

УДК 535.34

Т. А. Корниенко, студентка (БГУ);**Ю. И. Миксюк**, кандидат физико-математических наук, доцент (БГТУ);**К. А. Саечников**, кандидат физико-математических наук, доцент (БГПУ)**РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ
В ФОТОРЕФРАКТИВНЫХ КРИСТАЛЛАХ ТИТАНАТА ВИСМУТА**

Экспериментально исследованы процессы самофокусировки гауссовых световых полей и образования экранирующих солитоноподобных структур в фоторефрактивном кристалле $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ (ВТО) сечения $[111]$, $[11-2]$, $[1-10]$. Продемонстрирован основной сценарий преобразования поперечного профиля пучка и определена необходимая экспозиция для формирования устойчивой структуры пучка. Представлен пример и подобраны оптимальные параметры для некогерентного взаимодействия двух гауссовых световых пучков при ортогональной геометрии распространения в кубическом фоторефрактивном кристалле, помещенном во внешнее электрическое поле.

The self-focusing processes of Gaussian light fields and the formation processes of screening soliton-like structures have been researched in photorefractive crystals $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ (ВТО) with section $[111]$, $[11-2]$, $[1-10]$ experimentally. The basic scenario of transformation transverse beam profile has been demonstrated and the necessary exposure for forming sustainable beam structure has been determined. The optimal settings for non-coherent interaction of two Gaussian light beams with orthogonal propagation geometry have been selected for cubic photorefractive crystals placed in external electric field.

Введение. Интерес, проявляемый в последнее время к пространственным фоторефрактивным солитонам, обусловлен весьма низкой мощностью, требуемой для их реализации (порядка несколько десятков нановатт), а также возможностью использования солитонов для формирования управляемых волноводных структур в фоторефрактивных кристаллах [1, 2]. При этом существует возможность динамического изменения созданного волновода путем варьирования таких параметров, как приложенное к кристаллу напряжение или интенсивность дополнительной фоновой засветки.

Фоторефрактивные кристаллы семейства силленитов (силикат и титанат висмута) характеризуются хорошей светочувствительностью и высокой подвижностью носителей заряда, что позволяет достичь малых времен нелинейного отклика при низких интенсивностях лазерного излучения. При этом используемые в работе кристаллы титаната висмута $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ (ВТО) выгодно отличаются невысокой оптической активностью по сравнению с другими кристаллами семейства силленитов. Теоретический анализ показал, что для определенных сечений кристалла условия образования солитона в присутствии эффекта вращения плоскости поляризации облегчаются в сравнении со средой без оптической активности [3]. Интерес к исследованию распространения световых пучков в фоторефрактивных кристаллах вызван все более расширяющейся областью их применения и переходом к разнообразным структурам светового поля, включая пространственные солитоны и сингулярные пучки.

Целью настоящей работы является исследование особенностей преобразования пространственной структуры гауссовых световых полей в процессе их распространения в среде с фоторефрактивной нелинейностью.

Основная часть. Анализ распространения световых пучков в нелинейных средах связан с выяснением устойчивости их пространственной структуры. Особый интерес представляют условия, при которых происходит самофокусировка пучка и формирование солитонов. При выполнении эксперимента в первую очередь была отработана методика исследования преобразования световых пучков с характерными размерами на уровне нескольких десятков микрон при их распространении в электрооптическом кристалле в условиях появления фоторефрактивного механизма нелинейного взаимодействия.

Используемый кристалл имеет размеры $2,6 \times 6,5 \times 10,3$ мм, соответствующие кристаллографическим направлениям $[111]$, $[11-2]$ и $[1-10]$. Световой пучок распространялся вдоль направления $[1-10]$ с поляризацией, параллельной направлению $[111]$. Для получения достаточно заметного фоторефрактивного эффекта из-за малости значений электрооптических коэффициентов кристалл ВТО был включен в электрическую схему, в которой к нему прикладывалось напряжение 14 кВ/см. Для этого на кристалл были нанесены электроды перпендикулярно оси $[111]$, посредством которых в кристалле создавалось электрическое поле в направлении $[111]$.

При этом поляризация светового пучка совпадала с направлением электрического поля.

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1. В качестве источника излучения использовали гелий-неоновый лазер 1, работающий в непрерывном режиме с длиной волны 633 нм. Интенсивность и поляризацию пучка регулировали с помощью системы светофильтров 2 и двух поляризаторов 3. Световой пучок фокусировался на переднюю грань кристалла собирающей линзой 4. Увеличенное с помощью линз 5 и 6 в два раза изображение переносилось с задней грани кристалла на ПЗС-матрицу (разрешение 9 мкм/пиксель). Из-за высокой фоточувствительности кристалла оптическая система из кристалла и линз помещалась в светозащищающий кожух.

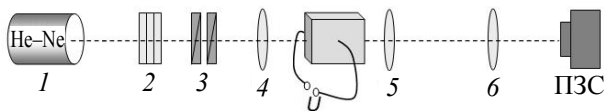


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для наблюдения солитоноподобных структур

Диаметр исследуемого пучка в перетяжке после входной линзы 4 составил 45–50 мкм.

На первом этапе работы были определены пространственно-временные характеристики распространения гауссового светового пучка в кристалле ВТО. Для этого использовались пучки с мощностями от 1 до 110 мкВт. Диаметр пучка на передней грани кристалла составлял 45 мкм.

Типичная динамика распространения гауссового светового пучка при небольшой мощности лазерного излучения представлена на рис. 2. Из рисунка видно, что при включении внешнего электрического поля интенсивность пучка начинает возрастать, происходит его небольшое сжатие в направлении поля, возникает самофокусировка исходного пучка и формирование солитоноподобной структуры. Структура может оставаться стабильной в течение часа.

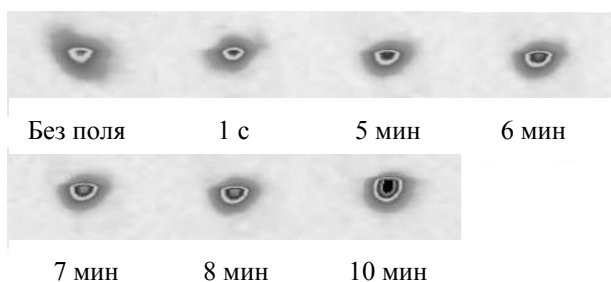


Рис. 2. Динамика распространения гауссового светового пучка в кристалле титаната висмута при мощности излучения 10 мкВт

При снятии внешнего электрического поля с кристалла канал самофокусировки сохраняется (рис. 3). Световой пучок можно перекрыть, а через некоторое время опять направить на кристалл, при этом поперечные и продольные размеры пучка остаются неизменными после включения источника излучения в течение длительного промежутка времени.

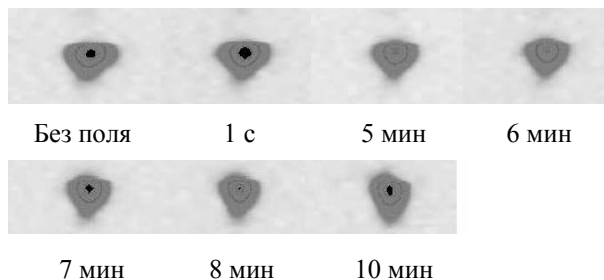


Рис. 3. Динамика пространственного профиля гауссового светового пучка при мощности излучения 10 мкВт после снятия напряжения

При более высоких мощностях излучения (порядка 100 мкВт) характер динамики распространения гауссового пучка в фоторефрактивном кристалле усложняется. При включении внешнего электрического поля происходит самофокусировка гауссового пучка за время порядка десятка секунд, при этом структура светового поля остается стабильной на протяжении нескольких минут. Однако после снятия внешнего напряжения с кристалла канал самофокусировки не сохраняется. Вместо описанных ранее процессов самофокусировки происходит полная дефокусировка с последующей релаксацией и восстановлением пучка до первоначальных размеров и интенсивности в течение нескольких десятков минут.

Из проведенных исследований динамики формирования солитоноподобных структур в кристалле титаната висмута установлена зависимость времени формирования устойчивой структуры от мощности излучения, падающего на кристалл. Необходимая экспозиция для гауссовых световых пучков составила 3,6 мДж. На рис. 4 представлена зависимость времени образования солитоноподобной структуры от мощности лазерного излучения.

На втором этапе работы была реализована схема поперечного зондирования для измерения светоиндуцированного изменения показателя преломления фоторефрактивного кристалла. Для этого в кристалл вдоль направления [11-2] посылалась дополнительная засветка от твердотельного $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$, работающего в непрерывном режиме на длине волны 532 нм (пучок накачки). Мощность такого пучка составляла 5–10 мВт. При этом световой пучок на

длине волны 633 нм (рис. 1) выполнял роль зондирующего пучка, и его мощность по сравнению с пучком накачки ослаблялась до 1 мкВт. Также из схемы регистрации (рис. 1) были убраны линзы 5 и 6, для того чтобы была возможность наблюдать отклонение зондирующего пучка в дальней зоне на ПЗС-матрице.

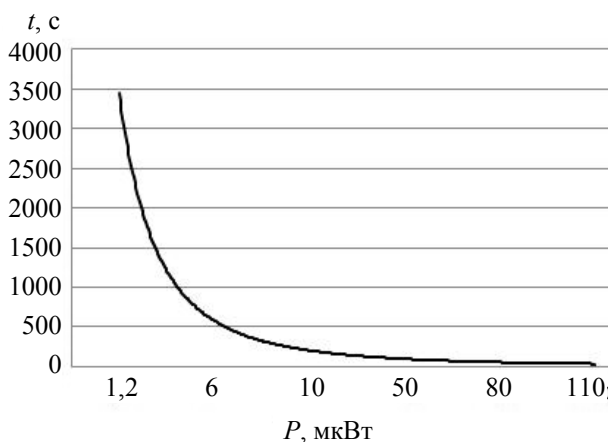


Рис. 4. Время образования солитоноподобной структуры в кристалле титаната висмута в зависимости от мощности светового пучка

Для выбранных интенсивностей световых пучков оптимальными для наблюдения эффекта взаимодействия являются следующие диаметры зондирующего пучка и пучка накачки: 100 и 350 мкм соответственно.

Зондирующий луч проходил перпендикулярно к лучу накачки на расстоянии D от его центра и отклонялся на созданной накачкой оптической неоднородности на угол φ . Знак угла отклонения зондирующего луча зависит от взаимных ориентаций поляризаций лучей и полярности прикладываемого электрического поля к образцу. Положительное значение угла (отклонение от центра пучка накачки) отвечает уменьшению показателя преломления под действием пучка накачки (дефокусирующая нелинейность). Отрицательное значение угла (отклонение к центру пучка накачки) означает

увеличение показателя преломления (фокусирующий тип нелинейности).

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:

$$\varphi = \Delta x / L = 400 \text{ мкм} / 1 \text{ м} = 0,4 \text{ мрад},$$

где Δx – величина отклонения луча в дальней зоне (на CCD-камере); L – расстояние до CCD-камеры. Тогда величина изменения показателя преломления, наведенного пучком накачки, составляет $\Delta n = 4 \cdot 10^{-4}$.

Заключение. Таким образом, проведенные экспериментальные исследования позволили определить общий сценарий распространения гауссовых световых пучков в фоторефрактивном кристалле титаната висмута. Время формирования стабильной солитонной структуры экспоненциально уменьшается с увеличением мощности светового пучка. На эффекте некогерентного взаимодействия двух гауссовых пучков продемонстрирован способ определения величины локализованной индуцированной оптической неоднородности в фоторефрактивном кристалле.

Результаты работы получены при выполнении государственной программы научных исследований «Электроника и фотоника», задание 2.2.09 (2011–2013).

Литература

1. Shih M., Segev M., Salamo G. Incoherent collisions between two-dimensional bright steady-state photorefractive spatial screening solitons // Opt. Lett. 1996. Vol. 21. P. 931–934.
2. Petter J., Denz C. Guiding and dividing waves with photorefractive solitons // Opt. Comm. 2001. Vol. 188. P. 55–61.
3. Two-beam coupling on the reflection grating in a $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ crystal / E. Yu. Ageev [et al.] // Quantum Electron. 2001. Vol. 31. P. 343–345.

Поступила 31.03.2014