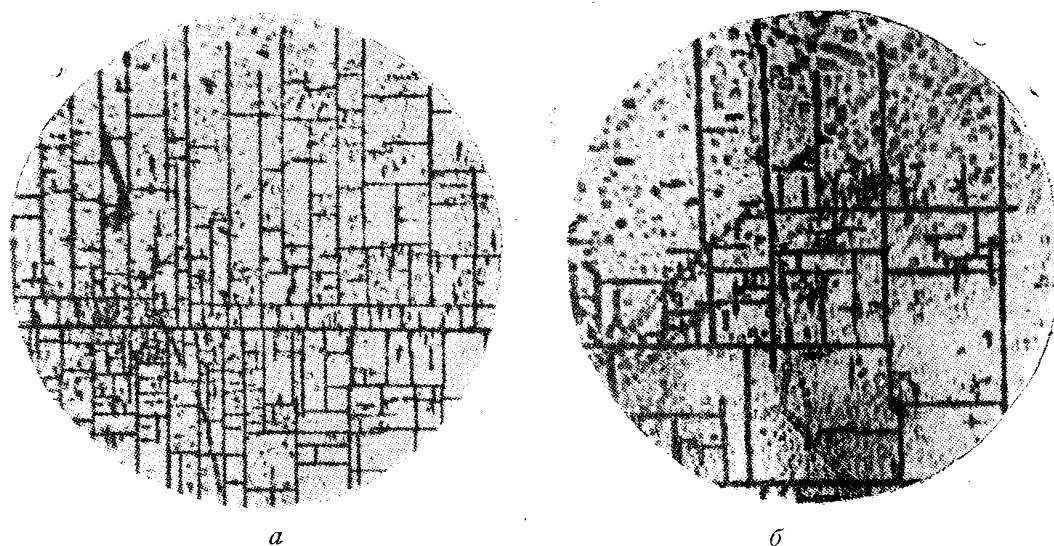


Рис. 1. Трещины при перекрытии на кристалле KCl при напряжении 14 кв: а) в центре, на острие — плюс, 80 х; б) у грани, на острие — минус, 80 х.

Микроскопические исследования образцов обнаружили при напряжении свыше 4 кв изменения первоначальной дислокационной картины кристалла. Максимальное расстояние, на которое распространялось это изменение, было выбрано за длину разряда.

Измерения объект-микрометром показали, что длина разряда возрастает от кристалла к кристаллу для NaCl, KCl и KBr, а также с увеличением приложенного напряжения. Данные зависимости  $l_{\text{разр}}$  от напряжения приведены в табл. 1.

Таблица 1

Зависимость длины разряда от величины напряжения

| Кристалл | Полярность острья | Величина напряжения, кв |      |      |      |      |      |
|----------|-------------------|-------------------------|------|------|------|------|------|
|          |                   | 4                       | 6    | 8    | 10   | 12   | 14   |
| NaCl     | +                 | 0,10                    | 0,15 | 0,24 | 0,38 | 0,44 | 0,58 |
| KCl      | +                 | 0,11                    | 0,30 | 0,37 | 0,50 | 0,57 | 0,72 |
| KBr      | +                 | 0,24                    | 0,35 | 0,37 | 0,53 | 0,73 | —    |
| NaCl     | —                 | 0,05                    | 0,14 | 0,20 | 0,37 | —    | 0,47 |
| KCl      | —                 | 0,09                    | —    | 0,30 | 0,45 | —    | 0,61 |
| KBr      | —                 | 0,13                    | 0,24 | —    | 0,51 | 0,60 | —    |

Возникновение поверхностного пробоя при 14—16 кв сопровождается растрескиванием кристалла, при этом для положительного острия характерна картина развития трещин от центра (рис. 1, а), для отрицательного — на некотором расстоянии от него с максимальной плотностью у грани образца (рис. 1, б).

Разрушение кристаллической решетки твердого тела в электрическом поле обусловлено не только воздействием электрических сил, но и возникающими в диэлектрике механическими усилиями, для величины которых справедлива линейная зависимость от диэлектрической проницаемости [9].

Эмпирическая зависимость от диэлектрической проницаемости вещества существует и для напряжения скользящих разрядов [5, 8].

Значительная доля статической диэлектрической проницаемости обусловлена смещениями положительных ионов относительно отрицательных, происходящими в решетке во внешнем поле, — ионной составляющей диэлектрической проницаемости  $\epsilon - \epsilon_\infty$ , т. е. характеристикой диэлектрика, которая связана с коэффициентом всестороннего механического сжатия вещества [10].

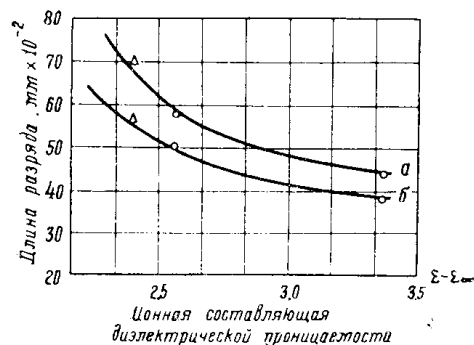


Рис. 2. Зависимость длины разряда от ионной поляризуемости для кристаллов NaCl, KCl и KBr: а — при напряжении 12 кв, на острие — плюс; б — при напряжении 10 кв, на острие — плюс.

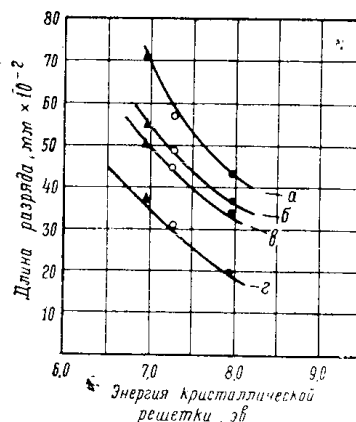


Рис. 3. Зависимость длины разряда от величины энергии кристаллической решетки для NaCl, KCl, KBr: а — при напряжении 12 кв, на острие — плюс; б — при напряжении 10 кв, на острие — плюс; в — при напряжении 10 кв, на острие — минус; г — при напряжении 6 кв, на острие — минус.

Сопоставление величины  $\epsilon - \epsilon_\infty$  с длиной разряда на кристаллах NaCl, KCl и KBr (рис. 2) позволило сделать вывод о существовании зависимости между длиной поверхностного разряда и величиной энергии решетки, так как ионная составляющая диэлектрической проницаемости связана с последней определенным соотношением [1].

Построенная закономерность приведена на рис. 3, из которого следует, что развитие разряда при заданной величине приложенного напряжения наиболее вероятно для кристаллов с меньшей энергией решетки.

Воздействие тангенциального электрического поля на щелочно-галлоидные кристаллы сопровождалось увеличением плотности дислокаций.

Представленные на рис. 4 фотографии демонстрируют последовательное увеличение плотности дислокаций от  $10^4 \text{ см}^{-2}$  для исходного образца KBr (а) до  $2,5 \times 10^6 \text{ см}^{-2}$  после приложения к нему напряжения 14 кв.

Трещины, образовавшиеся в кристалле при поверхностном пробое, состоят из остроконечных ямок травления (рис. 5). Плоскодонные ямки, наблюдаемые при этом, характеризуют места ушедших дислокаций,

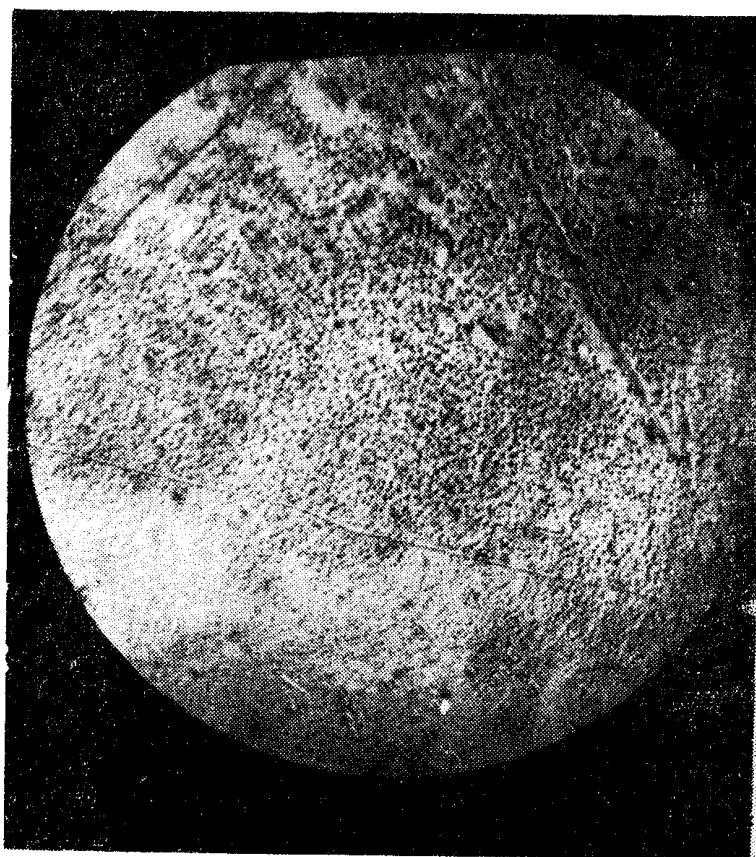
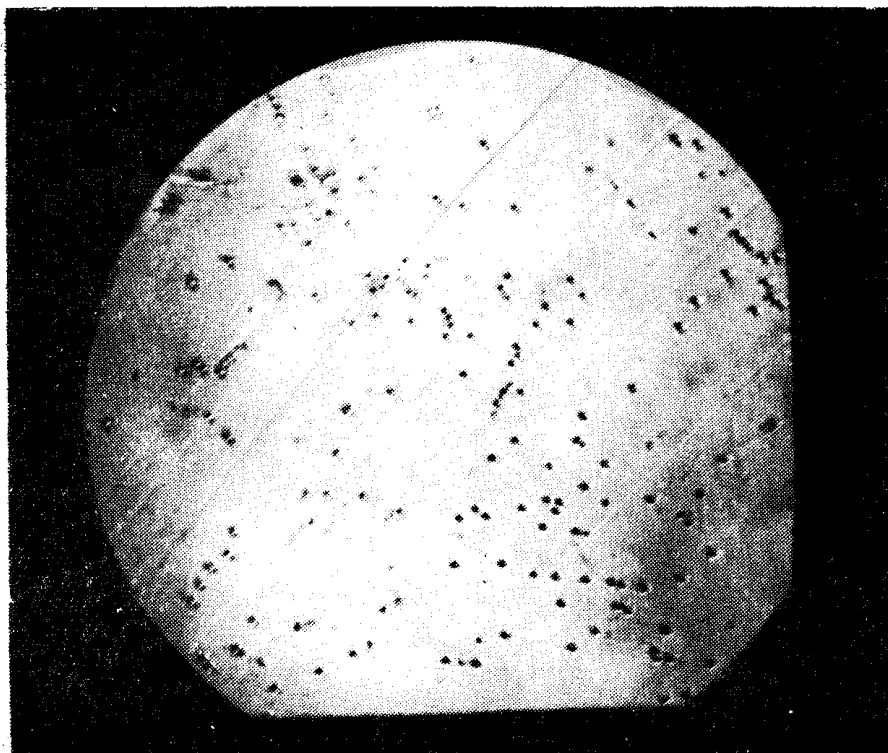


Рис. 4. Плотность дислокаций в кристалле КВг:  
*a* — образец без поля, 600 х; *b* — образец напряжении 14 кв, 600 х.

Очевидно, электрическое поле вызывает движение дислокаций в кристалле, ориентируя их в направлении поля.

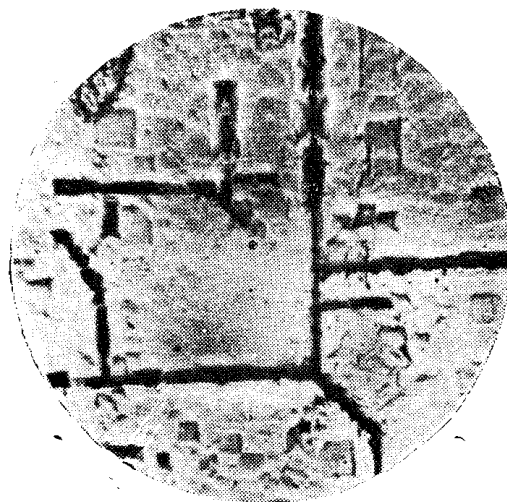


Рис. 5. Трещины при поверхностном разряде на кристалле NaCl при напряжении +14 кв, 400 х.

### Выводы

1. Электрическое поле является одним из источников образования дислокаций в щелочно-галогенидных кристаллах.
2. Длина поверхностного разряда обратно пропорциональна величине энергии решетки кристалла.

### ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Воробьев. Физические свойства ионных кристаллических диэлектриков, кн. 1, изд-во Томского университета, Томск, 1960.
2. Коронные разряды и пробой изоляции, Электротехническая промышленность за рубежом, ЦИНТИ, М., 1963.
3. М. И. Мантров. Электричество, № 9, 54, 1940.
4. А. Н. Губкин. Известия ТПИ, 91, стр. 145, 1956.
5. А. А. Воробьев. Техника высоких напряжений, Госэнергоиздат, 1957.
6. J. Gilman and Stauff. J. Appl. Phys. v. 29, № 2, p. 120, 1958.
7. Е. В. Колонцова и Л. К. Михайлова. Кристаллография, т. 8, вып. 6, 1963.
8. Л. А. Бибергаль, Э. А. Наги, С. С. Соломоник. Кабели и провода для электронной аппаратуры, изд-во «Энергия», М.—Л., 1964.
9. Е. К. Завадовская. Известия ТПИ, т. 77, 16, 1953.
10. А. Деккер. Физика электротехнических материалов, пер. с англ., под ред. Б. М. Тареева, Госэнергоиздат, М.—Л., 1962.