

07;12

## Фоторефрактивное рассеяние света в кристалле $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$

© Е.А. Антонычева,<sup>1</sup> А.В. Сую,<sup>1</sup> Н.В. Сидоров,<sup>2</sup> А.А. Яничев<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Дальневосточный государственный университет путей сообщения,  
680021 Хабаровск, Россия  
e-mail: aea2008@mail.ru

<sup>2</sup> Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева  
Кольского научного центра РАН,  
184209 Апатиты, Россия  
e-mail: sidorov@chemy.kolasc.net.ru

(Поступило в Редакцию 25 июня 2009 г.)

Подробно исследована временная зависимость фоторефрактивного рассеяния света (ФРРС) в монокристаллах ниобата лития конгруэнтного состава ( $\text{LiNbO}_3$ ), легированных „фоторефрактивными“ катионами  $\text{Cu}$  [0.015 mass.%] при мощности излучения в 160 mW. Данные по ФРРС подтверждены изменениями в спектрах комбинационного рассеяния света.

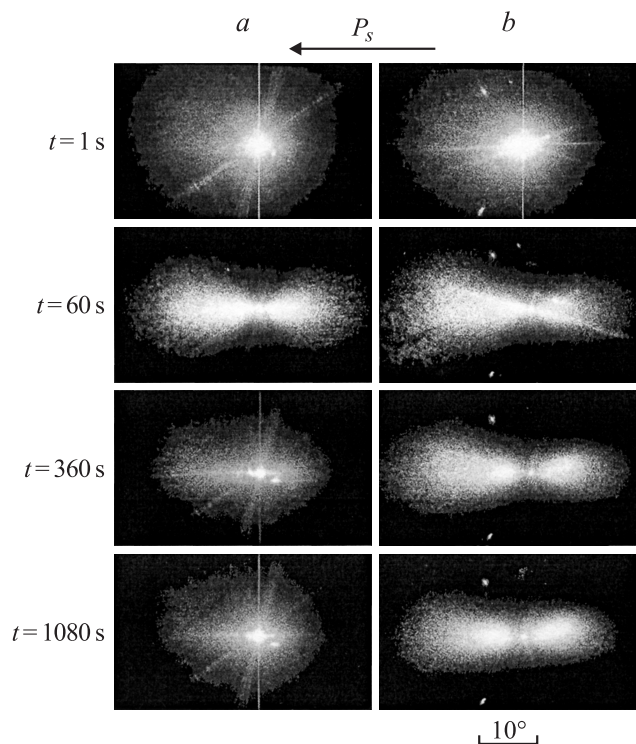
Фоторефрактивное рассеяние света (ФРРС) представляет собой особый случай голографических эффектов и является одним из ограничивающих факторов, ухудшающих качество голограмм [1–3]. В литературе подробно исследовано ФРРС в монокристаллах ниобата лития конгруэнтного состава ( $\text{Li/Nb} = 0.946$ ), легированных „фоторефрактивными“ катионами<sup>1</sup>  $\text{Fe}$  и  $\text{Rh}$ . Обзор исследований дан в [1].

В настоящей работе впервые выполнены исследования ФРРС в монокристаллах ниобата лития конгруэнтного состава, легированных „фоторефрактивными“ катионами  $\text{Cu}$  [0.015 mass.%]. Статические эффекты, вызываемые фоторефрактивным эффектом, фиксировались по изменениям в спектрах комбинационного рассеяния света (КР).

Монокристаллы выращивались методом Чохральского. Использовались образцы в форме параллелепипедов  $\approx 8 \times 6 \times 4 \text{ mm}$  с ребрами, параллельными кристаллофизическим осям  $X, Y, Z$  соответственно. Для возбуждения ФРРС использовано излучение лазера на  $\text{Y:Al}$ -гранате MLL-100 ( $\lambda_0 = 530 \text{ nm}$ ) мощностью 160 mW. Рассеянное излучение падало на полупрозрачный экран, размещенный за кристаллом, и регистрировалось цифровой видеокамерой. Спектры КР регистрировались спектрометром Ramanog U1000. Как известно [3], наиболее сильная фоторефракция в монокристалле ниобата лития наблюдается в тех случаях, когда вектор  $\mathbf{E}$  возбуждающего лазерного излучения направлен вдоль полярной оси кристалла. Поэтому для выявления максимального и минимального проявления эффекта фоторефракции КР спектры КР были зарегистрированы в геометрии рассеяния  $Y(ZZ)\bar{Y}$  и  $Y(ZX)\bar{Y}$  (вектор  $\mathbf{E}$  параллелен оси  $Z$ ) и  $Z(Y\bar{Y})\bar{Z}$ ,  $Z(YX)\bar{Z}$  (вектор  $\mathbf{E}$  перпендикулярен оси  $Z$ ) Такие виды геометрии удобны тем, что в них

<sup>1</sup> „Фоторефрактивные“ катионы (катионы с переменной валентностью) изменяют свой заряд в кристалле под действием света и повышают эффект фоторефракции. „Нефоторефрактивные“ катионы под действием света в кристалле не изменяют свой заряд и при определенных условиях способны понижать эффект фоторефракции.

в отсутствие эффекта фоторефракции в спектрах КР должны проявляться линии, соответствующие только фононам  $TO$  или только  $LO$  и не должны присутствовать смешанные ( $LO + TO$ ) фононы. Спектры КР регистрировались спустя 10 минут после воздействия на кристалл лазерного излучения, когда временные изменения, вы-

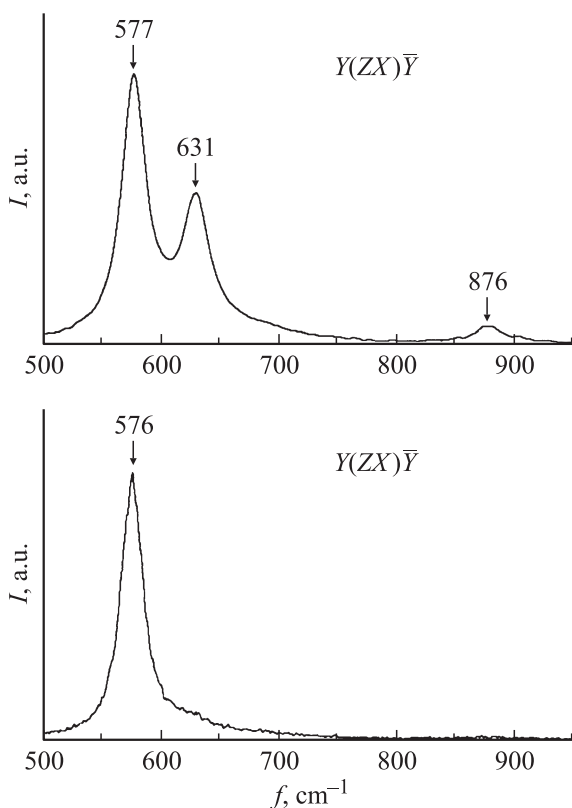


**Рис. 1.** Зависимость фоторефрактивного рассеяния света в кристаллах  $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$  [0.015 mass.%] от времени при мощности облучения 160 mW;  $\lambda_0 = 530 \text{ nm}$ . Волновой вектор световой волны направлен вдоль оси  $Y$ , по нормали к входной грани кристалла, вектор напряженности электрического поля световой волны  $\mathbf{E}$  параллелен оси  $Z$  кристалла. Образцы № 118-4к-6 (a), № 118-3к-3 (b).

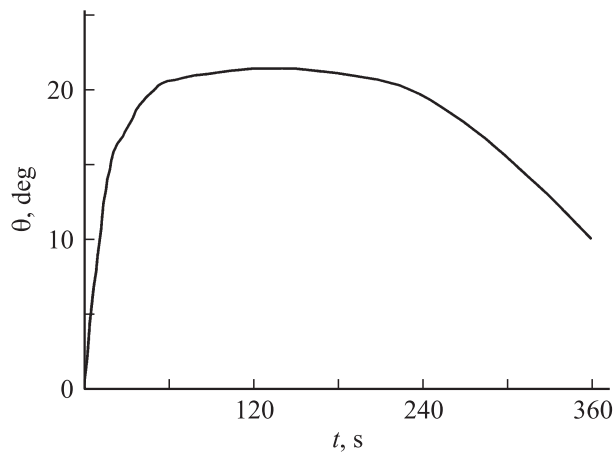
званные фоторефрактивным эффектом, становятся равными нулю.

На рис. 1 приведена зависимость фоторефрактивного рассеяния света от времени при мощности возбуждающего лазерного облучения в 160 мВт. Видно, что со временем наблюдается раскрытие индикатрисы рассеяния, которое уверенно проявляется в спектрах КР. При этом наиболее существенные изменения в спектрах обнаружены в геометрии рассеяния  $Y(ZX)\bar{Y}$ , в которой в отсутствие эффекта фоторефракции должны проявляться только  $E(TO)$ -фононы.

На рис. 2 в качестве примера приведены фрагменты спектров в области колебаний октаэдров  $NbO_6$  монокристалла  $LiNbO_3:Cu$  [0.015 mass.%] (обладающего высоким эффектом фоторефракции) и монокристалла  $LiNbO_3:B$  [0.12 mass.%] (обладающего существенно более низким эффектом фоторефракции [3]). В области колебаний октаэдров  $NbO_6$  в геометрии рассеяния  $Y(ZX)\bar{Y}$ , согласно правилам отбора [3], в отсутствие эффекта фоторефракции в спектре КР должна присутствовать только одна линия с частотой  $578\text{ cm}^{-1}$ , соответствующая фононам  $E(TO)$  типа симметрии [3]. Из рис. 2 видно, что это имеет место только для кристалла, легированного „нефоторефрактивными“ катионами  $B^{2+}$ . В спектре кристалла, легированного „фоторефрактивными“ катионами  $Cu$ , способными под действием света изменять свое зарядовое состояние, вследствие наличия фоторефрактивного эффекта, дополнительно присутствуют линии с



**Рис. 2.** Фрагменты спектров КР монокристаллов  $LiNbO_3:Cu$  [0.015%] (верхний рисунок) и  $LiNbO_3:B$  [0.12 mass.%] (нижний рисунок) в области колебаний октаэдров  $NbO_6$ ;  $\lambda_0 = 514.5\text{ nm}$ .



**Рис. 3.** Зависимость угла фоторефрактивного рассеяния света от времени в кристалле  $LiNbO_3:Cu$  [0.015%] при мощности 160 мВт.

частотой  $631\text{ (}A_1(TO)\text{)}$  и  $876\text{ (}A_1(LO)\text{)}\text{ cm}^{-1}$  (рис. 2), которые в отсутствие эффекта фоторефракции запрещены правилами отбора в геометрии рассеяния  $Y(ZX)\bar{Y}$  [3]. Причем интенсивность запрещенных линий возрастает одновременно с раскрытием индикатрисы рассеяния.

В первые секунды ФРПС сначала появляется трехслойная спекл-структура в виде окружности с малым углом раскрытия индикатрисы (рис. 1). Центральный слой представляет собой яркое и наиболее интенсивное пятно, второй слой имеет меньшую интенсивность свечения, и крайний по периметру слой имеет точечную спекл-структуру. Центральное пятно в течение первых секунд принимает форму овала, ориентированного в направлении полярной оси кристалла и через минуту после начала облучения исчезает. Одновременно происходит раскрытие спекл-структуры в виде симметричной „восьмерки“, ориентированной вдоль полярной оси кристалла (рис. 1). При этом для некоторых образцов рядом с основным рассеянием появляются два ярких пятна, расположенных симметрично полярной оси кристалла. При дальнейшем увеличении времени облучения кристалла индикатриса рассеяния сначала принимает форму „овала“, а со временем — первоначальную форму (окружность), соответствующую первым секундам облучения.

На рис. 3 представлена зависимость угла фоторефрактивного рассеяния света от времени при мощности 160 мВт. Отчетливо видно уменьшение угла (размеров индикатрисы ФРПС) при времени облучения более одной минуты. Это, очевидно, связано с нагревом кристаллов при облучении. Как показывают измерения, при мощности лазерного облучения 160 мВт температура кристалла в области лазерного луча достигает  $80^\circ\text{C}$ . С целью проверки данного предположения кристалл помещался в термооптическую печь, где температура поддерживалась при  $80^\circ\text{C}$ . При этом производилось облучение кристалла лазерным излучением мощностью 160 мВт. ФРПС при данных условиях не развивается.

Если температуру воздуха в термооптической печи понизить до  $50\text{--}60^\circ\text{C}$ , то ФРРС уверенно проявляется.

Важной дальнейшей задачей является установление и исследование изменений структуры кристалла, вызванных фоторефрактивным эффектом. В этой связи представляют интерес синхронные исследования зависимостей ФРРС и КР от времени и мощности возбуждающего излучения в монокристаллах ниобата лития различного состава, обладающих разным фоторефрактивным эффектом. Однако для корректного проведения таких исследований необходима специальная постановка КР эксперимента.

## Список литературы

- [1] Максименко В.А., Сюй А.В., Карпец Ю.М. Фотоиндуцированные процессы в кристаллах ниобата лития. М.: Физматлит, 2008. 96 с.
- [2] Gouklov M., Imlau M., Woleke Th. // Phys. Rev. 2008. Vol. V. 77. P. 235, 110–235, 115.
- [3] Сидоров Н.В., Волк Т.Р., Маврин Б.Н., Калинин В.Т. Ниобат лития: дефекты, фоторефракция, колебательный спектр, поляритоны. М.: Наука, 2003. 255 с.