

УДК 535.3

**ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДОВ,  
ЗАПИСАННЫХ СВЕРХКОРОТКИМИ ЛАЗЕРНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ В  
КРИСТАЛЛЕ КАЛИЙ-ЛЮТЕЦИЕВОГО ДВОЙНОГО ВОЛЬФРАМАТА,  
СОАКТИВИРОВАННОГО ИОНАМИ ТУЛИЯ И ГОЛЬМИЯ**

**Гурова Ю.В.** (Университет ИТМО), **Лойко П.А.** (Университет ИТМО)

**Научный руководитель** – кандидат физико-математических наук, научный сотрудник центра "Информационные оптические технологии» **Захаров В.В.**

Данная работа посвящена исследованию микроструктур, регистрируемых ультракороткими лазерными импульсами в кристалле двойного вольфрамата, соактивированного ионами тулия и гольмия, с помощью метода конфокальной лазерной микроскопии и спектроскопии комбинационного рассеяния. Данные методы позволяют получить изображения микроструктур в объеме кристалла, а также выявить особенности его модификации.

**Введение.** Создание волноводных лазеров, работающих в спектральном диапазоне  $\sim 2$  мкм, представляет практический интерес для спектроскопии, телекоммуникации и медицины, поскольку их излучение безопасно для глаз и соответствует линиям поглощения различных атмосферных и биологических молекул и газов. Кристаллы, в которых формируются такие волноводы, активируются ионами редкоземельных элементов, таких как иттербий, тулий или гольмий, которые и обеспечивают ИК-люминесценцию и генерацию лазера. Таким образом, эти волноводы являются «активными» с точки зрения генерации и усиления света, и на их основе можно создавать волноводные лазеры. Поэтому, актуальной темой является исследование этих волноводов, записанных в прозрачных диэлектрических кристаллах сверхкороткими лазерными импульсами (обычно фемтосекундной - фс длительности) - femtosecond Direct Laser Writing (fs DLW), для создания высокоэффективного волноводного лазера.

**Основная часть.** Исследуемый образец представляет собой моноклинный кристалл калий-лютециевого двойного вольфрамата, соактивированный ионами тулия и гольмия  $Tm, Ho: KLu(WO_4)_2$ . Данный кристалл был выращен раствор-расплавным методом с использованием  $K_2W_2O_7$  в качестве растворителя в университете Ровира-и-Вергилий (г. Таррагона, Испания). В данном кристалле были сформированы «объемные» и поверхностные «канальные» волноводы методом fs DLW в университете Саламанки (г. Саламанка, Испания). Изображения одного из треков были получены с помощью конфокального лазерного микроскопа в просвечивающем режиме с поляризованным светом,  $\lambda = 405$  нм. На первом этапе был изучен один из треков на полированном торце кристалла. При помощи лазерного сканирующего микроскопа в просвечивающем режиме работы с поляризованным светом была визуализирована структура оболочки оптического волновода, где наблюдались области повреждения, образовавшиеся в момент воздействия фс-лазерных импульсов. Геометрически модификации представляют из себя кольца диаметром 40–60 мкм, являющиеся оболочкой волновода. Имеет периодическую «сетчатую» поверхность, которая связана с возникающими дефектами на стадии изготовления. Воздействие фс лазерных импульсов вызывает пространственно-локализованную модификацию материала, снижение его кристалличности и, следовательно, изменение показателя преломления. Сформированное изображение с помощью набора конфокальных изображений верхней части волновода помогло увидеть отдельные структуры записываемого волновода: продолговатые «треки» разного размера, внутри которых находятся сферические образования. Исследование волноводных дорожек с объективом 50x0.95 помогло детально изучить микроструктуру треков, вычислить их поперечные размеры и средний диаметр  $\sim 400$ -600 нм. Полученная трехмерная модель отдельного волновода позволила визуализировать топографию записанных треков и структур, а также выявлять детали их микроскопической архитектуры и регистрировать вращение

плоскости поляризации, вызванной механическими напряжениями. Изучение кристалла в поляризованном свете при скрещенных поляризаторах помогло выявить области с наведенным двулучепреломлением, связанным с наличием напряжений в кристалле, вызванных записью волноводов через фотоупругий эффект.

**Выводы.** В результате работы оптическими методами были изучены свойства «объемных» и поверхностных «канальных» волноводов, записанных в кристалле  $Tm, Ho: KLu(WO_4)_2$ , а также особенности их микроструктуры. Анализ полученных изображений показал, что неоднородности в треках состоят из отдельных капельных дефектов, обладающих высоким рассеянием, с характерными размерами от 400 до 600 нм.

Гурова Ю.В. (автор)

Подпись

Захаров В.В. (научный руководитель)

Подпись