

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 11-02-00556а, 12-02-31690 мол\_а.

1. P. Polynkin, M. Kolesik, A. Roberts, *Optics Express*, **16**, №2, pp.15733-15740, (2008).
2. S. Akturk, B. Zhou, M. I. Franko, *Opt. Commun.*, **282**, pp.129-134, (2009).
3. О.Г.Косарева, Григорьевский, В.П.Кандидов, *Квантовая электроника*, **35**, №11, с.1013-1014, (2005).
4. E.O. Smetanina, A.E. Dormidonov, V.P. Kandidov, *Laser Physics*, **22**, №7, pp. 1189-1198, (2012).
5. С.В.Чекалин и др., *Квантовая электроника*, **43**, №4, с.326-331, (2013)

**ДИНАМИКА РЕЛАКСАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ  
В ФОТОРЕФРАКТИВНЫХ КРИСТАЛЛАХ  $Bi_{12}TiO_{20}$  И  $Bi_{12}SiO_{20}$   
Корниенко Т.А., Толстик А.Л., Саечников К.А.\* , Миксюк Ю.И.\***

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь  
\*Белорусский государственный педагогический университет им. М. Танка,  
Минск, Беларусь

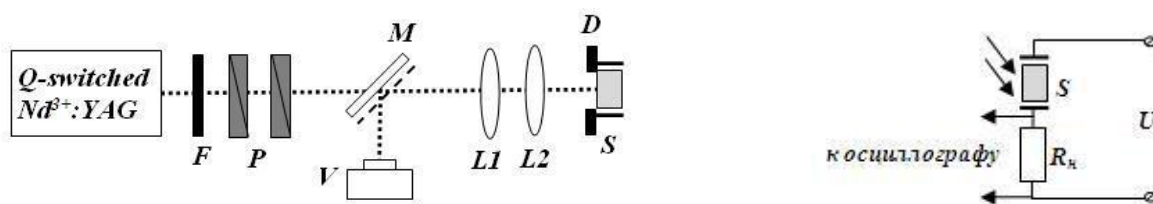
Исследованы кинетические характеристики фоторефрактивных кристаллов при засветке наносекундными лазерными импульсами. Представлен специальный метод прямых измерений фотопроводимости и оценка времен переходов коротко- и долгоживущих ловушечных уровней.

В связи с использованием фоторефрактивных кристаллов в различных системах управления лазерным излучением, оптической обработки и хранения информации<sup>1</sup> самостоятельный интерес представляют исследования динамики светоиндуцированных переходов в фоторефрактивных средах и последующих релаксационных процессов. Учитывая типичные времена жизни электронов в зоне проводимости и на ловушечных уровнях для измерения кинетических характеристик целесообразно использование нано- и пикосекундных лазерных импульсов. При этом наряду с изменением электропроводности, также могут проявляться фотохромные эффекты, обусловленные заселением долгоживущих дефектных или примесных уровней<sup>2</sup>. Для построения целостной динамической модели переходов в фоторефрактивных кристаллах целесообразно использование обобщенной информации как о динамике фотопроводимости, так и динамике фотохромных процессов.

В качестве фоторефрактивной среды в работе использовались кристаллы семейства силленитов: кристалл титаната висмута  $Bi_{12}TiO_{20}$  (ВТО) и кристалл силиката висмута  $Bi_{12}SiO_{20}$  (BSO). Указанные кристаллы характеризуются хорошей светочувствительностью, высокой подвижностью носителей заряда и довольно высокими электрооптическими коэффициентами по сравнению с другими фоторефрактивными средами.

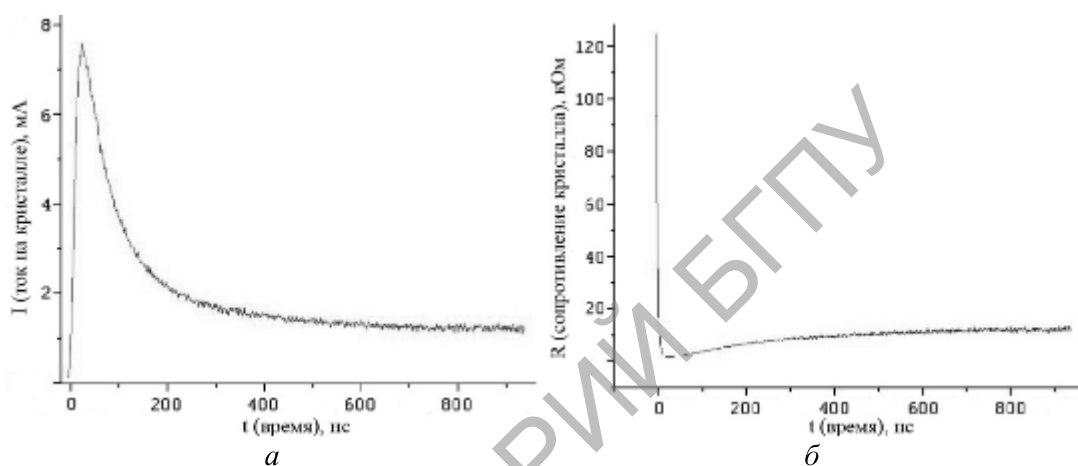
Для исследования динамики фотопроводимости в фоторефрактивных кристаллах ВТО и BSO была собрана схема, представленная на рис. 1. При этом фоторефрактивный образец был включен в электрическую цепь последовательно с сопротивлением нагрузки, к которым прикладывалось постоянное напряжение величиной 15 В. Кристалл засвечивался единичным лазерным импульсом, длительностью 15 нс с длиной волны 532 нм и пиковой мощностью на засвечиваемой грани образца в пределах от 10 кВт/см<sup>2</sup> до 50 кВт/см<sup>2</sup>. С нагрузочного сопротивления на цифровой осциллограф фиксировались сигналы изменения напряжения от времени, которые затем были пересчитаны в

зависимости фототока и сопротивления кристалла. Типичный вид указанных характеристик приведен на рис. 2.



**Рис. 1.** Схема экспериментальной установки:

*F* – фильтр СЗС-16 ( $T=0\%$  для  $\lambda=1064$  нм); *P* – система поляризаторов; *M* – полупрозрачное зеркало; *L1* – рассеивающая линза; *L2* – цилиндрическая линза; *D* – диафрагма; *S* – фоторефрактивный кристалл; *V* – измеритель мощности излучения

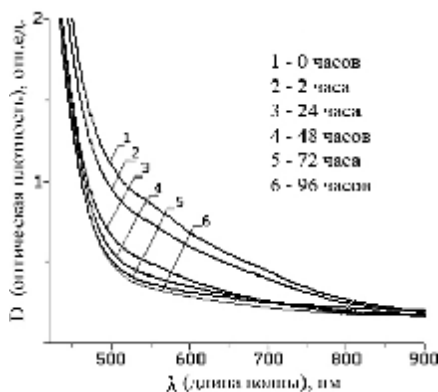


**Рис. 2.** Пример изменения динамики тока в кристалле BSO (*а*) и удельного сопротивления (*б*) при засветке кристалла импульсным излучением

Как можно увидеть, отклик кристалла состоит из двух компонент, одна из которых быстрая, а другая – медленная. Данные характеристики являются результатом процессов перехода электронов при фотовозбуждении из валентной зоны в зону проводимости и последующей релаксацией на долгоживущие энергетические уровни (ловушки), расположенные в запрещенной зоне. Из численной аппроксимации экспериментальных зависимостей можно утверждать, что времена переходов на некоторые ловушечные уровни в фоторефрактивных кристаллах имеют следующие значения: для кристалла *BTO* такие величины составляют  $\tau_{1\ BTO} = 20$  нс,  $\tau_{2\ BTO} = 0,5$  мкс, для кристалла *BSO* –  $\tau_{1\ BSO} = 120$  нс,  $\tau_{2\ BSO} = 13$  мкс. Приведенные результаты практически не зависят от мощности лазерной засветки и от поляризации лазерного излучения.

Характеристику о более длительных релаксационных процессах в кристалле титаната висмута дают эксперименты по фотоиндуцированному поглощению в кристалле. Схема экспериментальной установки аналогична приведенной на рис. 1. Пиковая интенсивность в импульсе на входной грани кристалла составляла от 0,04 до 1,6 МВт/см<sup>2</sup>. Частота следования импульсов была равна 10Гц.

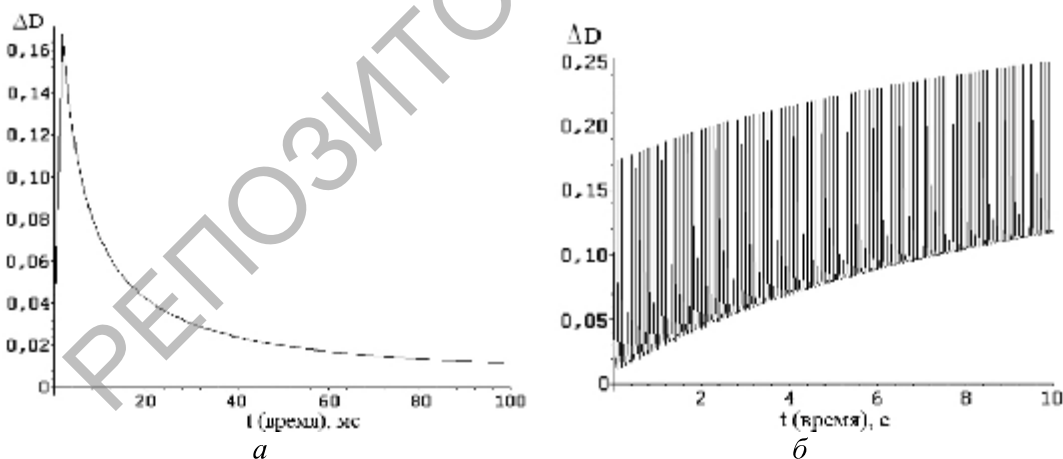
В ходе эксперимента было показано, что поглощение, инициированное в кристалле лазерным излучением, может сохраняться на протяжении длительного периода времени (нескольких суток). Подтверждающие зависимости изменения коэффициента поглощения от длины волны с течением времени после воздействия лазерного излучения на длине волны 532 нм на кристалл *BTO* приведены на рис. 3 Такие результаты говорят о наличии в структуре титаната висмута ловушек с временем жизни порядка 3-4 суток.



**Рис. 3.** Спектры оптической плотности кристалла ВТО в различные моменты времени после лазерной засветки

Для обобщения и систематизации полученных экспериментальных данных в работе была предложена теоретическая модель, которая включает зону проводимости, валентную зону, а также коротко- и долгоживущие ловушечные уровни.

Результаты расчетов, проведенных в приближении прямоугольной формы наносекундных лазерных импульсов, приведены на рис. 4. Из рис. 4а видно, что при возбуждении одиночным лазерным импульсом сначала наблюдается увеличение коэффициента поглощения, обусловленное заселением короткоживущих ловушечных уровней, а затем происходит релаксация, связанная с переходом электронов в валентную зону и на долгоживущие ловушечные уровни. К моменту прихода следующего импульса ( $t = 0,1$  с) величина остаточного поглощения составляет менее 10% от пиковой величины. Монотонное увеличение остаточного уровня поглощения, связанного с заселением долгоживущих ловушек, наблюдается при рассмотрении большого числа импульсов. Такая ситуация иллюстрируется на рис. 4б на примере ста импульсов.



**Рис. 4.** Динамика оптической плотности фоторефрактивного кристалла для одного (а) и ста (б) импульсов

Таким образом, в процессе проведенной работы определены характерные времена релаксационных переходов в наиболее популярных фоторефрактивных кристаллах семейства силленитов, исследованы кинетические закономерности для фотопроводимости и фотохромных эффектов при импульсном лазерном возбуждении. Полученные результаты могут быть использованы для анализа процесса записи изображений и построения систем оптической обработки информации.

1. M.P. Georges, V.S. Scauftaire, P.C. Lemaire, *Appl. Phys. B*, **72**, pp.761-765, (2001).
2. O.V. Kobozev, S.M. Shandarov, A.A. Kamshilin, V.V. Prokofiev, *J. Opt. A: Pure Appl. Opt.*, **1**, №1, pp.442-447, (1999).