

Исследование нелинейного дифракционного уширения лазерного пучка в кристаллах ниобата лития

В. Ю. Рябченко,* Е. А. Дмитриев, А. С. Перин, В. М. Шандаров†

*Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР),
радиотехнический факультет,
кафедра сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники
Россия, 634050, Томск, пр. Ленина, д. 40*

Исследовано влияние оптического поглощения на дифракционное уширение лазерного пучка в кристаллических образцах ниобата лития, легированного железом. Выявлен эффект частичной компенсации нелинейного уширения лазерного пучка за счет вклада пироэлектрического эффекта в нелинейный отклик, что связано с нагревом материала в освещенной области при длине волны света 532 нм.

PACS: 42.65.Jx УДК: 535.3/4

Ключевые слова: фоторефрактивный эффект, пироэлектрический эффект, ниобат лития.

Под действием света в электрооптических кристаллах возможны эффекты фотовозбуждения и перераспределения носителей заряда с последующим захватом темновыми ловушками в неосвещенной области, приводящие к модуляции показателя преломления вследствие линейного электрооптического эффекта [1]. Целью данной работы явилось исследование нелинейной дифракции лазерного пучка, как отклика среды на световое воздействие.

В экспериментах исследовался образец фоторефрактивного кристалла ниобата лития, легированного ионами железа по объему, с размерами $10 \times 2 \times 11$ мм по осям $X \times Y \times Z$ соответственно. На полированную грань кристалла фокусировался лазерный пучок с длиной волны 532 нм при мощности излучения 0.5–2 мВт. Для фокусировки использовалась линза с фокусным расстоянием 4 см, при этом диаметр перетяжки, совмещенной с входной плоскостью кристалла, составлял ~ 30 мкм. Измерение распределения интенсивности в пучке, прошедшем через образец, осуществлялось анализатором лазерных пучков. Свет распространялся в направлении, параллельном оси Y кристалла, а его поляризация соответствовала обыкновенной волне.

В начальный момент времени экспонирования, световое поле на выходной грани имело форму, аналогичную его форме на входной грани. Спустя некоторое время, проявлялся эффект нелинейной дифракции пучка в направлении, параллельном оптической оси кристалла. Однако после достижения максимума дифракционной расходимости, картина светового поля на выходной плоскости образца постепенно возвращалась к первоначальному состоянию. Изображения световых полей на выходной плоскости исследуемого образца свидетельствуют о значительной компенсации нелинейного дифракционного расплывания светового пучка в кристалле.

Эволюция распределения интенсивности в поперечном сечении пучка на выходной грани кристалла при мощности излучения 0.5 мВт приведена на рис. 1.

Наблюдаемая в ходе эксперимента нелинейная дифракция пучка является следствием фоторефрактивного эффекта, вызванного перераспределением носителей заряда вдоль полярной оси кристалла. Наведенное электрическое поле пространственного заряда направлено вдоль оптической оси, что сказывается на изменении эллиптичности картины светового поля.

В последующие моменты времени ($t > 10$ с) наблюдается локализация световой мощности в центральной области картины, что указывает на частичную компенсацию нелинейной дифракционной расходимости пучка. Наиболее вероятной причиной наблюдаемой компенсации нелинейной дифракции является локальный нагрев образца, вызванный конечной величиной оптического поглощения кристалла в данной области спектра [1,2]. Вследствие нагрева в экспонируемой области проявляется пироэлектрический эффект, компенсирующий нелинейность показателя преломления, обусловленную фоторефрактивным эффектом. Ранее эффект компенсации дифракции узких световых пучков наблюдался в ниобате лития в условиях дрейфового механизма транспорта носителей заряда [3] или при однородном нагреве кристаллического образца [4]. Согласно нашим измерениям, коэффициент поглощения света в данном образце на длине волны света 532 нм составляет 2.4 см^{-1} .

В ходе экспериментов, в качестве количественной оценки временной эволюции светового поля в кристаллическом образце являлось изменение пиковой плотности мощности в световой картине на выходной плоскости образца. На рис. 2 представлены зависимости пиковой плотности мощности светового пучка от времени экспонирования на выходной плоскости образца при разных величинах мощности лазерного пучка.

Из приведенных зависимостей следует, что при увеличении мощности лазерного излучения скорость частичной компенсации нелинейной дифракции светового пучка возрастает, так же, как и степень ее компен-

*E-mail: vryabchenok@gmail.com

†E-mail: ShandarovVM@svch.rk.tusur.ru

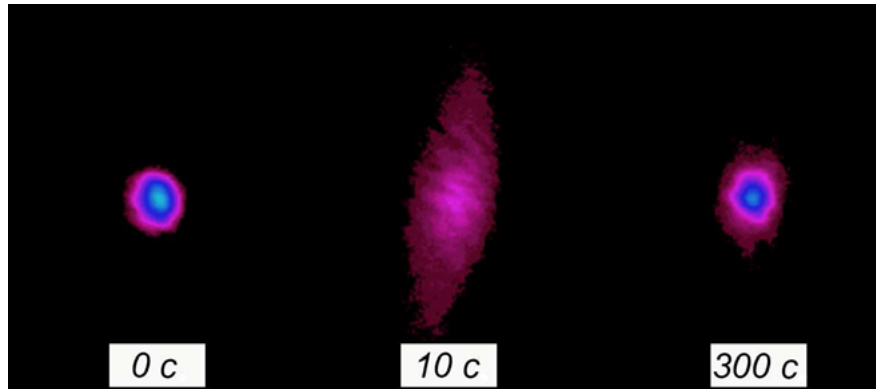


Рис. 1: Эволюция светового поля на выходной плоскости образца $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$ различные моменты времени при мощности излучения 0.5 мВт.

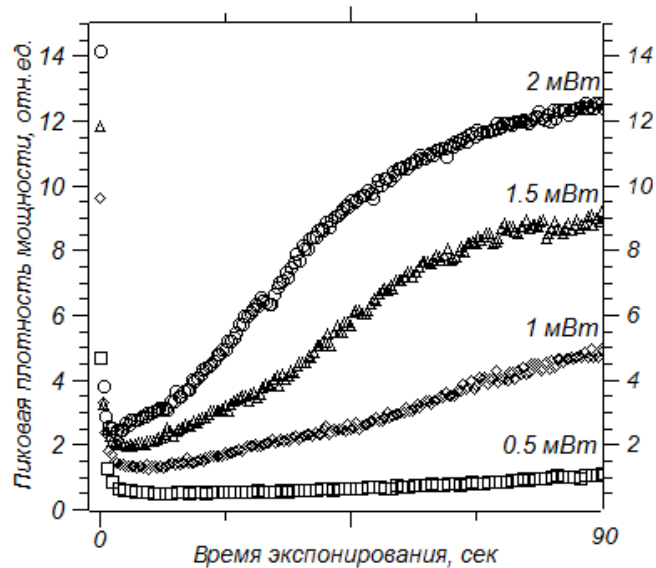


Рис. 2: Динамика изменения пиковой плотности мощности лазерного пучка на выходной грани кристалла во временном интервале 0–90 с при мощности излучения: 0.5, 1, 1.5, 2 мВт.

сации. Очевидно, это связано с увеличением температуры материала в освещенной области при возрастании световой мощности пучка.

Таким образом, в ходе исследований показана возможность частичной компенсации нелинейной дифракционной расходимости световых пучков в фоторефрак-

тивных поглощающих кристаллах. Это дает дополнительную возможность реализации в таких кристаллах и оптических волноводах на их основе полностью оптических операций и фотонных элементов.

Работа выполнена в рамках проектной части Госзадания Минобрнауки РФ (проект № 3.878.2014/К).

[1] Klaus H. Ringhofer et al. J. Opt. A: Pure Appl. Opt. E. **2**, N. 1. P. 306. (2000).

[2] Panotopoulos G. et al. J. Of App. Phys. E. **29**, N. 2. P. 793. (2002).

[3] Fazio E., et al. App. Phys. Let. **85**, N 12, P. 2193. (2004).

[4] Sajioui J. et al Optics express. **17**, N 24. P. 22209. (2009).

Investigation of nonlinear diffraction broadening of a laser beam in lithium niobate crystals

V. YU. Ryabchenok^a, Ye. A. Dmitriyev, S. B. Kozlov, A. S. Perin, V. M. Shandarov^b

*Department of Microwave and Quantum Radio Engineering, Faculty of Radio Engineering
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Tomsk 634050, Russia
E-mail: ^avryabchenok@gmail.com, ^bShandarovVM@svch.rk.tusur.ru*

The optical absorption influence on the diffraction broadening of a laser beam in iron-doped lithium niobate crystal samples has been studied. The effect of the partial compensation of the laser beam nonlinear diffraction broadening has been revealed which is due to the pyroelectric effect contribution into the nonlinear response because of the material heating within the illuminated region at light wavelength of 532 nm.

PACS: 42.65.Jx

Keywords: photorefractive effect, pyroelectric effect, lithium niobate.

Received 27.07.2015.

Сведения об авторах

1. Рябченко Владимир Юрьевич — аспирант, ассистент; тел.: (923) 407-18-11, e-mail: vryabchenok@gmail.com.
2. Дмитриев Евгений Александрович — студент; тел.: (923) 424-35-06, e-mail: d.e.a_03@mail.ru.
3. Козлов Сергей Борисович — студент; e-mail kozlovsb@gmail.com.
4. Перин Антон Сергеевич — канд. тех. наук, ассистент; тел.: (952) 802-36-40, e-mail: perinas@bk.ru.
5. Шандаров Владимир Михайлович — докт. физ.-мат. наук, профессор, профессор кафедры; тел.: (913) 109-18-55, e-mail: ShandarovVM@svch.rk.tusur.ru.