

## ОБ ОПТИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ НЕКОТОРЫХ ЩЕЛОЧНО-ГАЛОИДНЫХ КРИСТАЛЛОВ

К. ПАПП, Л. НАНАИ, Э. СИЛ и И. ХЕВЕШИ

Кафедра экспериментальной физики Университета им. А. Йозефа, г. Сегед

(Поступило в редакцию 21. февраля 1978 г.)

Исследовались пороги разрушения лучем рубинового лазера некоторых щелочно-галлоидных кристаллов (NaF, NaCl, KCl, LiF). Определены оптические стойкости этих же кристаллов в режиме свободной генерации и модуляции добротности лазера. Приведены возможные механизмы, приводящие к разрушению щелочно-галлоидных кристаллов под влиянием лазерного излучения.

### *Введение*

Развитие лазерной техники сильно ограничивается тем обстоятельством, что оптические элементы, входящие в состав лазерных и прочих установок при достижении некоторой определенной плотности лазерного излучения претерпевают необратимые изменения — разрушаются. Соответствующая плотность потока излучения, вызывающая разрушение называется порогом разрушения материала и, как правило, является трудноопределяемой величиной. Его значения сильно зависят от предыстории и свойств материала и от условий эксперимента. Данные, встречающиеся в литературе, относящиеся к пороговому значению, например NaCl, объединяют широкий интервал значений от 0,2 ГВт/см<sup>2</sup> до 2,0 ГВт/см<sup>2</sup> [1, 2]. Пока не существует единой теории разрушения прозрачных диэлектриков. По имеющимся литературным данным возможные механизмы разрушения можно группировать в следующие классы. Сильное поглощение на поверхностных дефектах и объемных включениях может привести к локальному нагреву, достаточному для разрушения [3]. Может произойти разрушение из-за механических напряжений гиперзвуковых фононов, возникающих вследствие вынужденного Манделштам-Брилюэн рассеяния света [4]. Согласно некоторым другим авторам [5] к разрушению приводит оптический пробой связанный с многофотонным поглощением и лавинной ионизацией.

Целью настоящей работы являются определение порога разрушения ряда щелочно-галлоидных кристаллов (NaF, NaCl, KCl, LiF) и выяснение их возможного механизма разрушения. Кристаллы, на которых были проведены исследования были выращены методом Киропулоса в Институте Кристаллографии АН СССР и в Исследовательской Лаборатории Кристаллофизики АН ВНР. Средний размер образцов был  $5 \times 10 \times 2$  мм<sup>3</sup>. Лазерный луч был сфокусирован перпендикулярно к поверхности образцов.

### Методика эксперимента

Схема установки, на которой были проведены исследования приведена на рис. 1. Световой импульс рубинового лазера (2) через ослабляющие фильтры (11) сфокусировался на поверхность образца (10). Часть излучения при помощи плоскопараллельных пластин (3) и (6) выводилась для определения энергии и формы импульса. Энергия излучения измерялась с помощью отградуирован-

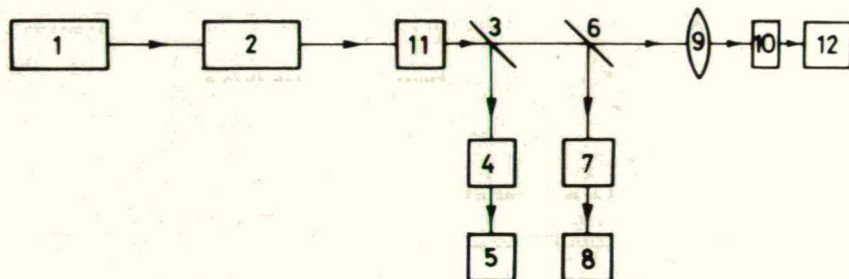


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки

ного болометра-самописца (4) и (5), а форма импульса с помощью фотоэлемента (7) и осциллоскопа (8). Разрушенная область исследовалась под микроскопом (12). Детальное описание основных узлов экспериментальной установки можно найти в работе [6].

Значение порога разрушения было определено путем экстраполяции из функции размера разрушенной области от падающей на кристалл энергии. Использование этого способа оправдывается теоретическими исследованиями [7] и также нашим опытом. Полученные таким путем пороги разрушения показывают хорошее совпадение с результатами других авторов [8].

### Результаты измерений

Были определены пороги разрушения щелочно-галогидных кристаллов под влиянием лазерного излучения свободной генерации. Длительность импульсов составляла  $\sim 100$  мсек. Значение порога разрушения было определено путем экстраполяции функции на ось падающей энергии. Результаты представлены на рис. 2.

Соответствующие пороговые значения в разных, используемых в литературе единицах сведены в табл. I.

Результаты измерений, относящиеся к использованию лазерного импульса модулированной добротности, видны на рис. 3. Длительность импульса составляла  $\sim 50$  нсек.

Соответствующие пороговые значения для разных кристаллов сведены в табл. II.

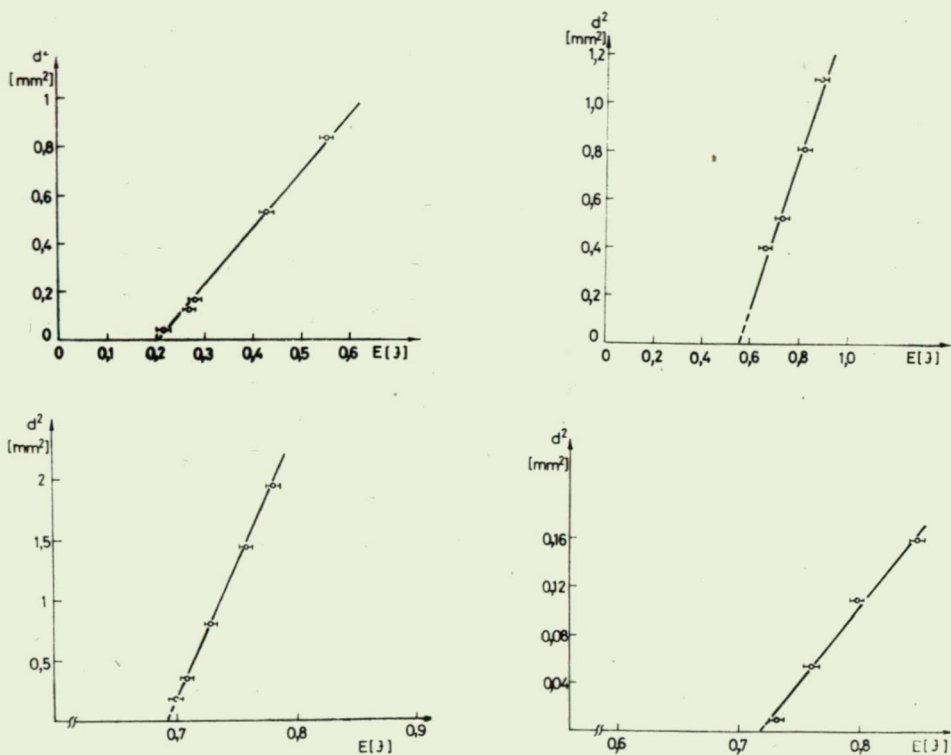


Рис. 2. Зависимость поперечных размеров кратера от падающей на образец энергии импульса свободной генерации. а — LiF, б — KCl, в — NaCl, г — NaF

Таблица I.

Материал	$E_K$ [Дж]	$E_K \left[ \frac{\text{В}}{\text{см}} \right]$	$P \left[ \frac{\text{МВт}}{\text{см}^2} \right]$	$S \left[ \frac{\text{ФОТОН}}{\text{см}^2 \text{с}} \right] \times 10^{26}$
NaF	0,719	$2,74 \cdot 10^5$	200	6,98
NaCl	0,693	$2,67 \cdot 10^5$	190	6,63
KCl	0,5493	$2,16 \cdot 10^5$	158	5,51
LiF	0,201	$1,373 \cdot 10^5$	50	1,74

Таблица II.

Материал	$E_K$ [Дж]	$E_K \left[ \frac{\text{В}}{\text{см}} \right]$	$P \left[ \frac{\text{МВт}}{\text{см}^2} \right]$	$S \left[ \frac{\text{ФОТОН}}{\text{см}^2 \text{с}} \right] \times 10^{28}$
NaF	0,0409	$2,915 \cdot 10^6$	22,7	8,37
NaCl	0,0364	$2,76 \cdot 10^6$	20,2	7,06
KCl	0,0363	$2,756 \cdot 10^6$	20,16	7,04
LiF	0,0224	$2,165 \cdot 10^6$	12,44	4,34

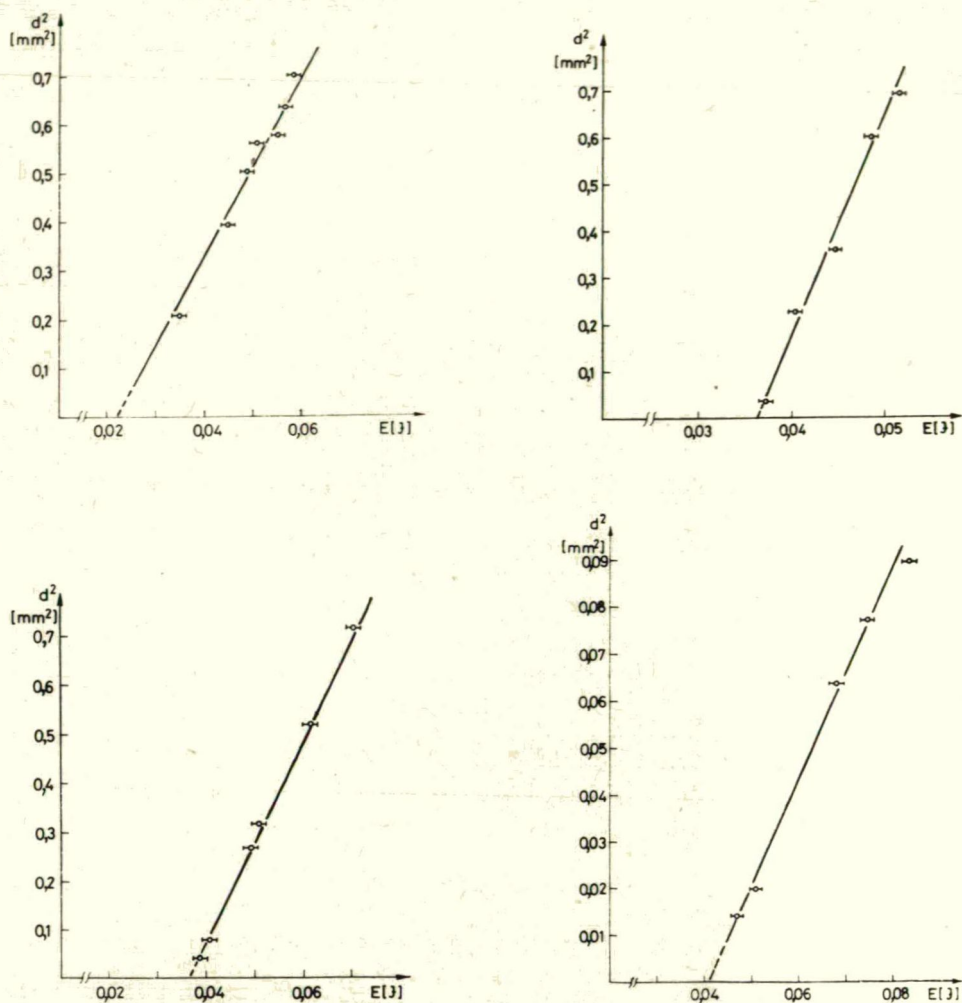


Рис. 3. Зависимость поперечных размеров кратера от падающей на образец энергии импульса модулированной добротности. а — LiF, б — KCl, в — NaCl, г — NaF.

Для сравнения пороговых значений разных кристаллов на рис. 4. представлены их соответствующие значения по отношению к пороговому значению кристалла NaCl.

Данные показывают хорошее совпадение с результатами работы [9].

Как показывают микроскопические исследования на поверхности кристалла в плоскости перпендикулярной к световому лучу образуются характерные трещины в главных направлениях (кубического кристалла). Их размеры меняются от десятой доли миллиметра до нескольких миллиметров. Глубины образующихся кратеров были меньше, они составляли несколько микронов. Попе-

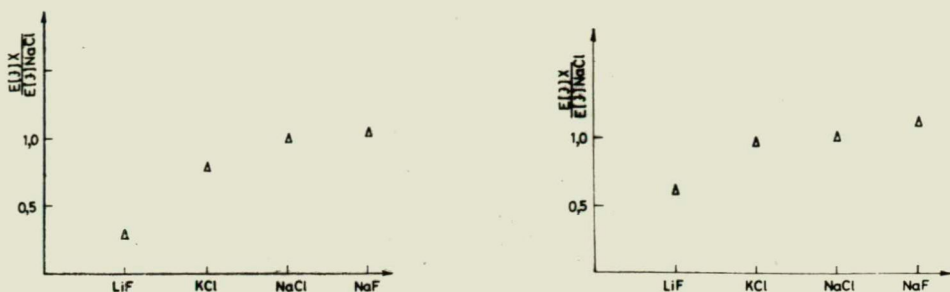


Рис. 4. Относительные к NaCl пороги разрушения. (а) импульс свободной генерации, (б) импульс модулированной добротности.

речные размеры кратеров в сторону глубины постепенно уменьшаются. Сравнивая картины разрушений при импульсе свободной генерации и модуляции добротности можно заключить что размеры разрушенных областей первых больше при одинаковых плотностей энергии. Имеется различие и в числе трещин, их больше в случае импульса модулированной добротности. В качестве иллюстрации картины разрушения в разных режимах работы лазера приводим фотографии разрушенных областей для кристалла NaF, на рис. 5 а и 5 б.

### Дискуссия результатов

Как это видно из табл. I и II пороговые значения разных кристаллов разные, но для одинаковых длительностей импульсов они находятся в одном порядке значений. Это подтверждается одинаковым ходом кривых рис. 4. Из этого следует, что механизмы разрушения исследованных кристаллов разные. При разных режимах работы лазера они могут быть следующими:

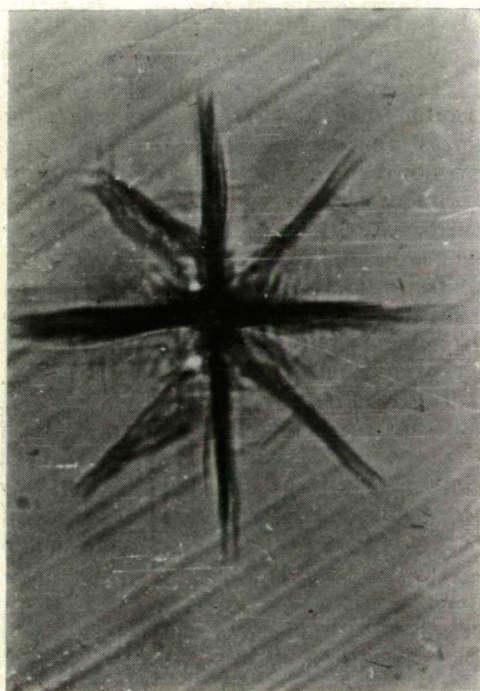
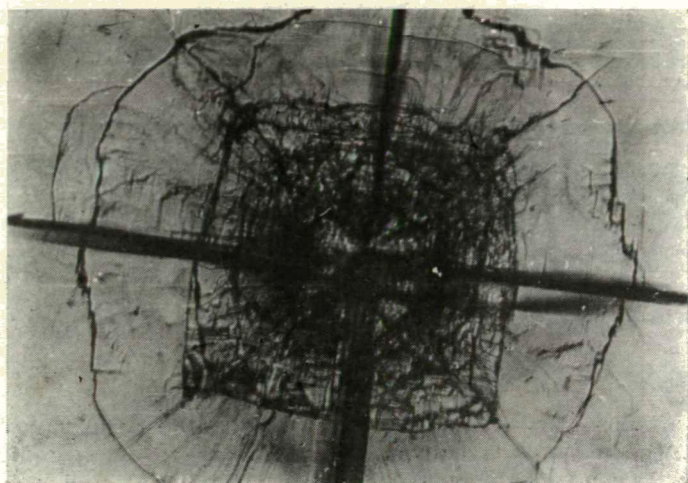
#### а) Случай режима свободной генерации.

Реальные кристаллы, использованные в наших экспериментах хотя они и были достаточно чистые, все таки они имели с достаточно большой плотностью поверхностных дислокаций, достигающих  $\sim 10^8 \text{ см}^{-2}$  значений [10]. Поглощение лазерного излучения на таких дефектах и на всегда имеющихся включениях приводит к локальному нагреву в материале. Температурное распределение вокруг таких центров станет нестабильным из-за взаимодействия ближайших центров и неоднородной теплопроводности. Термоупругие напряжения, возникающие в приповерхностном слое приведут к механическому разрушению материала. Определяющая роль поглощающих центров подтверждается и тем, что при дефокусировки лазерного луча обнаруживаются больше центров разрушения [11].

#### б) Случай модулированной добротности.

Термические эффекты, характерные для случая импульса свободной генерации в данном случае из-за малой длительности импульсов не играют заметной роли.

Согласно расчетам, проведенным в [11] здесь можем считаться двумя эффектами, приводящими к разрушению. Гиперзвуковые волны, возникающие



*Рис. 5.* Вуд поля разрушения кристалла NaF. (а) импульс свободной генерации, (б) импульс модулированной добротности.

под влиянием электрострикционного давления могут привести к механическому разрушению. С другой стороны, с помощью однофотонных переходов через локальные центры и многофотонных переходов из-за очень большой интенсивности падающего на образец излучения может произойти лавинная ионизация *т. е.* размножение свободных электронов. Они ускоряясь в поле лазерного излучения высвобождают другие электроны ударной ионизацией и, возникающее большое число свободных электронов поглощая лазерное излучение, приводит к оптическому пробое материала *т. е.* к разрушению. По оценкам Бломбергера [12] поле, необходимое для пробоя составляет  $\sim 10^6$  В/см, которое совпадает с нашими результатами (табл. II). Заметим, что при исследовании картины разрушения мы часто наблюдали фиолетовое пятно (окраску) вокруг центра разрушения, которое указывает на появление V центров. Из этого можно заключить, что в кристалле появились галоидные ионы, а лишние электроны принимали участие в образовании лавины.

#### Литература

- [1] *Giuliano, R.*: Appl. Phys. Lett. **5**, 137 (1964).
- [2] *Olness.*: Appl. Phys. Lett. **8**, 283 (1966).
- [3] *Данилейко, Ю. К., А. А. Макшанцев, А. М. Прохоров, В. А. Халимов-Манков*: ЖЭТФ **58**, 31 (1970).
- [4] *Архипов, Ю. П., В. А. Лихачев, В. В. Морозов, Ф. С. Файзуллоев*: ФТТ **14**, 1756 (1972).
- [5] *Блэмберген, Н.*: Квантовая электроника **4**, 786 (1974).
- [6] *Nánai, L., I. Hevesi, I. Ketskeméty*: Acta Phys. et Chem. Szeged, **3—4**, 109 (1975).
- [7] *Ашкенадзе, Б. М., В. И. Владимиров, В. А. Лихачев, Л. М. Шестопалов*: ФТТ. **10**, 2403 (1969).
- [8] *Беляев, Л. М., А. Н. Головистиков, В. В. Набатов*: ФТТ. **17**, 3733 (1968).
- [9] *Fradin, D. W., M. Bass*: Appl. Phys. Lett. **22**, 206 (1973).
- [10] *Воска, Р.*: Частное сообщение.
- [11] *Панп, К.*: Диссертация степени университетского доктора, Сегед (1978).
- [12] *Bloembergen N.*: J. of Quantum Electronics **QE—10**, 375 (1974).

#### ON THE LASER-INDUCED DAMAGE OF SOME ALKALI-HALIDE CRYSTALS

*K. Papp, L. Nánai, E. Szil and I. Hevesi*

Damage of some alkali-halide crystals produced by normal and Q-switched ruby laser pulses has been investigated. Optical resistance of crystals was examined, and the damage thresholds were determined. Some possible mechanisms have been proposed, to interpret the optical breakdown of these crystals.