

УДК 535.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛНОВОДОВ, ЗАПИСАННЫХ С ПОМОЩЬЮ ФЕМТОСЕКУНДНОГО ЛАЗЕРА, МЕТОДОМ КОНФОКАЛЬНОЙ ЛАЗЕРНОЙ МИКРОСКОПИИ

Гурова Ю.В., Лойко П.А.

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

Данная работа посвящена изучению оптических волноводов методом конфокальной лазерной микроскопии. При помощи этого метода возможно получить изображения волноводов, исследовать их микроструктуры в объеме кристалла, а также выявлять особенности его модификации.

Введение. Актуальной темой является исследование микроструктур, записанных в прозрачных диэлектрических кристаллах сверхкороткими лазерными импульсами (обычно фемтосекундной - фс длительности) - femtosecond Direct Laser Writing (fs DLW). Пример таких микроструктур – это оптические волноводы для ближней ИК области спектра (1-2 мкм). Кристаллы, в которых формируются волноводы, активированы ионами редкоземельных элементов, таких как Yb^{3+} , Tm^{3+} или Ho^{3+} (иттербий, туллий или гольмий), и они обеспечивают ИК люминесценцию и лазерную генерацию. Таким образом, эти волноводы являются "активными" с точки зрения генерации и усиления света и на их основе можно создать волноводные лазеры.

Волноводные лазеры, работающие в спектральном диапазоне ~ 2 мкм, представляют интерес для спектроскопии, телекоммуникации и медицины, потому что их излучение безопасно для глаз и соответствует линиям поглощения различных атмосферных и биологических молекул.

Основная часть. Исследуемый образец – моноклинный кристалл калий-лютециевого двойного вольфрамата, соактивированный ионами туллия и гольмия $\text{Tm, Ho:KLu(WO}_4)_2$. Данный кристалл был выращен раствор-расплавным методом с использованием $\text{K}_2\text{W}_2\text{O}_7$ 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).

На первом этапе был изучен один из полированных торцов волновода, с помощью конфокального лазерного микроскопа с объективом $20\times$ ($N.A. = 0.75$) в режиме работы с поляризованным светом, где наблюдались области модификации материала под действием фс лазерных импульсов, геометрически образующих кольца диаметром 40–60 мкм (оболочка волновода). Воздействие фс лазерных импульсов вызывает пространственно-локализованную модификацию материала, снижение его кристалличности и, следовательно, изменение показателя преломления.

Изучение кристалла в поляризованном свете при скрещенных поляризаторах помогает выявлять области с наведенным двулучепреломлением, в нашем случае было обнаружено двулучепреломление, связанное с наличием напряжений в кристалле, вызванных записью волноводов (через фотоупругий эффект). Поле напряжений является сильно анизотропным и выходит за пределы оболочки волновода.

Завершающий этап работы заключался в наблюдении волновода через верхнюю поверхность кристалла. Оболочка волновода, сформированная «дорожками», записанным фс лазерными импульсами, имеет периодическую сетчатую поверхность, которая может быть связана с дефектами, возникающими на этапе изготовления. При скрещенных поляризаторах, в кристалле также видна яркая оболочка, что указывает на заметное двулучепреломление.

Выводы. В результате работы оптическим методом были изучены свойства «объемных» и поверхностных «канальных» волноводов, записанных в кристалле Tm,Ho:KLu(WO₄)₂. Полученные данные помогли выявить неоднородность записи в кристалле и обнаружить наведенное двулучепреломление, вызванное особенностями записи волноводов. Микроскопические исследования подобных структур помогают увидеть особенности их структуры и скорректировать параметры их записи для получения более эффективной лазерной генерации.

Гурова Ю.В. (автор)

Подпись

Захаров В.В. (научный руководитель)

Подпись