

ФОТОИНДУЦИРОВАННОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ СВЕТА В ОТОЖЖЕННЫХ КРИСТАЛЛАХ СИЛИКАТА ВИСМУТА

Е.С. Худякова¹, Е.А. Пекарских¹, М.Г. Кистенева¹, С.М. Шандаров¹,
Ю.Ф. Каргин²

¹*Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Томск, Россия*

²*Институт металлургии и материаловедения имени А.А. Байкова РАН, Москва, Россия
lenoliya@rambler.ru*

Интерес к исследованию кристаллов класса силленитов $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ (BSO), $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ (BGO) и $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ (BTO) обусловлен перспективностью их применения в качестве функциональной среды в устройствах динамической голографии [1]. Оптические и фотоэлектрические свойства кристаллов со структурой силленита определяются дефектными центрами с высокой концентрацией, которые связаны с нарушениями структуры или стехиометрии [2]. При облучении этих кристаллов светом из видимой области и в ближнем инфракрасном диапазоне происходит перераспределение электронов между дефектными центрами, в результате чего наблюдается изменение их оптического поглощения. Считается, что для кристаллов силиката и германата висмута при засветке излучением видимого диапазона фотоиндуцированные изменения поглощения наблюдаются только при температурах $T \leq 200$ К [2].

В настоящей работе представлены результаты экспериментальных исследований динамики оптического поглощения, фотоиндуцированного непрерывным лазерным излучением с длиной волны $\lambda_e=650$ нм в отожженном кристалле силиката висмута $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ (BSO) при комнатной температуре. Проведенные для диапазона 400–1100 нм измерения спектральных зависимостей поглощения продемонстрировали изменения в них, вызванные как отжигом исследованных кристаллов, так и их экспозицией используемым лазерным излучением.

В экспериментах использовался кристалл BSO среза (100), выращенный методом Чохральского и имеющий толщину $d=2,64$ мм. Предварительно в образце измерялся спектр оптического поглощения, а затем он нагревался в воздушной атмосфере до температуры 330°C в темновых условиях со скоростью ~ 2 К/мин. После достижения заданной температуры кристалл выдерживался при ней в течение 30 минут, а затем охлаждался естественным образом до комнатной температуры в течение более 10 часов.

В экспериментах по облучению непрерывным лазерным излучением с длиной волны $\lambda=650$ нм и с интенсивностью $\sim 1,6$ мВт/см² в течение 15 мин при комнатной температуре, проведенных до отжига кристалла BSO, в нем не было обнаружено фотоиндуцированных изменений в оптическом поглощении для спектрального диапазона 400–1100 нм.

В результате его отжига в воздушной атмосфере наблюдалось уменьшение оптического поглощения в диапазоне 450–900 нм. Характерные экспериментальные спектры оптического поглощения $k(\lambda)$ для кристалла BSO показаны на рис. 1а. Здесь кривая 1 соответствует исходному состоянию образца, а кривая 2 получена после отжига кристалла в воздушной атмосфере по методике, описанной выше. Спектральная зависимость $\Delta k(\lambda)$, полученная вычитанием коэффициентов поглощения, измеренных для исходного состояния и после отжига, показанная на рис. 1б, демонстрирует резонансный характер наблюдаемых в результате изменений в поглощении. В этом спектре можно выделить четыре полосы с экстремумами при $\lambda_m=560, 690, 750$ и 820 нм, проявляющиеся в результате отжига. Максимальные изменения оптического поглощения, зафиксированные на длинах волн 560 и 700 нм, составили $0,19$ и $0,13$ см^{-1} , при значениях коэффициента поглощения для исходного состояния $0,61$ и $0,27$ см^{-1} , соответственно.

После отжига в воздушной атмосфере и измерения спектральных зависимостей поглощения в исследуемом кристалле BSO наблюдался эффект фотоиндуцированного изменения поглощения для лазерного излучения с длиной волны $\lambda=650$ нм при комнатной температуре.

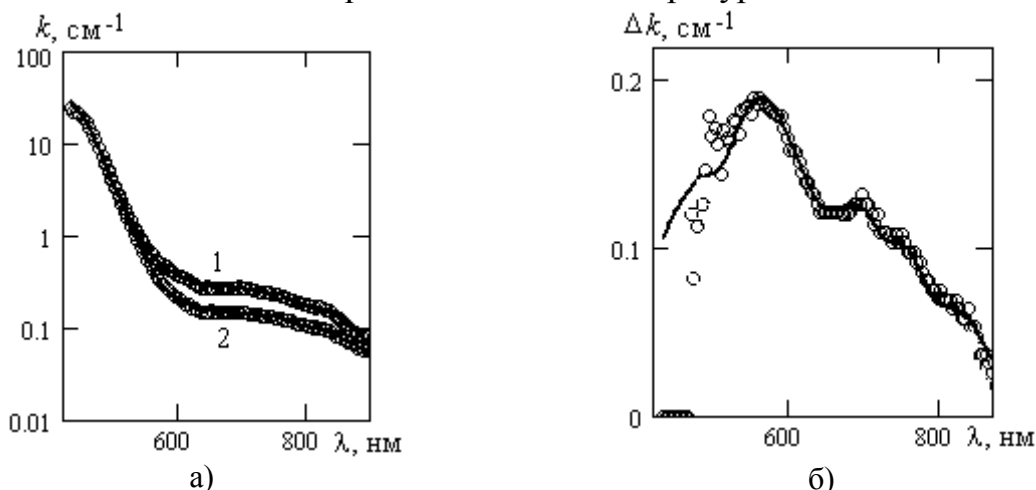


Рис. 1 Экспериментальные и расчетные спектральные зависимости коэффициента поглощения (а) и его изменений (б) в образце BSO ($d = 2,64$ мм): 1 – в исходном состоянии; 2 – после отжига в воздушной атмосфере при температуре 330 °С в течение 30 мин. Кружки – экспериментальные данные, сплошные линии – расчетные зависимости

Динамика таких изменений коэффициента поглощения в отожженном по изложенной выше методике кристалле BSO на данной фиксированной длине волны представлена на рис. 2. Характерно, что на начальном участке оптическое поглощение уменьшается, а далее наблюдается немонотонное увеличение коэффициента поглощения. Такое поведение оптического поглощения свидетельствует о сложном колебательном характере перераспределения электронов между дефектными центрами, вызывающем его изменения согласно известным моделям [2-4], при облучении кристалла лазерным излучением с длиной волны $\lambda_e=650$ нм.

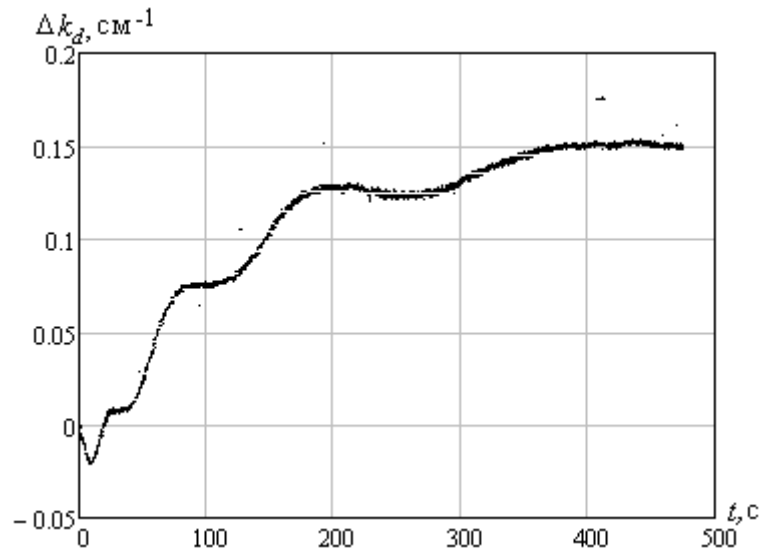


Рис. 2 Динамика изменений оптического поглощения отожженного кристалла BSO на длине волны $\lambda = 650$ нм

Для аппроксимации экспериментальных зависимостей $k(\lambda)$ и $\Delta k(\lambda)$ мы учитывали вклад в примесное поглощение как процессов фотовозбуждения электронов в зону проводимости с глубоких донорных центров с нормальным законом распределения концентраций по энергии ионизации [3], так и внутрицентровых переходов [4]. Сплошные кривые на рис. 1 учитывают пять внутрицентровых переходов с гауссовскими спектральными характеристиками с максимумами при энергиях 1,50, 1,63, 1,77, 2,15 и 2,41 эВ. Для переходов электронов в зону проводимости учтены шесть центров со средними значениями энергии ионизации 0,82, 1,22, 1,60, 1,91, 2,16 и 2,70 эВ.

Работа выполнена в рамках Госзадания Минобрнауки РФ на 2012 г. (проект № 7.2647.2011) и при поддержке РФФИ (проект № 12-02-90038-Бел_а).

ЛИТЕРАТУРА

1. Петров М.П., Степанов С.И., Хоменко А.В.. Фоторефрактивные кристаллы в когерентной оптике. – СПб.: Наука, 1992. – 318 с
2. Малиновский В.К., Гудаев О.А., Гусев В.А. и др. Фотоиндуцированные явления в силленитах. Новосибирск: Наука, 1990. 160 с.
3. Толстик А.Л., Матусевич А.Ю., Кистенева М.Г. и др. // Квантовая электроника. 2007. Т. 37, № 11. С. 1027-1032.
4. Kisteneva M.G., Akrestina A.S., Shandarov S.M., Smirnov S.V. // J. of Holography and Speckle. 2009. V.5. P. 1-6.