

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГАУССОВЫХ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ В ФОТОРЕФРАКТИВНОМ КРИСТАЛЛЕ ТИТАНАТА ВИСМУТА

Представлены экспериментальные исследования взаимодействия гауссовых световых пучков в фоторефрактивном кристалле титаната висмута при ортогональной геометрии распространения пучков. Определены параметры, влияющие на величину эффекта, а также пороговые значения напряженности приложенного к кристаллу электрического поля и интенсивности пучка накачки. Предложен способ оценки индуцированного нелинейного изменения показателя преломления в фоторефрактивной среде, который может быть применим для исследований локальных неоднородностей и дефектов фоторефрактивного кристалла.

Ключевые слова: фоторефрактивный эффект; гауссовы световые пучки; индуцированная неоднородность; самоотклонение.

The interaction of Gaussian light beams in a photorefractive crystal of bismuth titanate with the orthogonal geometry of beam propagation has been considered experimentally. The parameters affecting magnitude of the effect as well as the threshold of electrical voltage applied to the crystal and of the pump beam intensity have been defined. A method to estimate the induced nonlinear refractive index change in a photorefractive medium has been proposed. That is applicable for studies of local inhomogeneities and defects in photorefractive crystals.

Key words: photorefractive effect; Gaussian light beams; induced inhomogeneity; self-bending.

Постоянный интерес к процессам взаимодействия световых пучков в нелинейных средах связан с эффектом «управление светом с помощью света», который позволяет создавать различные элементы систем оптической обработки и передачи информации, осуществлять заданные преобразования волнового фронта лазерного излучения, изменять направление распространения и поляризацию световых пучков, управлять волноводным распространением лазерных импульсов, обеспечивать адресную доставку информационных сигналов и т. д. [1–4]. Среди большого разнообразия работ в этом направлении можно выделить исследования некогерентного взаимодействия световых пучков в средах с резонансной и тепловой нелинейностью, а также в фоторефрактивных кристаллах [5–7]. Резонансные среды отличаются высоким быстродействием, позволяя работать с пико- и наносекундными лазерными импульсами, в то время как фоторефрактивные кристаллы могут работать со световыми потоками микро- и нановаттной мощности. Отличительной особенностью указанных работ является исследование светоиндуцированных оптических неоднородностей из-за локального изменения показателя преломления среды, а значит, и возможности наблюдения в таких условиях полного внутреннего отражения, преломления или дифракции сигнального пучка.

В данной работе проведены экспериментальные исследования взаимодействия световых пучков в фоторефрактивном кристалле титаната висмута $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$, который характеризуется невысокой оптической активностью по сравнению с другими кристаллами семейства силленитов, а также хорошей светочувствительностью и высокой подвижностью носителей заряда, что позволяет достичь малых времен нелинейного отклика при низких интенсивностях лазерного излучения. Указанный кристалл является достаточно популярным фоторефрактивным кристаллом, в котором уже исследовалось взаимодействие и самовоздействие световых пучков, в частности, была продемонстрирована возможность солитонного распространения лазерных пучков микро- и нановаттной мощности [8, 9]. В работах [10, 11] было реализовано взаимодействие двух сонаправленных когерентных солитоноподобных пучков и продемонстрированы эффекты их притяжения, отталкивания и слияния. Отличительной особенностью исследований, выполненных в представленной работе, является ортогональная геометрия распростра-

нения гауссовых пучков в фоторефрактивном кристалле, позволяющая избежать ряда нежелательных эффектов, возникающих при сонаправленном их распространении.

Исследуемый монокристалл имел размеры $2,6 \times 6,5 \times 10,3$ мм, соответствующие кристаллографическим направлениям [111], [11-2] и [1-10]. Исследования взаимодействия световых пучков проводились на экспериментальной установке, схема которой представлена на рис. 1.

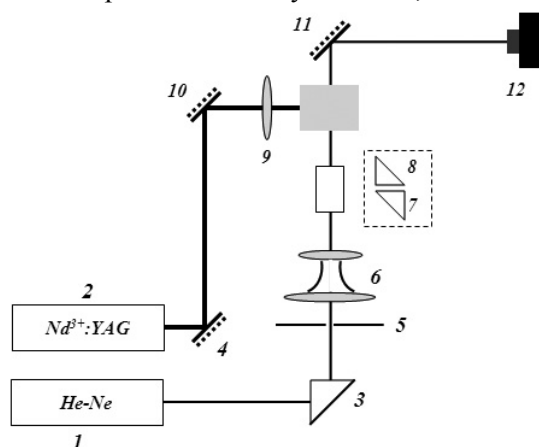


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для исследования некогерентного взаимодействия гауссовых световых пучков в фоторефрактивных кристаллах

В качестве пучка, создающего наведенную нелинейность в образце (пучка накачки), использовался твердотельный $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ лазер 2, работающий в непрерывном режиме на длине волны 532 нм, излучение которого заводилось через алюминиевые зеркала 4 и 10. Пучок накачки (мощностью 5–10 мВт) распространялся вдоль направления [1-10] с поляризацией, перпендикулярной направлению [111]. Зондирующий луч от гелий-неонового лазера 1 с длиной волны 632,8 нм и мощностью 1 мкВт через призму 3 распространялся вдоль направления [11-2] с поляризацией, параллельной направлению [111], и проходил перпендикулярно к лучу накачки на некотором расстоянии от его центра. По отклонению зондирующего пучка на созданной накачкой оптической неоднородности можно судить о величине нелинейного изменения показателя преломления. Отклонение от центра пучка накачки отвечает уменьшению показателя преломления (дефокусирующая нелинейность), а отклонение к центру пучка накачки означает увеличение показателя преломления (фокусирующий тип нелинейности). Выбор длин волн – 532 нм для пучка накачки и 632,8 нм для зондирующего пучка – вызван существенным увеличением поглощения кристалла титаната висмута при смещении от «красной» к «зеленой» области спектра.

В эксперименте к кристаллу прикладывалось напряжение, равное $E = 12$ кВ/см. Система из прямоугольных призм 7–8 позволяла перемещать зондирующий луч в исследуемом кристалле и изменять расстояние между осями пучков. С помощью телескопа 6 и диафрагмы 5, а также линзы 9 достигались необходимые диаметры исследуемых пучков. Пространственное положение зондирующего пучка фиксировалось на CCD-камере.

В ходе проведенных экспериментов было установлено, что величина отклонения зондирующего пучка зависит не только от расстояния между пучками и их диаметров, но также и от интенсивности пучка накачки, ориентации поляризаций исследуемых пучков, величины прикладываемого к фоторефрактивному кристаллу электрического поля. Так, пороговая величина напряженности внешнего электрического поля, при превышении которой наблюдался эффект, составила $E_{\text{пор}} = 5$ кВ/см. Эта величина практически совпала с пороговым напряжением, необходимым для наблюдения пространственных солитонов в кристаллах титаната висмута [8].

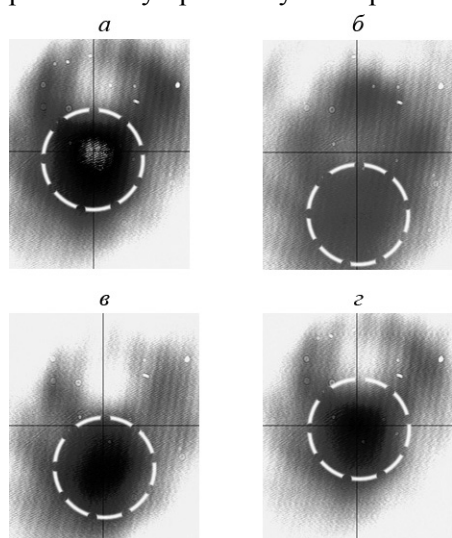


Рис. 2. Пространственная динамика зондирующего светового пучка: а – начальное положение; б – приложено электрическое поле; в – включена дополнительная засветка; г – выключено электрическое поле

Для выбранной схемы взаимодействия также были определены оптимальные для наблюдения эффекта взаимодействия диаметры зондирующего пучка и пучка накачки в области их пересечения в фоторефрактивном кристалле: 100 и 350 мкм соответственно. При этом следует отметить, что значительный эффект наблюдался при интенсивности пучка накачки выше 60 мВт/см^2 при интенсивности зондирующего пучка 10 мВт/см^2 .

Пример некогерентного взаимодействия гауссовых световых пучков при расстоянии между центрами пучков $D \approx 170$ мкм представлен на рис. 2, а–г.

Приведенные результаты иллюстрируют отклонение и деформацию зондирующего пучка при подаче на кристалл внешнего электрического поля (рис. 2, б), частичное обратное смещение зондирующего пучка в направлении к оси распространения после дополнительной засветки кристалла управляющим световым пучком (рис. 2, в) и полное восстановление начального положения зондирующего пучка после снятия электрического поля

(рис. 2, з). Причиной отклонения зондирующего светового пучка является изменение показателя преломления вследствие электрооптического эффекта, индуцируемого полем пространственного заряда, который создается в фоторефрактивном кристалле за счет дрейфа электронов при их фотовозбуждении в условиях пространственно неоднородной засветки.

Максимальный эффект отклонения зондирующего пучка наблюдался при поляризации, совпадающей с направлением внешнего поля, приложенного к кристаллу. Из полученных экспериментальных данных можно оценить угол отклонения зондирующего луча. Для случая, представленного на рис. 2, угол отклонения составляет $\varphi = \Delta x / L = 0,36$ мрад, где $\Delta x = 400$ мкм – величина отклонения луча в дальней зоне (на CCD-камере), $L = 1,1$ м – расстояние от кристалла до CCD-камеры. Исходя из приведенных данных величина изменения показателя преломления, наведенного пучком накачки, составила $\Delta n = 4 \cdot 10^{-4}$.

* * *

Таким образом, приведенные в работе экспериментальные результаты демонстрируют преимущества схемы ортогональной геометрии распространения двух взаимодействующих в фоторефрактивном кристалле световых пучков. Определены пороговые значения напряженности приложенного к кристаллу электрического поля и интенсивности пучка накачки. Показано, что рассмотренная схема взаимодействия наряду с эффектом отклонения одного светового пучка под действием другого позволяет оценить нелинейное изменение показателя преломления и может быть полезна для определения локальных неоднородностей и дефектов фоторефрактивного кристалла. Полученные результаты представляют также интерес для анализа процесса записи изображений и построения систем оптической обработки и адресации информации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Matusevich A., Krasnoberski A., Khmel'nitski D., Kiessling A., Kowarschik R. Some aspects of fanning, self-focusing and self-defocusing in photorefractive $Ba_{0,77}Ca_{0,23}TiO_3$ crystal // J. of Optics A: Pure Appl. Opt. 2003. Vol. 5. P. S507–S513.
2. Tolstik A. L., Borzdov N. G., Matusevich A. Y., Melnikova E. A., Sukhorukov A. P. Multiwave mixing and soliton-like spatial structures in photorefractive crystals // Nonlinear Optics Applications, Proc. SPIE, 2005. Vol. 5949. P. 334–341.
3. Borzdov N. G., Kiessling A., Khmel'nitskiy D. A., Matusevich A. Yu., Pismennaya K. A., Tolstik A. L. Multiwave mixing and spatial solitons in photorefractive $Bi_{12}TiO_{20}$ crystals // ICONO 2005: Nonlinear Space-Time Dynamics, Proc. of SPIE, 2006. Vol. 6255. P. 0B-1–0B-6a.
4. Zozulya A. A., Saffman M., Anderson D. Z. Propagation of light beams in photorefractive media: fanning, self-bending, and formation of self-pumped four-wave-mixing phase conjugation geometries // Physical Review Letters. 1994. Vol. 73, № 6. P. 818–821.
5. Горбач Д. В., Романов О. Г., Сухоруков А. П., Толстик А. Л. Формирование динамических волноводных структур в средах с тепловой и резонансной нелинейностью // Известия РАН. Сер. физическая. 2011. Т. 75, № 12. С. 1733–1736.
6. Горбач Д. В., Романов О. Г., Сухоруков А. П., Толстик А. Л. Нелинейное взаимодействие и отражение некогерентных световых пучков // Известия РАН. Сер. физическая. 2010. Т. 74, № 12. С. 1706–1710.
7. Лобанов В. Е., Сухоруков А. П. Эффект параметрического отражения в квадратичных одноосных кристаллах с двулучепреломлением // Известия РАН. Сер. физическая. 2008. Т. 72, № 12. С. 1597–1600.
8. Габрусева Т. В., Мельникова Е. А., Сухоруков А. П., Толстик А. Л. Формирование низкоинтенсивных пространственных солитонов в фоторефрактивном кристалле $Bi_{12}TiO_{20}$ // Известия РАН. Сер. физическая. 2006. Т. 70, № 12. С. 1745–1747.
9. Кашин О. А., Шандаров С. М., Курилкина С. Н., Ропот П. И., Толстик А. Л. Самовоздействие световых пучков в кристаллах силленитов срезом (112) // Известия РАН. Сер. физическая. 2006. Т. 70, № 12. С. 1748–1751.
10. Garcia-Quirino G. S. Observation of interaction forces between one-dimensional spatial solitons in photorefractive crystals // Opt. Lett. 1997. Vol. 22, № 3. P. 154–156.
11. Shepelevich V. V., Golub A. A., Kowarschik R., Kiessling A., Matusevich V. Incoherent interaction of Gaussian beams in photorefractive optically active crystals // Appl. Phys. B. 2008. Vol. 90, № 1. P. 149–153.

Поступила в редакцию 24.12.13.

Татьяна Алексеевна Корниенко – студентка 5-го курса физического факультета.

Юрий Иванович Миксюк – кандидат физико-математических наук, доцент, проректор по экономике Белорусского государственного технологического университета.

Константин Алексеевич Саечников – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей физики Белорусского государственного педагогического университета.

Алексей Леонидович Толстик – доктор физико-математических наук, профессор, проректор по учебной работе БГУ.