

УДК 535.343.2

В.Г. Дю, О.А. Русякина, А.С. Акрестина, А.Л. Толстик, И.Н. Агишев

## Спектральные зависимости оптического поглощения, наведенного в кристаллах $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ и $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Ca}$ импульсным лазерным излучением с длиной волны 532 нм

Исследованы спектральные зависимости оптического поглощения, наведенного в кристаллах титаната висмута импульсным излучением с длиной волны 532 нм. Из экспериментов получено, что оптическое поглощение исследованных кристаллов в спектральном диапазоне 500–1000 нм возрастает, достигая максимальных значений при экспозициях, составляющих 500 Дж/см<sup>2</sup>.

**Ключевые слова:** фотоиндуцированное поглощение, титанат висмута, спектральная зависимость.

В последнее время отмечается бурное развитие фотоники, использующей свет в системах передачи, обработки, хранения и отображения информации. Имеется потребность в целом ряде таких приборов, как модуляторы и дефлекторы оптического излучения, преобразователи изображения, запоминающие устройства. В связи с этим усилились поиск и исследование материалов, физические и в частности оптические свойства которых весьма чувствительны к воздействию внешних факторов, таких как электрические и магнитные поля, механическое давление, сильное электромагнитное излучение.

В связи с этим представляет интерес изучение кристаллов класса силленитов  $\text{Bi}_{12}\text{MeO}_{20}$  (где  $\text{Me} = \text{Si}, \text{Ge}, \text{Ti}$ ), которые обладают фотопроводящими, фотохромными и фоторефрактивными свойствами и характеризуются высокой светочувствительностью [1, 2]. Освоение методики управления чувствительностью и быстродействием фоторефрактивного устройства должно значительно увеличить его функциональные возможности и расширить область практического применения. Возможным механизмом управления отмеченными параметрами может служить фотохромный эффект, заключающийся в обратимом изменении оптического поглощения кристаллов класса силленитов [2–4]. При фотохромном и фоторефрактивном эффектах облучение полупроводников и диэлектриков, а также приборов на их основе излучением из различных спектральных диапазонов (ультрафиолетовым, видимым и даже инфракрасным) вызывает устойчивые (хотя и обратимые) изменения их характеристик [2–5]. Происходящие под действием света обратимые изменения показателя преломления и оптического поглощения кристаллов силленитов связаны с перераспределением электронов по донорным и ловушечным центрам, имеющих различные зарядовые состояния и сечения фотоионизации [5]. Авторами [3] показано, что предварительная экспозиция нелегированного кристалла титаната висмута излучением с длиной волны 532 нм изменяет исходное распределение электронов по этим центрам и может приводить к увеличению их фоторефрактивной чувствительности в ближнем инфракрасном диапазоне.

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований спектральных зависимостей изменений оптического поглощения как для нелегированного кристалла  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ , так и для легированного кальцием образца  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Ca}$ , вызванных их засветкой импульсным лазерным излучением с длиной волны  $\lambda_e = 532$  нм, а также влияния на эти фотоиндуцированные изменения последующей засветки кристаллов непрерывным излучением с той же длиной волны.

**Методика и результаты эксперимента.** В экспериментах исследовались монокристаллические образцы  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$  (толщина 2,8 мм) и  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Ca}$  (толщина 1,2 мм), облучаемые лазерными импульсами с длиной волны  $\lambda_e = 532$  нм (вторая гармоника ИАГ-лазера). Длительность импульсов составляла 30–50 нс, частота следования импульсов – 10 Гц, средняя энергия одного импульса – 0,5 мДж. Спектры поглощения регистрировались с помощью спектрофотометра PV 1251C в диапазоне длин волн 500–1000 нм. Все эксперименты проводились при комнатной температуре.

На рис. 1 представлены спектральные зависимости коэффициента поглощения в кристаллах  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$  и  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Ca}$ , измеренные после их экспозиции с различными дозами в диапазоне 100–500 Дж/см<sup>2</sup> с шагом 100 Дж/см<sup>2</sup>.

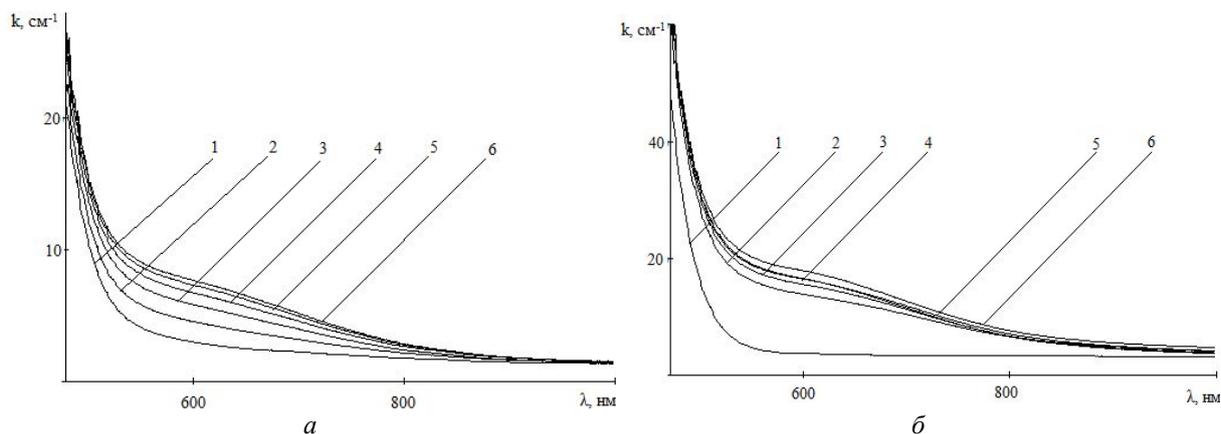


Рис. 1. Экспериментальные спектральные зависимости коэффициента поглощения в кристаллах  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$  (а) и  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Ca}$  (б) в исходном состоянии (1) и после засветки импульсным лазерным излучением с  $\lambda=532$  нм и дозой 100 (2), 200 (3), 300 (4), 400 (5) и 500 (6) Дж/см<sup>2</sup>

Как видно, облучение лазерными импульсами с  $\lambda = 532$  нм приводит к увеличению оптического поглощения в исследованном спектральном диапазоне 500–1000 нм как в нелегированном кристалле  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ , так и в образце  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Ca}$ . Зависимости наведенных изменений коэффициента поглощения, полученные вычитанием данных для коэффициента поглощения облученного кристалла из аналогичных данных для кристалла в исходном состоянии, представлены на рис. 2.

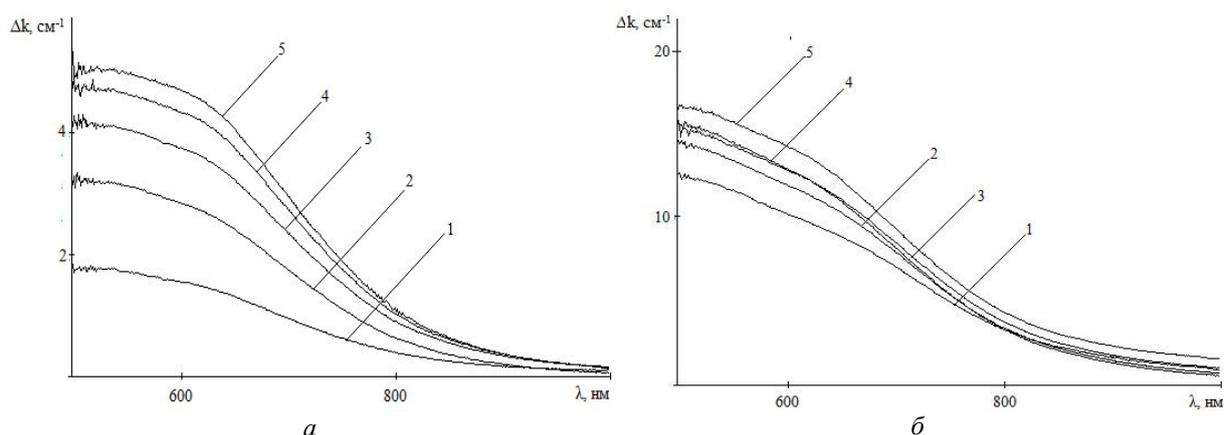


Рис. 2. Экспериментальные спектральные зависимости изменений коэффициента поглощения в кристаллах  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$  (а) и  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Ca}$  (б), наведенных засветкой импульсным лазерным излучением с  $\lambda=532$  нм и дозой облучения 100 (кривая 1), 200 (2), 300 (3), 400 (4) и 500 (5) Дж/см<sup>2</sup>

Из рис. 2 следует, что величина наведенных изменений коэффициента поглощения возрастает с увеличением дозы облучения. Максимальные изменения коэффициента поглощения наблюдаются на длине волны 500 нм и составляют при дозе облучения 500 Дж/см<sup>2</sup> 5,1 см<sup>-1</sup> для  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$  и 16,5 см<sup>-1</sup> для  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Ca}$ .

После облучения импульсным лазером кристаллы подверглись засветке излучением непрерывного лазера с той же длиной волны  $\lambda = 532$  нм до экспозиции в 500 Дж/см<sup>2</sup>, достигаемой в течение 50 мин. Из полученных результатов, представленных на рис. 3, видно, что облучение непрерывным лазерным излучением приводит к уменьшению коэффициента оптического поглощения кристалла, т.е. к его просветлению, на величину, составляющую на длине волны 500 нм 0,8 см<sup>-1</sup> для  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$  и 4,2 см<sup>-1</sup> для  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Ca}$ . Физические причины, вызывающие просветление кристалла непрерывным излучением, требуют дальнейшего исследования.

**Заключение.** Таким образом, облучение импульсным лазерным излучением с длиной волны 532 нм приводит к увеличению коэффициента оптического поглощения в исследованном диапазоне длин волн 500–1000 нм как для чистого, так и для легированного кальцием титаната висмута. Для обоих кристаллов с увеличением дозы облучения от 100 до 500 Дж/см<sup>2</sup> величина наведенных изме-

нений возрастает. Последующее облучение кристаллов непрерывным лазерным излучением с той же длиной волны 532 нм приводит к уменьшению наведенных изменений в оптическом поглощении.

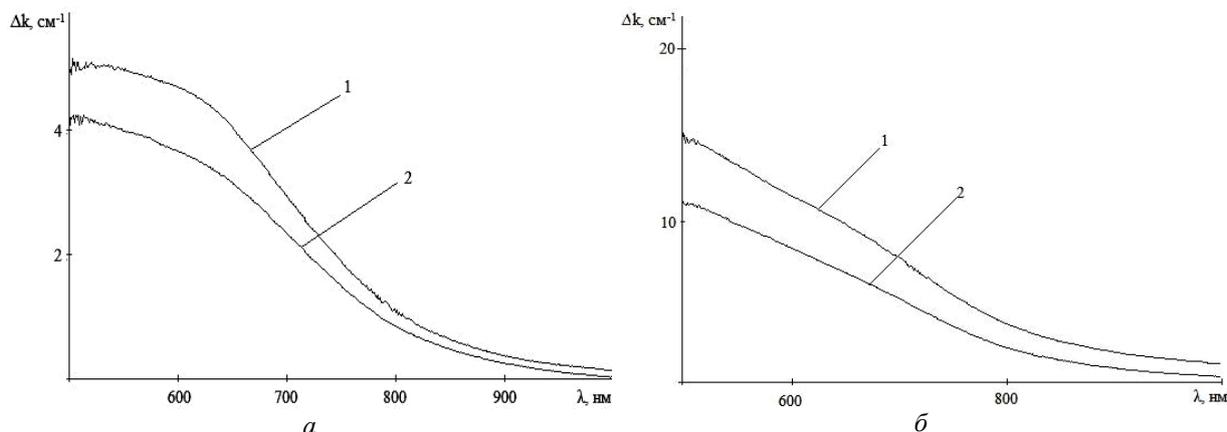


Рис. 3. Экспериментальные спектральные зависимости изменений коэффициента поглощения в кристаллах  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$  (а) и  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Ca}$  (б), наведенных засветкой импульсным лазерным излучением с  $\lambda = 532$  нм и дозой облучения  $500 \text{ Дж/см}^2$  (кривая 1) и последующим облучением непрерывным лазерным излучением с той же длиной волны и дозой  $500 \text{ Дж/см}^2$  (2)

Работа выполнена в рамках Госзадания Минобрнауки РФ на 2012 год (проект 7.2647.2011) при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 12-02-90038-Бел\_а) и БРФФИ (проект № Ф12Р-222). Авторы благодарят М.Г. Кистеневу за постановку задачи и консультации.

#### Литература

1. Бабонас Г.Ю. Оптические свойства силленитов // Электронная структура и оптические свойства полупроводников / Под ред. Ю. Пожелы; АН ЛитССР. Ин-т физики полупроводников. – Вильнюс: Мокслас, 1987. – 232 с.
2. Панченко Т.В. Фотохромизм кристаллов  $\text{BSO}:\text{Ag}$  / Т.В. Панченко, К.Ю. Стрелец // Изв. вузов. Материалы электронной техники. – 2007. – № 2. – С. 45–47.
3. Толстик А.Л. Спектральная зависимость фотоиндуцированного поглощения, наведенного в кристалле импульсным излучением с длиной волны 532 нм / А.Л. Толстик, А.Ю. Матусевич, М.Г. Кистенева и др. // Квантовая электроника. – 2007. – Т. 37, № 11. – С. 1027–1032.
4. Малиновский В.К. Фотоиндуцированные явления в силленитах / В.К. Малиновский, О.А. Гудаев, В.А. Гусев, С.И. Деменко. Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1990. – 160 с.
5. Смирнов Г.В. Инфекционная теория новообразований и нанобактерия (перспективы исследований) / Г.В. Смирнов, В.Т. Волков, Н.Н. Волкова, С.М. Шихман // Сибирский медицинский журнал (Иркутск). – 2003. – Т. 26, № 6. – С. 9–20.
6. Шандаров С.М. Фоторефрактивные эффекты в электрооптических кристаллах / С.М. Шандаров, В.М. Шандаров, А.Е. Мандель, Н.И. Буримов. Томск: Том. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2007. – 242 с.

#### Дю Валерия Георгиевна

Студентка каф. электронных приборов (ЭП) ТУСУРа  
Тел.: 8-952-888-87-45  
Эл. почта: vampirenush@mail.ru

#### Русякина Ольга Александровна

Студентка каф. ЭП ТУСУРа  
Тел.: 8-952-151-73-16  
Эл. почта: olgar.91@mail.ru

**Акрестина Анна Сергеевна**

Аспирант каф. ЭП ТУСУРа

Тел.: 8-909-542-57-06

Эл. почта: aka\_83@mail.ru

**Толстик Алексей Леонидович**

Д-р физ.-мат. наук, профессор, проректор по учебной работе

Белорусского государственного университета (БГУ), г. Минск

Тел.: 8-10-375 (17) 209-52-21

Эл. почта: Tolstik@bsu.by

**Агишев Игорь Николаевич**

Зав. лаб. каф. лазерной физики и спектроскопии физического факультета БГУ

Тел.: 8-10-375( 17) 209-51-18

Эл. почта: agishev@bsu.by

Dyu V.G., Rusyakina O.A., Akrestina A.S., Tolstik A.L., Agishev I.N.

**Spectral dependences of the optical absorption in  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$  and  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Ca}$  crystals induced by pulsed laser radiation with the wavelength of 532 nm**

The spectral dependences of optical absorption induced by pulsed radiation with the wavelength of 532 nm in  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$  и  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Ca}$  crystals were studied. We obtained from the experiments that the optical absorption of the investigated crystals increases within the spectral range from 500 to 1000 nm and reaches the maximum values at exposures of 500 J/cm<sup>2</sup>.

**Keywords:** photoinduced absorption, bismuth titanium oxide, spectral dependence.

---