

05;07

## Теплопроводность $\gamma$ -облученных монокристаллов LiF

© Т.Т. Басиев, В.А. Конюшкин, С.В. Кузнецов, В.В. Осико,  
П.А. Попов, П.П. Федоров

Научный центр лазерных материалов и технологий  
Института общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва  
Брянский государственный университет  
E-mail: ppf@lst.gpi.ru

Поступило в Редакцию 25 декабря 2007 г.

Методом стационарного продольного теплового потока в интервале температур 50–300 К исследована теплопроводность  $\gamma$ -облученных монокристаллов LiF. Увеличение дозы облучения до  $2 \cdot 10^9$  rad приводит к монотонному падению теплопроводности на 10% при 300 К и в 10 раз при 50 К. С ростом дозы облучения микротвердость кристаллов возрастает с 140 до 222.5 kg/mm<sup>2</sup>.

PACS: 66.70.-f, 61.80.-x

Одним из наиболее перспективных материалов для лазерной генерации импульсов пико- и фемтосекундной длительностей, а также плавно перестраиваемой генерации в ближнем ИК-диапазоне являются кристаллы фтористого лития с агрегатными центрами окраски. Широкая полоса усиления в диапазоне от 1 до 1.3  $\mu\text{m}$ , высокое сечение люминесцентного перехода ( $\sim 10^{-17}$  cm<sup>2</sup>), широкая полоса поглощения для накачки лазерами, излучающими вблизи 1  $\mu\text{m}$ , высокая теплопроводность делают эти кристаллы практически идеальными для применения в перестраиваемых лазерах и лазерах с синхронизацией мод, в том числе при использовании диодной накачки. Монокристаллы фтористого лития с F<sub>2</sub><sup>-</sup> центрами окраски имеют длительный срок службы в качестве активных элементов лазеров при комнатной температуре [1–3].

Особое значение при создании мощных лазерных систем имеет высокая теплопроводность  $k$  оптического материала. Монокристаллы фтористого лития — классический объект для изучения влияния различных факторов на теплопроводность, таких как изотопный эффект, влияние дислокаций, толщины образца, шероховатости поверхно-

сти [4–7]. Влияние образования центров окраски на теплопроводность LiF изучалась в [4].

Целью данной работы было исследование теплопроводности монокристаллов LiF с центрами окраски, возникшими при воздействии различных доз облучения.

В качестве исходного материала использовали монокристаллы фтористого лития, выращенные на воздухе методом Киропулоса. Для исследования влияния примеси иона гидроксила на теплопроводность один образец монокристалла был расплавлен и выращен заново в активной фторирующей атмосфере  $\text{CF}_4$ .

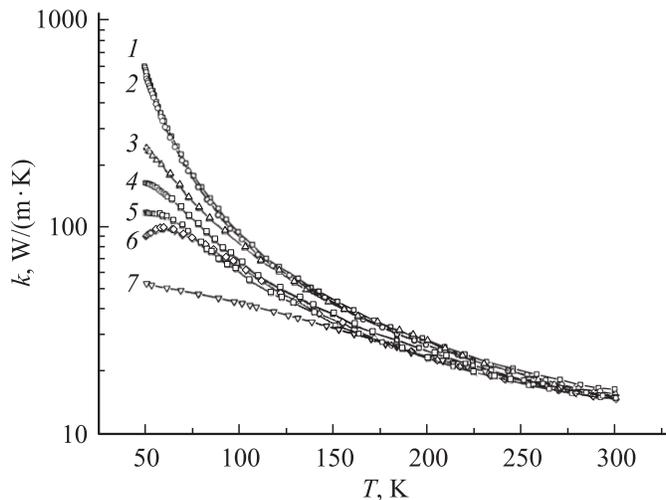
Создание центров окраски в монокристаллах LiF проводилось путем  $\gamma$ -облучения на источнике  $\text{Co}^{60}$  (энергия кванта  $E_1 = 1.17 \text{ MeV}$ ,  $E_2 = 1.33 \text{ MeV}$ ) при 300 К. Дозы облучения составили  $2 \cdot 10^6$ ,  $2 \cdot 10^7$ ,  $2 \cdot 10^8$ ,  $5 \cdot 10^8$ ,  $2 \cdot 10^9 \text{ rad}$ .

Для экспериментального определения теплопроводности использовался абсолютный стационарный метод продольного теплового потока, аппаратура и методика измерений описаны в [8]. Расстояние между датчиками температуры составляло 20 мм. Погрешность определения абсолютной величины теплопроводности не превосходила 5%, воспроизводимость результатов была не хуже 3%. Откачка паров азота из камеры теплостока позволила обеспечить температурный диапазон измерений 50–300 К.

Спектры поглощения снимались на спектрофотометре СФ-20. Микротвердость образцов определялась на сколах по спайности [100] путем индентирования алмазной пирамидкой Виккерса при комнатной температуре на микротвердометре ПМТ-3 под нагрузкой  $P = 0.5 \text{ N}$ .

Результаты измерений теплопроводности представлены на рис. 1–3. При 300 К теплопроводность LiF  $k = 16.5 \pm 0.8 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  и резко возрастает с понижением температуры. Переплавка во фторирующей атмосфере, в результате которой наличие  $\text{OH}^-$  группы не фиксируется спектроскопически, приводит к возрастанию теплопроводности при 50 К от  $k = 543 \pm 27$  до  $605 \pm 30 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ , но не сказывается в пределах ошибки на теплопроводности при комнатной температуре. Этот эффект можно объяснить небольшой разницей масс замещающих друг друга ионов  $\text{F}^-$  и  $\text{OH}^-$ .

Из рисунков видно, что увеличение дозы облучения приводит к монотонному падению теплопроводности при низкой температуре. При

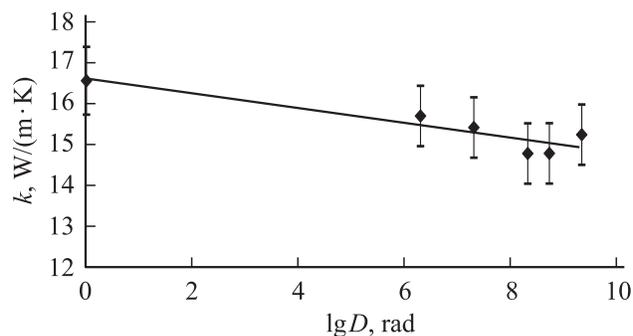


**Рис. 1.** Температурная зависимость теплопроводности монокристаллов LiF: 1 — LiF монокристалл без  $\text{OH}^-$ ; 2 — LiF:OH $^-$  монокристалл; 3 — LiF:OH $^-$  облученный монокристалл,  $D = 2 \cdot 10^6$  rad; 4 — LiF:OH $^-$  облученный монокристалл,  $D = 2 \cdot 10^7$  rad; 5 — LiF:OH $^-$  облученный монокристалл,  $D = 2 \cdot 10^8$  rad; 6 — LiF:OH $^-$  облученный монокристалл,  $D = 5 \cdot 10^8$  rad; 7 — LiF:OH $^-$  облученный монокристалл,  $D = 2 \cdot 10^9$  rad.

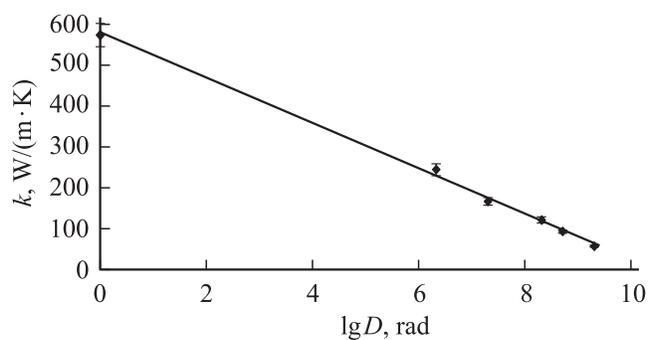
комнатной температуре этот эффект выражен слабо. Доза облучения  $2 \cdot 10^9$  rad приводит к снижению теплопроводности при 50 K до  $k = 54 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ , т.е. в 10 раз; при комнатной температуре снижение составляет около 10%.

Полученные нами результаты качественно согласуются с данными [4]. Количественное сопоставление невозможно, поскольку в [4] использовались номинально чистые кристаллы, не содержащие примеси гидроксидов, стабилизирующей центры окраски.

Полученные результаты важны с точки зрения использования LiF с центрами окраски в качестве активных лазерных элементов. Известно, что во многих случаях введение ионов-активаторов резко понижает теплопроводность матрицы. Особенно силен этот эффект при гетеровалентном замещении, например, при введении ионов редкоземельных элементов в решетку флюорита [9,10]. В случае фтори-



**Рис. 2.** Зависимость теплопроводности монокристаллов LiF от дозы облучения при 300 К.



**Рис. 3.** Зависимость теплопроводности монокристаллов LiF от дозы облучения при 50 К.

стого лития образование центров окраски понижает теплопроводность незначительно, особенно при комнатной температуре. Она остается весьма высокой. Например, доза  $D = 2 \cdot 10^8$  rad дает материал с  $k = 14.8 \pm 0.7$  W/(m·K) при 300 К.

Радиационное облучение повышает микротвердость монокристаллов от 140 до  $222.5 \pm 8.6$  kg/mm<sup>2</sup> при  $D = 2 \cdot 10^9$  rad, что свидетельствует об улучшении механических характеристик материала.

## Список литературы

- [1] *Basiev T.T., Mirov S.B., Osiko V.V.* // IEEE J. Quantum Electron. 1988. V. 24. P. 1052.
- [2] *Basiev T.T., Mirov S.B.* // Laser Science and Technology International Handbook / V.S. Letokhov e.a. (Ed.). Switzerland: Harwood Acad. Publishers, 1994. V. 16. N 1.
- [3] *Basiev T.T., Vassiliev S.V., Konyushkin V.A., Gapontsev V.P.* // Optics Letters. 2006. V. 31. P. 2154.
- [4] *Pohl R.O.* // Physical Review. 1960. V. 118. Is. 6. P. 1499–1508.
- [5] *Thacher Ph.D.* // Physical Review. 1967. V. 156. Is. 3. P. 975–988.
- [6] *Benin D.* // Physical Review. 1972. V. B5. Is. 3. P. 2344–2350.
- [7] *Берман Р.* // Теплопроводность твердых тел. М.: Мир, 1979. 286 с.
- [8] *Sirota N.N., Porov P.A., Ivanov I.A.* // Cryst. res. Technol. 1992. V. 27. N 4. P. 535–543.
- [9] *Попов П.А., Черненко Е.В., Федоров П.П., Кузнецов С.В., Конюшкин В.А., Басиев Т.Т.* // Конденсированные среды и межфазные границы. 2006. № 4. С. 320–321.
- [10] *Могилевский Б.М., Рейтеров В.М., Тумпурова В.Ф., Трофимова Л.М., Чудновский А.Ф.* // Инженерно-физический журнал. 1975. Т. 28. № 3. С. 439–441.