

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 $20 \times 20 \times 2$ мм³ 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 PbSO₄.

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.

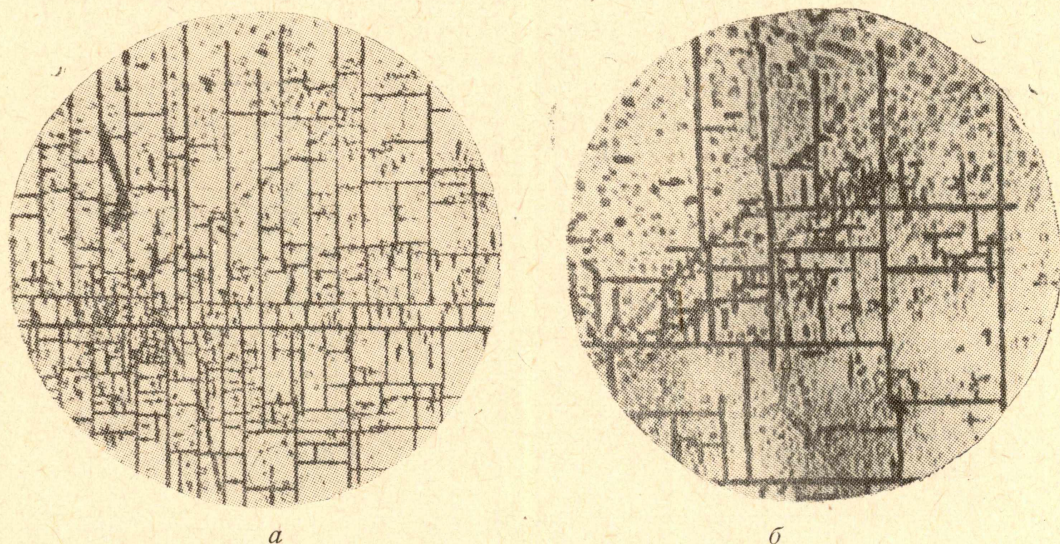


Рис. 1. Трещины при перекрытии на кристалле КСl при напряжении 14 кв: а) в центре, на острие — плюс, 80 х; б) у грани, на острие — минус, 80 х.

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 сопровождалось 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].

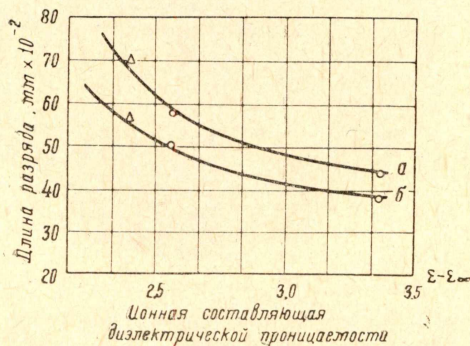


Рис. 2. Зависимость длины разряда от ионной поляризуемости для кристаллов NaCl, KCl и KBr: а — при напряжении 12 кв, на острие — плюс; б — при напряжении 10 кв, на острие — плюс.

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 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,

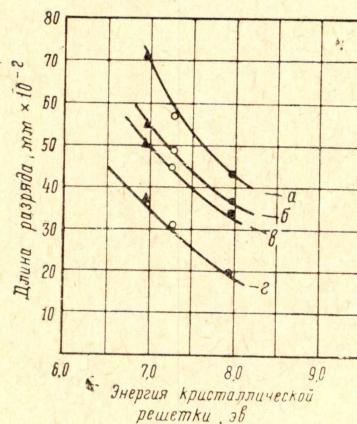
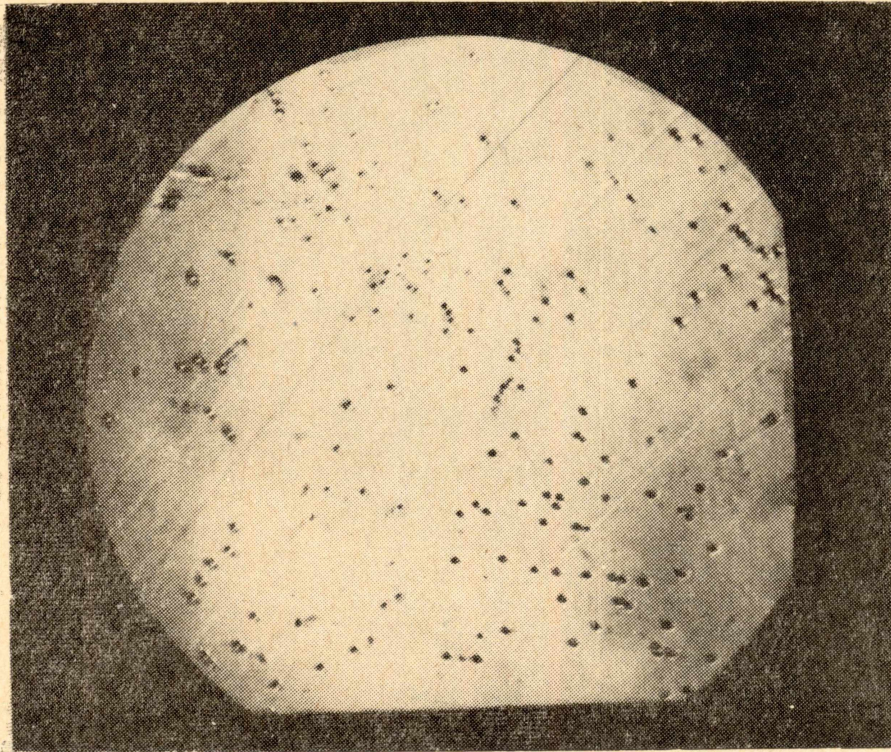
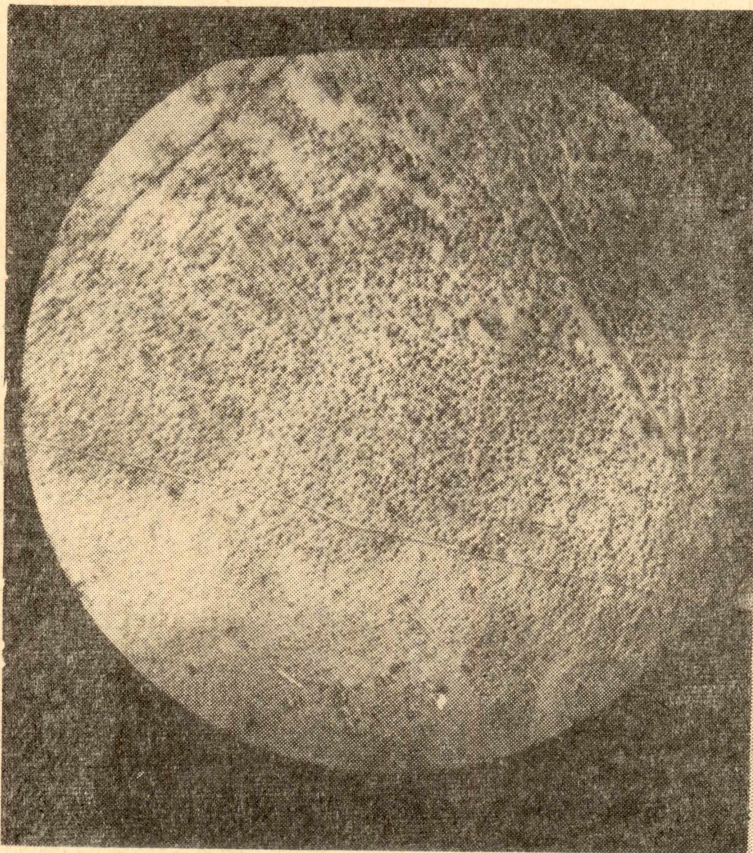


Рис. 3. Зависимость длины разряда от величины энергии кристаллической решетки для NaCl, KCl, KBr: а — при напряжении 12 кв, на острие — плюс; б — при напряжении 10 кв, на острие — плюс; в — при напряжении 10 кв, на острие — минус; г — при напряжении 6 кв, на острие — минус.



a



b

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

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

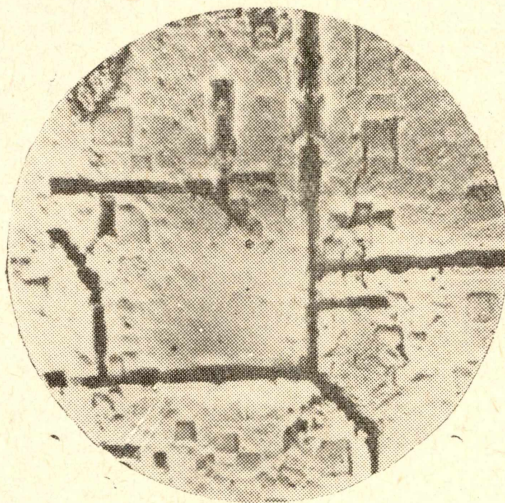


Рис. 5. Трещины при поверхностном пробое на кристалле NaCl при напряжении +14 кв, 400 х.

Выводы

1. Электрическое поле является одним из источников образования дислокаций в щелочно-галогидных 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.