

ФОТОРЕФРАКТИВНОЕ РАССЕЯНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ГЕЛИЙ-НЕОНОВОГО ЛАЗЕРА В КРИСТАЛЛАХ НИОБАТА ЛИТИЯ

© 2007 г. А. В. Сюй*, канд. физ.-мат. наук; В. И. Строганов*, доктор физ.-мат. наук; В. В. Лихтин**

* Дальневосточный государственный университет путей сообщения, г. Хабаровск

** Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, г. Комсомольск-на-Амуре

E-mail: alsyuy271@mail.ru

Для кристалла $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$ (0,3 вес.%) обнаружена характерная зависимость угловой ширины центрального пятна фоторефрактивного рассеяния излучения гелий-неонового малоомощного лазера от времени. Зарегистрированы изменения картины центрального пятна диффузионного фоторефрактивного рассеяния света при многократном облучении кристалла ($P = 1\text{--}2$ мВт, $\lambda = 0,6328$ мкм) и последовательном термическом отжиге в течение 30 мин при температуре 473 К.

Коды OCIS: 160.3730, 100.0320.

Поступила в редакцию 01.12.2006.

Кристалл ниобата лития – один из наиболее эффективных фоторефрактивных сегнетоэлектриков, которые являются перспективными средами для записи, обработки и хранения голографической информации [1, 2]. В процессе записи оптических сигналов в кристаллах ниобата лития возникает сильное световое рассеяние на оптически наведенной неоднородности – фоторефрактивное рассеяние света (ФРРС), что накладывает существенные ограничения на их применения.

При рассеянии света индикатриса и кинетика ФРРС существенно зависят от ряда физических условий: направления поляризации излучения накачки и ориентации полярной оси кристалла относительно пучка света, плотности мощности падающего излучения, рода и концентрации примеси в кристалле, частоты световой волны, температуры окружающей среды и ее проводимости, предыстории кристалла [3–10]. В эксперименте при наблюдении ФРРС обычно используется достаточно мощное излучение (0,05–1 Вт) аргонового или гелий-кадмиевого лазера. С мощным излучением кристалл “оживает”, степень и характер фоторефрактивных изменений при увеличении мощности пучка возрастают, появляются кольцевые структуры, изменяющиеся со временем [9]. Спекл-структура рассеянного света также не остается неизменной, изменяясь во времени скачком [10]. Появляется селективное рассеяние в виде дуг и колец достаточно большого диаметра и в виде образований типа “бьющегося сердца” [8].

В процессе облучения кристалла излучением аргонового или гелий-кадмиевого лазера ФРРС развивается из центральной области (пятна), образованной лазерным пучком при прохождении через кристаллическую пластинку, и со временем приобретает форму “восьмерки с лепестками”, ориенти-

рованными вдоль полярной оси кристалла (диффузионное рассеяние). Интенсивность прошедшего излучения перераспределяется из центрального пятна в лепестки неселективного рассеяния (рассеяние *ee*-типа [4] и *oo*-типа [5], а также *oe*- и *eo*-типов [6] при достаточной плотности мощности излучения).

При уменьшении мощности излучения часть явлений фоторефрактивного рассеяния света исчезает, но некоторые особенности остаются даже с излучением гелий-неонового лазера мощностью порядка 1–2 мВт. Наблюдается широкоугловое диффузионное рассеяние света в виде “лепестков восьмерки”, развивающихся из центральной области ФРРС (из точки падения пучка излучения лазера на кристалл). Спекл-структура в “лепестках восьмерки” остается неизменной в течение облучения. Если использовать излучение аргонового или гелий-кадмиевого лазера достаточно большой мощности, то в кристаллах ниобата лития даже без примеси возникает ФРРС.

Многочисленные эксперименты по ФРРС в кристаллах ниобата лития показали, что наиболее активной фоторефрактивной примесью являются ионы железа. В кристаллах с малой концентрацией железа (меньше 0,01 вес.%) – номинально чистых – эффект ФРРС от гелий-неонового лазера не проявляется. С концентрацией железа больше 0,01 вес.% проявляется ФРРС, причем с увеличением концентрации железа скорость появления ФРРС увеличивается и при концентрации железа 0,3 вес.% достигает максимального значения. В связи с этим в эксперименте используются кристаллы ниобата лития с концентрацией железа 0,3 вес.%.

Ниже приведены результаты исследований ФРРС в кристаллах $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$ (ионы железа имеют валентность Fe^{2+} , концентрация железа 0,3 вес.%; размеры кристалла $1,5 \times 10 \times 10$ мм вдоль кристаллографи-

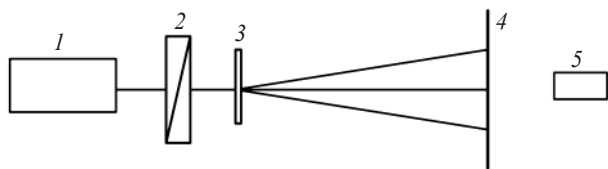


Рис. 1. Схема эксперимента по фоторефрактивному рассеянию света. 1 – лазер, 2 – поляризатор, 3 – кристалл, 4 – полупрозрачный экран, 5 – цифровая видеокамера.

ческих осей $x \times y \times z$ соответственно) при облучении коллинеарным (не фокусированным) пучком излучения лазера ЛГН 208А ($P = 2$ мВт, $\lambda = 0,6328$ мкм, $d = 2$ мм). Использовалось поляризованное и неполяризованное излучение. Выявлено влияние многократного термического отжига кристалла на ФРПС при температуре, достаточной для удаления оптически наведенных неоднородностей. Волновой вектор излучения направлен вдоль кристаллографической оси x или y перпендикулярно оси z . Картина рассеяния наблюдается на экране, расположенном на расстоянии 6 м от кристалла, и фиксируется цифровой видеокамерой (рис. 1).

При использовании поляризованного лазерного излучения ($\lambda = 0,6328$ мкм) достаточно малой мощности (1 мВт), когда угол между вектором напряженности электрического поля световой волны E и полярной осью кристалла равен нулю (взаимодействие ee -типа), происходит вытягивание (значительное увеличение размеров) на экране “лепестков восьмерки” вдоль полярной оси кристалла. От-

клонение рассеянных лучей в этом случае достигает 70° – 80° . Если вектор E перпендикулярен полярной оси кристалла, рассеяние (oo -типа) выражено значительно слабее (отклонение рассеянных лучей 5° – 10°).

Время облучения с неполяризованным лазерным излучением до полного раскрытия “лепестков восьмерки” составляет примерно 15 мин при первоначальном облучении. При повторных облучениях и последовательных отжигах в течение 30 мин при температуре 473 К время до полного раскрытия “лепестков восьмерки” увеличивается до 85 мин.

На рис. 2 представлены картины развития центральных пятен ФРПС, соответствующих проходящему через кристалл лучу. В случае неполяризованного лазерного излучения центральное пятно картины ФРПС несколько вытягивается вдоль полярной оси кристалла. Внутри пятна наблюдается определенная структура (рис. 2а, 2б). Угловая ширина пятна непрерывно увеличивается до насыщения (рис. 3). В течение облучения происходят пульсации центрального пятна. Пятно как бы “дышит”, при этом постоянно увеличиваясь в размерах до насыщения. Вероятно, в кристалле периодически происходит электрический пробой, при котором пятно скачком уменьшается в размерах, а затем вновь увеличивается (до следующего пробоя). Максимальная скорость развития ФРПС соответствует случаю, когда плоскость поляризации падающего излучения параллельна направлению полярной оси кристалла.

Отметим, что форма кривой угловой ширины центрального пятна от времени (рис. 2а) подобна кривой зависимости напряжения от времени $U(t)$ для

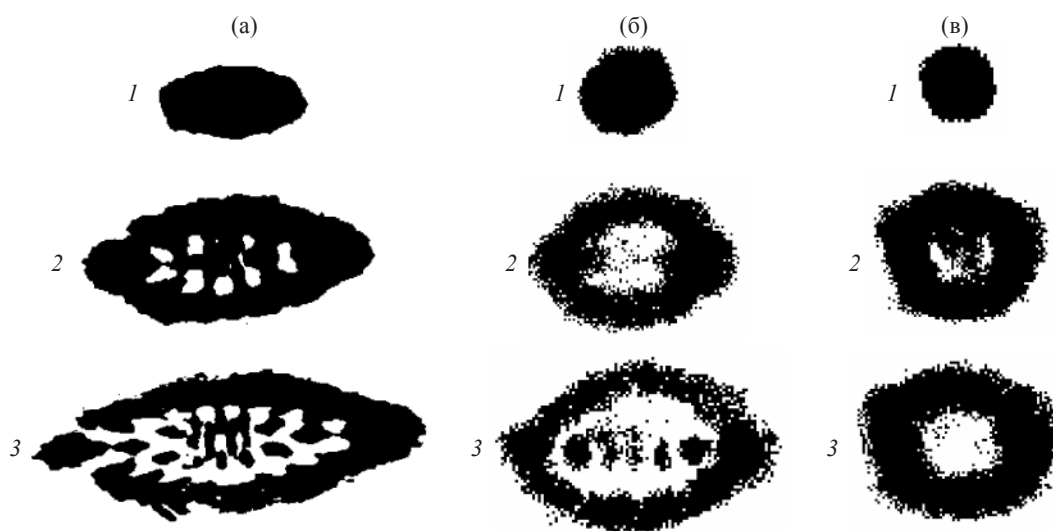


Рис. 2. Кинетика развития центрального пятна ФРПС в кристалле $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$ (0,3 вес.%). Излучение: а – неполяризованное, $P = 2$ мВт; б – неполяризованное, $P = 2$ мВт, после многократного отжига кристалла; в – поляризованное, $P = 1$ мВт, вектор E параллелен полярной оси кристалла, после многократного отжига кристалла. Время облучения: 1 – 30, 2 – 2400, 3 – 5400 с.

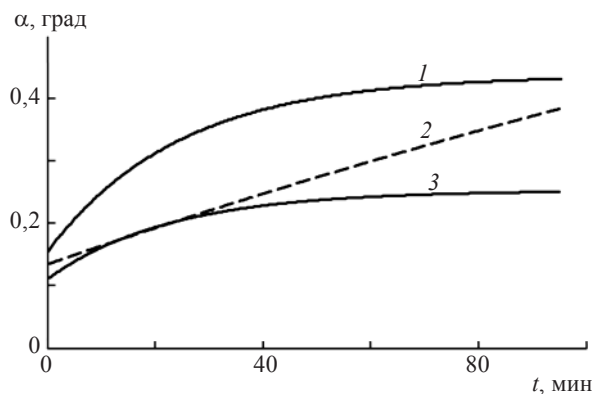


Рис. 3. Зависимость угловой ширины α центрального пятна ФРРС от времени. Излучение: 1 — неполяризованное, $P = 2$ мВт; 2 — неполяризованное, $P = 2$ мВт, после многократного отжига кристалла; 3 — поляризованное, $P = 1$ мВт, вектор $\mathbf{E}$ параллелен полярной оси кристалла, после многократного отжига кристалла.

фотовольтаического эффекта в кристалле $\text{LiNbO}_3\text{:Fe}$ (0,3 вес.%) [7], что подтверждает фотовольтаическую модель ФРРС.

При многократной термической обработке при температуре ниже температуры Кюри (для ниобата лития около 1473 К) фоторефрактивные свойства кристалла несколько ослабевают (рис. 2 и рис. 3), т. е. возникает эффект термической усталости кристалла, аналогичный электрическому старению кристаллов ниобата лития [11], которое наблюдается при повышенной температуре (473 К) в электрическом поле (2 кВ/см). Вероятно, это связано с увеличением электрической проводимости кристалла. При этом значительная часть электронов не может закрепиться на ловушках и электрическое поле в полном объеме в кристалле не создается, что приводит к ослаблению наведенной оптической неоднородности. Данный эффект хорошо подтверждается экспериментальными результатами, приведенными на рис. 2в.

ЛИТЕРАТУРА

1. Леванюк А.П., Осипов В.В. Механизмы фоторефрактивного эффекта // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1977. Т. 41. № 4. С. 752–769.
2. Кузьминов Ю.С. Сегнетоэлектрические кристаллы для управления лазерным излучением. М.: Наука, 1982. 400 с.
3. Волк Т.Р. Фотоэлектрические явления в фоторефрактивных сегнетоэлектриках // Автореф. докт. дис. М.: Институт кристаллографии РАН, 1995.
4. Magnusson R., Gaylord T.K. Laser scattering induced holograms in LiNbO_3 // Appl. Opt. 1974. V. 13. № 7. P. 1545–1548.
5. Обуховский В.В., Стоянов А.В. Фотоиндуцированное рассеяние света в кристаллах с локальным откликом // Физика твердого тела. 1986. Т. 28. № 2. С. 405–411.
6. Степанов С.И., Петров М.П., Камшилин А.А. Дифракция света с поворотом плоскости поляризации на объемных голограммах в электрооптических кристаллах // Письма в ЖТФ. 1977. Т. 3. № 7. С. 849–854.
7. Иванов В.И., Карпец Ю.М., Сюй А.В. Кинетика фотовольтаического эффекта в легированных и нелегированных кристаллах ниобата лития // Бюлл. научн. сообщений / Под ред. Строганова В.И. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 1998. № 3. С. 83–86.
8. Скоблещкая О.В., Строганов В.И., Карпец Ю.М. Особенности фоторефрактивного рассеяния света в чистых и легированных кристаллах ниобата лития // Нелинейные процессы в оптических кристаллах. Межвуз. сб. науч. тр. / Под ред. Строганова В.И. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 1997. С. 4–17.
9. Карпец Ю.М., Максименко В.А., Скоблещкая О.В., Строганов В.И., Сюй А.В. Кольцевые структуры при фоторефрактивном рассеянии света в кристалле $\text{LiNbO}_3\text{:Fe}$ // Опт. и спектр. 2001. Т. 91. № 6. С. 966–967.
10. Карпец Ю.М., Строганов В.И., Марченков Н.В., Емельяненко А.В. Спекл-структура излучения, рассеянного фоторефрактивным кристаллом // Опт. и спектр. 1989. Т. 67. № 12. С. 982–985.
11. Блистанов А.А., Гераськин В.В., Макаревская Е.В., Третьяков М.П. Старение кристаллов ниобата лития // Физика твердого тела. 1983. Т. 25. № 6. С. 1660–1663.