

НОЛОЕХРО 2019

XVI МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ПО ГОЛОГРАФИИ И ПРИКЛАДНЫМ
ОПТИЧЕСКИМ ТЕХНОЛОГИЯМ

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ



НОЛОЕХРО 2019

XVI International Conference
on Holography and Applied
Optical Technologies

Proceedings

14. Фотоиндуцированные процессы и импульсная запись динамических голограмм в кристаллах силиката и титаната висмута

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

¹Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь

²Белорусский государственный педагогический университет, Минск, Республика Беларусь

Проанализированы фотоиндуцированные процессы в кристаллах силиката и титаната висмута при записи динамических голограмм лазерными импульсами наносекундной длительности. Установлены два механизма динамики наведенного поглощения и записи динамических голограмм в фоторефрактивных кристаллах, связанных с заселением коротко- и долгоживущих ловушечных уровней с временами жизни, отличающимися на несколько порядков. Показано, что вклад каждого механизма при формировании голограмм существенно зависит от интенсивности лазерного излучения, при этом появляется возможность оптического управления временем релаксации динамических голограмм в диапазоне от сотни микросекунд до нескольких секунд.

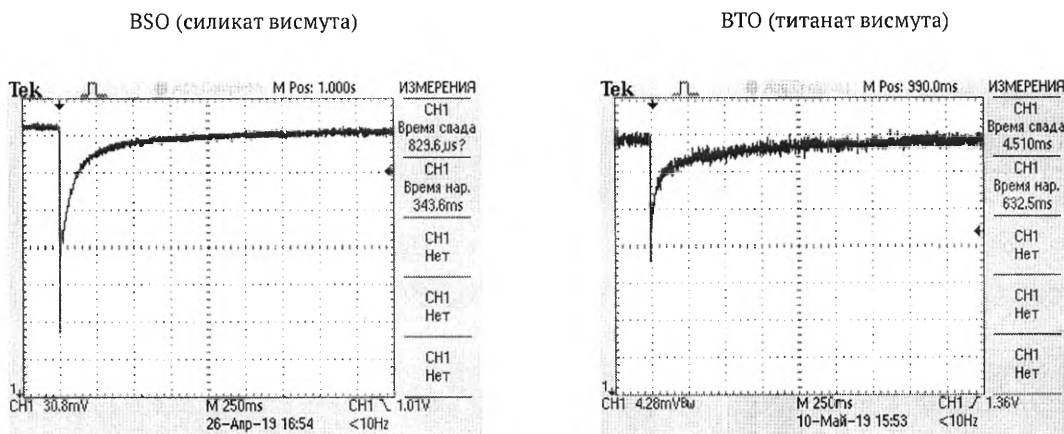
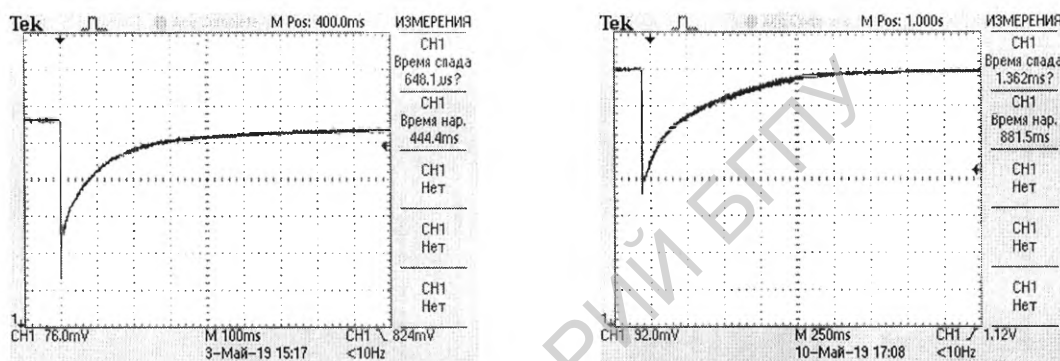
Ключевые слова: Динамические голограммы, Фоторефрактивные кристаллы, Силлениты.

Интерес к фоторефрактивным кристаллам семейства силленитов (силикат висмута — $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$, титанат висмута — $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$, германат висмута — $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$) обусловлен возможностью записи динамических голограмм при использовании, как непрерывного (на уровне милливатт и микроватт), так и импульсного (мегаватты) лазерного излучения [1–5]. Столь широкий диапазон интенсивностей определяет весьма разнообразные области использования кристаллов семейства силленитов: адаптивная интерферометрия, оптическая запись, хранение и обработка информации, оптические датчики, системы управления лазерными пучками и усиления оптических сигналов и изображений. Фотондуцированные процессы приводят к перераспределению электронов по многочисленным дефектным центрам, имеющим разнообразную природу возникновения и характеристики, при этом запись динамических голограмм может определяться как локальным механизмом нелинейности, связанным с заселением различных уровней, так и нелокальным механизмом, определяемым диффузией электронов в зоне проводимости и последующей рекомбинацией с переходом на короткоживущие или долгоживущие ловушечные уровни, а также в валентную зону.

В настоящей работе приведены результаты исследования фотоиндуцированных процессов, приводящих к записи динамических голограмм в кристаллах семейства силленитов со сложной структурой дефектных центров. Проанализирована как динамика фотоиндуцированного поглощения, так и динамика формирования и релаксации голографических решеток в условиях возбуждения наносекундными лазерными импульсами.

Исследование динамики изменения коэффициента поглощения, динамики формирования и релаксации голографических решеток в кристаллах силиката и титаната висмута проводилось с использованием излучения лазера на иттрий-алюминиевом гранате (вторая гармоника) на длине волны $\lambda = 532$ нм с длительностью импульса 20 нс. Использовалась схема записи пропускающих решеток при интенсивностях лазерного излучения в диапазоне от 1 до 40 МВт/см². В качестве зондирующего пучка использовалось излучение гелий-неонового лазера на длине волны $\lambda = 632,8$ нм, которое при считывании объемных голографических решеток направлялось на кристалл под углом Брегга. Система регистрации на основе кремниевого р-і-n-фотодиода и цифрового осциллографа позволяла отслеживать изменения интенсивности прошедшего и дифрагированного световых пучков.

Проведенные экспериментальные исследования позволили определить степень затемнения фоторефрактивного кристалла, динамику изменения коэффициента поглощения, а также времена формирования и релаксации динамических решеток в зависимости от интенсивности возбуждающего излучения. Типичные осциллограммы для прошедшего светового пучка для кристаллов силиката и титаната висмута представлены на рис. 1, 2. Видно, что прошедший пучок имеет минимальную интенсивность практически сразу после прохождения лазерного импульса, затем интенсивность пучка возвращается к первоначальному значению в течение нескольких сотен микросекунд.

Рис. 1. Осциллограмма прошедшего излучения при интенсивности 10 МВт/см^2 Рис. 2. Осциллограмма прошедшего излучения при интенсивности 20 МВт/см^2

В результате компьютерной обработки измеренных кинетических зависимостей показана возможность описания процесса релаксации фотоиндуцированного поглощения с использованием двух подуровней с разными временами жизни. Релаксация с короткоживущего уровня описывается экспоненциальной функцией и время релаксации порядка миллисекунд, релаксация с долгоживущего уровня описывается гиперболой с характерным временем в несколько десятков миллисекунд.

Динамика формирования и релаксации динамических решеток иллюстрируется на рис. 3 - 5. Видно, что при сравнительно небольших интенсивностях ($\sim \text{МВт/см}^2$) дифрагированный пучок имеет максимальную интенсивность практически сразу после прекращения записи голограммы, затем интенсивность пучка падает до нуля в течение нескольких секунд. В то же время, при интенсивностях ($\sim 10 \text{ МВт/см}^2$) проявляется быстрая компонента с временем жизни порядка сотни микросекунд для кристаллов силиката висмута и десятки миллисекунд для титаната висмута.

BSO (силикат висмута)

ВТО (титанат висмута)

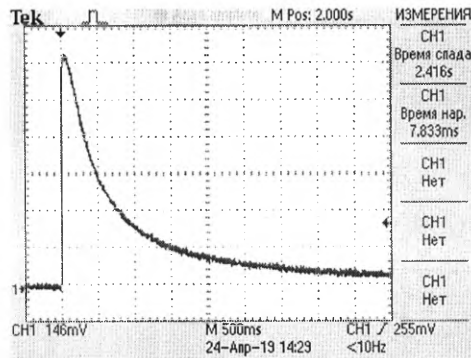
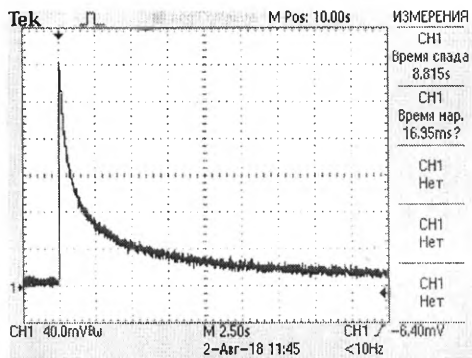


Рис. 3. Осциллограмма дифрагированного излучения при интенсивности 2 МВт/см²

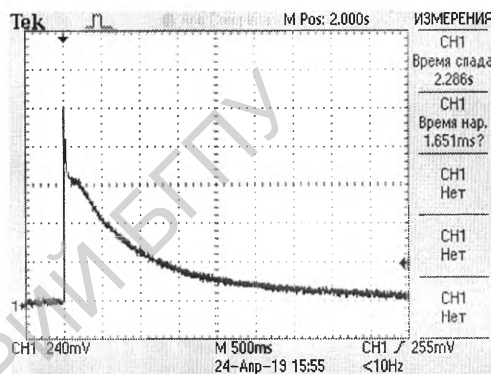
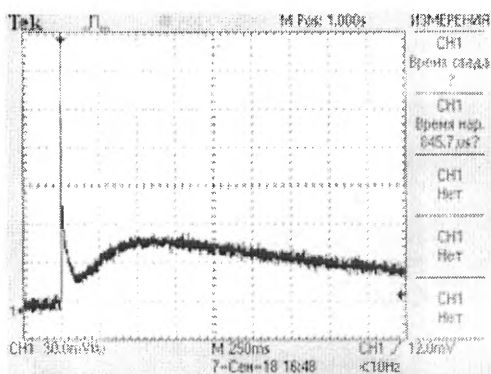


Рис. 4. Осциллограмма дифрагированного излучения при интенсивности 10 МВт/см²

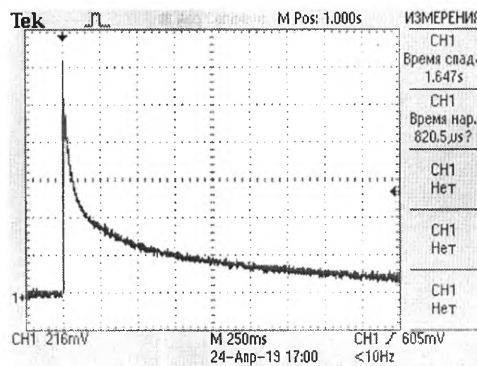
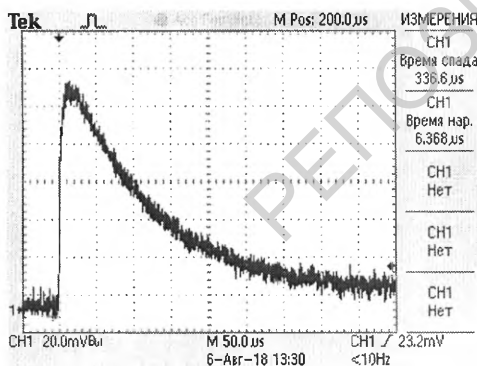


Рис. 5. Осциллограмма дифрагированного излучения при интенсивности 20 МВт/см²

Следует отметить, что наблюдаемые закономерности сохраняются для различных кристаллов силиката или титаната висмута, однако значения интенсивностей, при которых проявляется запись коротко- и долгоживущих решеток, зависят от выбранного образца и предыстории оптической засветки, которая влияет на исходное заселение ловушечных уровней.

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования позволили определить основные закономерности фотоиндуцированного поглощения и записи динамических голограмм в фоторефрактивных кристаллах силиката и титаната висмута при импульсном возбуждении. Выявлены два механизма, связанные с заселением коротко- и долгоживущих ловушечных уровней с временами жизни, отличающимися на несколько порядков. Показано, что вклад каждого механизма при формировании голограмм существенно зависит от интенсивности лазерного излучения. При сравнительно небольших

интенсивностях, меньших либо порядка МВт/см², фоторефрактивный отклик среды определяется долгоживущими ловушками с временами релаксации на уровне секунд. При интенсивностях, превышающих 10 МВт/см² определяющую роль играют короткоживущие ловушки с временем жизни порядка 100 мкс для кристаллов силиката висмута и 10 мс для титаната висмута. При этом количественные значения интенсивностей, при которых преимущественно заселяются коротко- и долгоживущие ловушечные уровни, зависят от конкретного образца. Такая зависимость объясняется наличием в кристаллах силленитов плохо контролируемых примесей и дефектов, обеспечивающих проявление фоторефрактивного отклика и существенно влияющих на положение и вероятности заселения ловушечных уровней.

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 Bi₁₂SiO₂₀ / 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 Bi₁₂SiO₂₀ 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.

Photoinduced processes and pulse recording of dynamic holograms in bismuth silicate and titanate crystals

A. L. Tolstik¹, I.G. Dadenkov¹, Yu.I. Miksiuk², K.A. Saechnikov²

¹ Belarusian State University, Minsk, Belarus;

² Belarusian State Pedagogical University, Minsk, Belarus;

The photoinduced processes in bismuth silicate and titanate crystals have been studied on recording of dynamic holograms by nanosecond laser pulses. Two mechanisms of the induced absorption dynamics and dynamic hologram recording have been established in photorefractive crystals, where the population lifetimes of short- and long-lived trapping levels are differing by several orders of magnitude. It has been demonstrated that a contribution of each mechanism to the hologram formation is greatly dependent on the intensity of laser radiation enabling one to realize the optical control of relaxation times for dynamic holograms over the range from hundreds of microseconds to several seconds.

Keywords: Dynamic holograms, Photorefractive crystals, Sillenites.