

14. Импульсная запись коротко- и долгоживущих голографических решеток в кристаллах семейства силленитов

А. Л. Толстик¹, И. Н. Агишев¹, И. Г. Даденков¹, Ю. И. Миксюк², К. А. Саечников²

¹ Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь

² Белорусский государственный педагогический университет, Минск, Республика Беларусь

Проанализированы схемы импульсной записи динамических голограмм в фоторефрактивных кристаллах силиката и титаната висмута. Установлены два механизма записи динамических решеток, один из которых определяется локальным изменением характеристик среды при переходе электронов в зону проводимости и последующим заселением ловушечных уровней. Показано, что времена жизни таких динамических решеток существенно зависят от типа кристаллов, их допирования, интенсивности записывающего излучения, предыстории засветки и могут меняться от миллисекунд до секунд. Второй механизм записи основан на диффузионном распределении носителей заряда под действием света с временами релаксации на уровне сотен секунд.

Ключевые слова: Динамические голограммы, Фоторефрактивные кристаллы, Силлениты.

Цитирование: Толстик, А. Л. Импульсная запись коротко- и долгоживущих голографических решеток в кристаллах семейства силленитов / А. Л. Толстик, И. Н. Агишев, И. Г. Даденков, Ю. И. Миксюк, К. А. Саечников // HOLOEXPO 2018 : XV международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. — С. 63–65.

Одним из существенных преимуществ кубических фоторефрактивных кристаллов семейства силленитов ($\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$, $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$, $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$) является формирование в них динамических голограмм в реальном масштабе времени. Это определяет их использование в адаптивных интерферометрах, оптических датчиках ассоциативных устройств, цифровой микроскопии, для оптической записи, хранения и обработки информации, усиления оптических изображений и др. Физические процессы записи голограмм в указанных средах основаны на перераспределении зарядов в кристаллах под действием света по многочисленным дефектным центрам, имеющим разнообразную природу возникновения и характеристики. При этом фоторефрактивные кристаллы позволяют работать как с непрерывным, так и с импульсным (нано- и пикосекундным) лазерным излучением [1–5].

В настоящем докладе приведен обзор результатов исследования процессов формирования и релаксации коротко- и долгоживущих голографических решеток в фоторефрактивных кристаллах семейства силленитов со сложной структурой дефектных центров в условиях импульсного возбуждения.

Запись динамических решеток осуществлялась импульсами второй гармоники излучения лазера на иттрий-алюминиевом гранате (длина волны 532 нм) с длительностью импульса 20 нс. Система зеркал с диэлектрическим напылением формировала близкие по интенсивности сигнальные и опорные волны, которые записывали решетку в выбранном фоторефрактивном кристалле (силикат или титанат висмута). Считывание дифракционной решетки проводилось непрерывным излучением гелий-неонового лазера (длина волны 632,8 нм), которое направлялось на кристалл под углом Брэгга. Система регистрации на основе кремнивого p-i-n-фотодиода и цифрового осциллографа поз-

воляла отслеживать изменения интенсивности дифрагированного пучка и, следовательно, процессы релаксации динамической решетки.

Типичная осциллограмма дифрагированного излучения гелий-неонового лазера при записи голографических решеток в кристаллах силиката висмута приведена на рис. 1. Видно, что дифрагированный пучок имеет максимальную интенсивность практически сразу после прекращения записи голограммы, затем интенсивность пучка спадает до нуля в течение нескольких секунд. При записи решеток в кристаллах титаната висмута подобная зависимость сохраняется, только время жизни решетки уменьшается на один — два порядка (характерные времена составляют десятки и сотни миллисекунд).

Анализ полученных экспериментальных результатов показал, что запись динамических решеток в фоторефрактивных кристаллах реализуется по двум механизмам. В первом случае, который наиболее четко проявляется при записи фоторефрактивных решеток мощ-

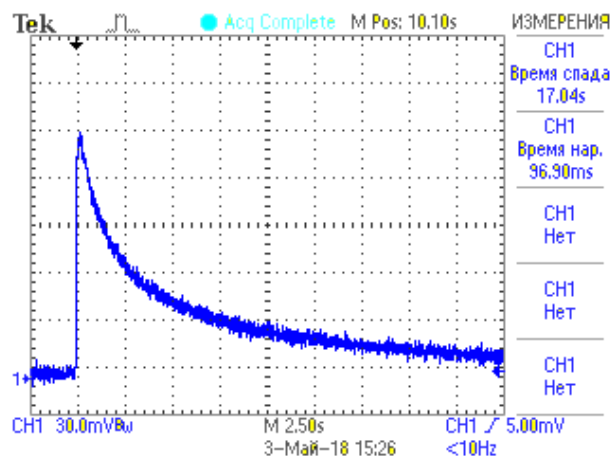


Рис. 1. Типичная осциллограмма дифрагированного излучения при записи динамических решеток в кристалле силиката висмута

ными наносекундными импульсами, имеет место светово-индуцированное изменение коэффициента поглощения, связанное с заселением короткоживущих ловушек в запрещенной зоне кристалла. Дифрагированный пучок имеет максимальную интенсивность сразу после прекращения записи голограммы. Затем интенсивность дифрагированного пучка падает до нуля. Показано, что динамика процесса релаксации фоторефрактивной решетки существенно зависит от типа используемых кристаллов, их легирования и предварительной засветки, при этом времена жизни динамической решетки могут меняться от миллисекунд до секунд. Такие результаты находятся в хорошем согласовании с экспериментальными данными по динамике фотоиндуцированного поглощения, что позволяет сделать вывод о локальном механизме записи дифракционных решеток за счет изменения коэффициента поглощения и показателя преломления вследствие увеличения числа носителей заряда в зоне проводимости и дальнейшей их релаксации по дефектным центрам. Этот вывод подтверждает и сравнение зависимостей, полученных для допированных и недопированных кристаллов. Установлено, что допирование кристалла и связанное с этим увеличение числа примесных центров, существенно (на порядок) увеличивает эффективность дифракции. На амплитуду дифрагированного сигнала также влияет и предыстория засветки, определяющая начальное заселение ловушечных уровней.

Второй механизм записи динамических решеток в фоторефрактивных монокристаллах силиката и титаната висмута являлся классическим и основывается на появлении поля пространственного заряда при диффузионном распределении носителей заряда под дей-

ствием света. Пространственно модулированное электрическое поле приводило к модуляции показателя преломления за счет проявления электрооптической нелинейности (эффект Поккельса). Такой механизм записи фоторефрактивных решеток осуществлялся при использовании как непрерывного лазерного излучения, так и маломощных световых импульсов с частотой повторения 10 Гц. Динамические решетки в данном случае оказываются долгоживущими с временами релаксации на уровне 100–1000 секунд, а эффективность дифракции существенно зависит от ориентации кристалла и поляризации записывающих дифракционную решетку волн.

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования позволили определить основные закономерности импульсной записи динамических голограмм в фоторефрактивных кристаллах семейства силлиитов. Выделены два механизма записи динамических решеток. Локальный механизм определяется изменением характеристик среды при переходе электронов в зону проводимости и последующим заселением ловушечных уровней. Такой эффект достигался при записи решетки мощными одиночными наносекундными импульсами. При этом времена жизни динамической решетки существенно зависят от типа кристаллов, их допирования, интенсивности записывающего излучения, предыстории засветки и могут меняться от миллисекунд до секунд. Такие результаты находятся в хорошем согласии с экспериментальными результатами по фотоиндуцированному поглощению. Второй механизм записи основан на диффузионном распределении носителей заряда под действием света с временами релаксации на уровне сотен секунд.

Список источников

- [1] **Hermann, J. P.** Nanosecond four-wave mixing and holography in BSO crystals / J. P. Hermann, J. P. Herriau, J. P. Huignard // *Applied Optics*. — 1981. — Vol. 20. — P. 2173–2174.
- [2] **Jones D. C.** Competition between subharmonic and signal beams for photorefractive gain in BSO with two pump beams / D. C. Jones, S. F. Lyuksyutov, L. Solymar // *Applied Physics B*. — 1991. — Vol. 52. — P. 173–175.
- [3] **Partanen, J. P.** Comparison between holographic and transient-photocurrent measurements of electron mobility in photorefractive $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ / J. P. Partanen, P. Nouchi, J. M. C. Jonathan, R. W. Hellwarth // *Physical Review B*. — 1991. — Vol. 44. — P. 1487–1491.
- [4] **Murillo, J. G.** Photorefractive grating dynamics in $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ using optical pulses / J. G. Murillo // *Optics Communications*. — 1999. — Vol. 159. — P. 293–300.
- [5] **Stankevich A. V.** Photoinduced absorption in bismuth titanate crystals on nano- and picosecond excitation / A. V. Stankevich, A. L. Tolstik, H. K. Haider // *Technical Physics Letters*. — 2011. — Vol. 37. — P. 746–749.

Pulse recording of short- and long-lived holographic gratings in crystals of the sillenite type

A. L. Tolstik¹, I. N. Agishev¹, I. G. Dadenkov¹, Y. I. Miksiuk², K. A. Saechnikov²

¹ Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

² Belarusian State Pedagogical University, Minsk, Republic of Belarus

The schemes of pulse recording of dynamic holograms in photorefractive bismuth silicate and bismuth titanate crystals are analyzed. There are two mechanisms for recording dynamic gratings. The first recording mechanism is determined by a local change in the characteristics of the medium during the transition of electrons to the conduction band and subsequent settling of the trap levels. The lifetimes of such dynamic gratings essentially depend on the type of crystals, their doping, the intensity of the recording radiation, the backlight history and can vary from milliseconds to seconds. The second recording mechanism is based on the diffusion distribution of charge carriers under the influence of light with relaxation times at the level of hundreds of seconds.

Keywords: Dynamic holograms, Photorefractive crystals, Sillenites.