

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. Сачников²

¹ Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь

² Белорусский государственный педагогический университет, Минск, Республика Беларусь

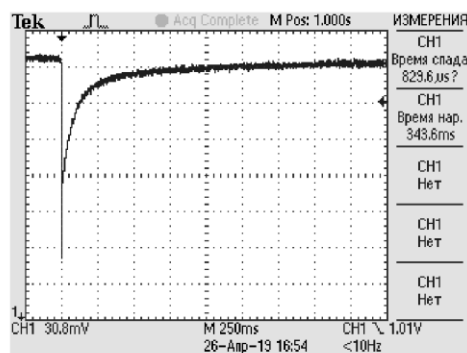
Проанализированы фотоиндуцированные процессы в кристаллах силиката и титаната висмута при записи динамических голограмм лазерными импульсами наносекундной длительности. Установлены два механизма динамики наведенного поглощения и записи динамических голограмм в фоторефрактивных кристаллах, связанных с 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.

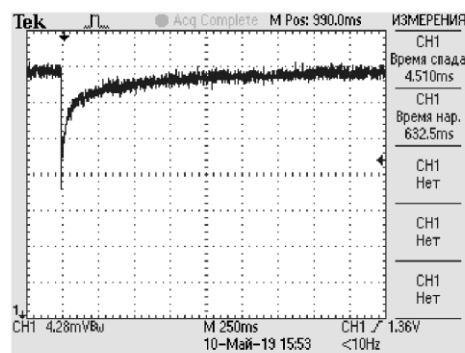
Цитирование: Толстик, А. Л. Фотоиндуцированные процессы и импульсная запись динамических голограмм в кристаллах силиката и титаната висмута / А. Л. Толстик, И. Г. Даденков, Ю. И. Миксюк, К. А. Сачников // HOLOEXPO 2019 : XVI международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2019. — С. 78–81.

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.

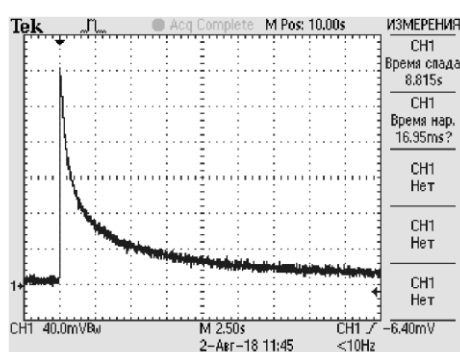
В настоящей работе приведены результаты исследования фотоиндуцированных процессов, приводящих к записи динамических голограмм в кристаллах семейства силленитов со



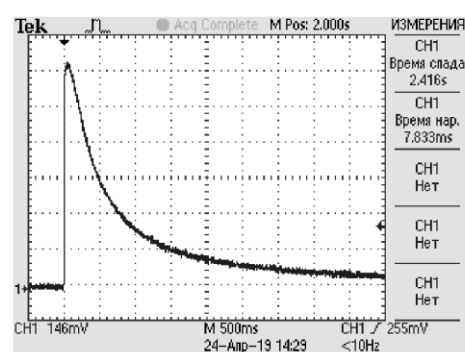
а) BSO (силикат висмута)



б) ВТО (титанат висмута)

Рис. 1. Осциллограмма прошедшего излучения при интенсивности 10 МВт/см²

а) BSO (силикат висмута)



б) ВТО (титанат висмута)

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

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-п-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 рисунках 1 и 2. Видно, что прошедший пучок имеет минимальную интенсивность практически сразу после

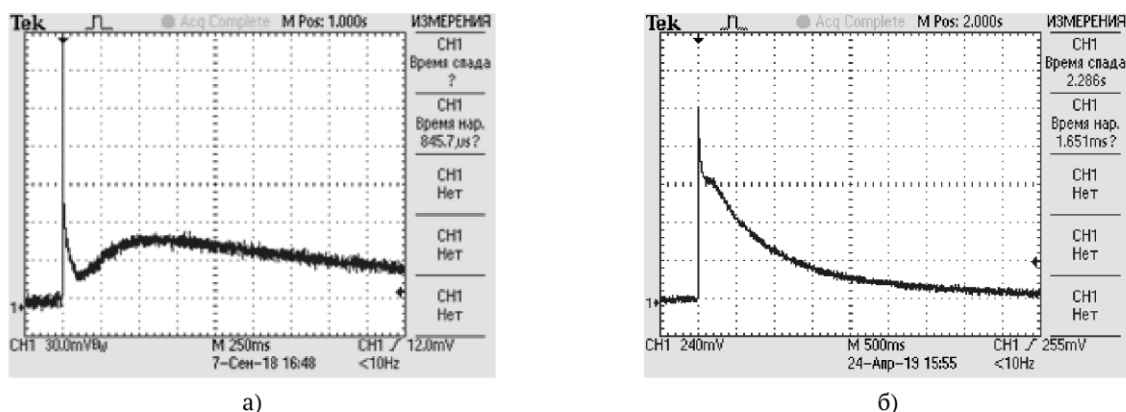


Рис. 4. Осциллограмма дифрагированного излучения при интенсивности 10 МВт/см^2

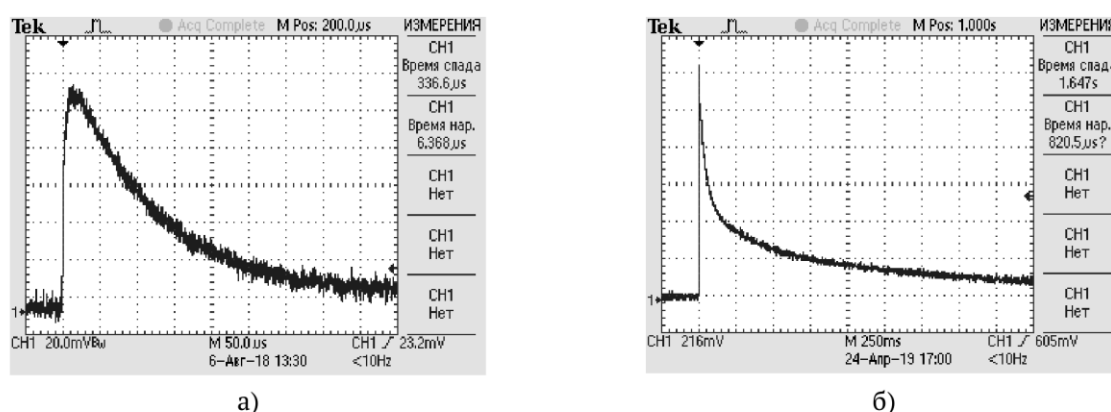


Рис. 5. Осциллограмма дифрагированного излучения при интенсивности 20 МВт/см^2

прохождения лазерного импульса, затем интенсивность пучка возвращается к первоначальному значению в течение нескольких сотен миллисекунд.

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 рисунках 3–5. Видно, что при сравнительно небольших интенсивностях ($\approx \text{МВт/см}^2$) 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 ($\approx 10 \text{ МВт/см}^2$) проявляется быстрая компонента с временем жизни порядка сотни микросекунд для кристаллов силиката висмута и десятки миллисекунд для титаната висмута.

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 предистории 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.