

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента, доктора технических наук, ведущего научного сотрудника проектного центра ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина» В.К. Сысоева на диссертацию Липатьевой Татьяны Олеговны «Формирование под действием лазерного излучения волноводных структур в стеклах и исследование их оптических характеристик», представленную на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 05.17.11 – Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов

Развитие информационных технологий требует создания нового поколения помехозащищенных энергоэффективных миниатюрных устройств обработки информации, которые позволили бы значительно увеличить быстродействие приборов, применяемых для передачи и обработки цифровой информации. Так как одним из перспективных направлений в этой области является частичная или полная замена электронных компонентов оптическими, в том числе состоящими из нелинейно-оптических кристаллов, то не вызывает сомнения актуальность темы диссертации Т.О. Липатьевой, целью которой является отыскание новых подходов к формированию на поверхности и в объеме стекол кристаллических волноводов, оптимизация кристаллизационных свойств стекол и получение в них волноводов на основе нелинейно-оптических кристаллов, установление взаимосвязи между характеристиками исходного стекла, параметрами лазерной обработки и свойствами полученных волноводных структур.

Очевидна научная новизна результатов диссертации Т.О. Липатьевой.

Впервые автором изучены особенности процессов зарождения кристаллов под воздействием неподвижного пучка фемтосекундного лазера. Сформированные под воздействием перемещающегося пучка фемтосекундного лазера структуры, состоящие из нелинейно-оптических кристаллов, оказались достаточно высокого качества для того, чтобы работать в качестве волноводов. Более того, впервые показана возможность генерации второй гармоники при прохождении излучения через нелинейно-оптический монокристаллический волновод  $\text{LaBGeO}_5$ , сформированный сфокусированным в объеме стекла лазерным пучком. Значительно расширена область параметров лазерного излучения, приводящих к образованию кристаллических волноводных структур. А в результате исследования влияния параметров фемтосекундного лазера (длительности и энергии импульсов, скорости и направления сканирования, геометрии перетяжки в фокусе пучка) на формируемые кристаллические каналы показана возможность управления ориентацией кристаллов с помощью выбора условий лазерной обработки. Кроме того, под действием излучения лазера на парах меди, впервые была осуществлена локальная поверхностная кристаллизация литиевоборогерманатных стекол, в результате которой были сформированы нелинейно-оптические кристаллы  $\text{LiBGeO}_4$ .

Велика практическая значимость работы, что фактически подтверждается наличием двух патентов. Предложен метод формирования волноводов в объеме стекла фс лазерным пучком эллиптического сечения, позволяющий получать кристаллические волноводы рекордно малой толщины (до 1,5 мкм) с минимальными оптическими потерями, достигнутыми до настоящего времени для кристаллических волноводов в стекле. Впервые сформированы волноводы, состоящие из кристаллов  $\text{LaBGeO}_5:\text{Nd}^{3+}$  с содержанием активатора до 3 мол.%. Структуры такого типа могут найти применение в качестве активных лазерных сред для миниатюрных лазеров. Найденный оригинальный способ ускорения формирования затравочного кристалла может быть применен независимо от типа стекла и геометрического сечения перетяжки фемтосекундного лазера.

Выбранные в работе стеклообразующие системы способны к кристаллизации нелинейно-оптических кристаллов, что, вероятно и определило

выбор автора. Стоит упомянуть о том, что существуют системы, гораздо более актуальные с этой точки зрения - например, литиево-ниобиево-силикатная система, в которой возможна кристаллизация сегнетоэлектрического кристалла  $\text{LiNbO}_3$ , который обладает более выраженными как пьезоэлектрическими свойствами, так и нелинейно-оптическими характеристиками и поэтому широко используется в качестве преобразователей энергии и звукопроводов, в электрооптических и пьезоэлектрических устройствах, в лазерах для генерации второй гармоники. По этим характеристикам кристаллы, получаемые автором методами локальной кристаллизации стекол, уступают. Однако, проводя кристаллизацию стекол системы  $\text{La}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{GeO}_2$ , изучаемой уже давно и ставшей модельной для лазерной кристаллизации, диссертант выявил некоторые закономерности, которые можно будет в дальнейшем перенести и на другие стеклообразующие системы. Более того, одним из преимуществ работы стал усовершенствованный состав стекла, использование которого позволило сформировать качественные кристаллические волноводы даже с использованием трансляционного столика на обычных шаговых двигателях. Для характеристики и изучения полученных волноводов диссертант использовал современные методы исследования - сканирующую электронную микроскопию, оптическую спектроскопию, микроспектроскопию комбинационного рассеяния, методику измерения локального изменения показателя преломления, количественный микроанализ двулучепреломления, атомную силовую микроскопию и поляризационную оптическую микроскопию. Применение современных приборов и методик позволяет говорить о высокой степени достоверности полученных результатов.

Автором были установлены зависимости размера и морфологии кристаллических структур от энергии импульса фс лазера, скорости перемещения лазерного пучка, геометрии пучка, частоты следования импульса, направления перемещения лазерного пучка, поляризации, температуры подогрева образца стекла, что имеет особое значение для разработки технологичных способов кристаллизации стекла.

Замечания к диссертационной работе следующие.

1. В диссертационной работе установлено, что при кристаллизации лазерным пучком первоочередную роль играют процессы теплопереноса. Однако, хотелось бы, чтобы диссертант в своих последующих исследованиях оценил распределение температур в точке фокусировки лазерного луча и прилегающих областях с учетом энергетических характеристик излучения и термических свойств стекла. Тем более, что термические свойства в диссертационной работе были исследованы.

2. Неясно, почему не была проведена кристаллизация литиевоборогерманатных стекол фемтосекундным лазером, а показаны результаты только для случая кристаллизации с помощью лазера на парах меди.

3. В выводах диссертации не оформлены нижние индексы для формул.

4. В диссертации недостаточно полно обсуждены возможности выбора критериев и количественной оценки качества сформированного в виде волокна монокристаллического состояния.

5. Не было проведено сколько-нибудь полного сравнения процессов, происходящих при кристаллизации стекол в печи и лазерной кристаллизации.

6. На странице 33 в рисунке 8 стоило увеличить графики и перевести обозначения, приведенные на английском языке, как это сделано для всех остальных рисунков в тексте (например рисунки 5, 6, 7 и т.д.).

7. В пункте 3.1 диссертации хотелось бы результаты ЯМР видеть для лантаноборогерманатных и литиевоборогерманатных стекол видеть на одном графике. То же касается и спектров ИК. Также в этом пункте не хватает данных спектроскопии комбинационного рассеяния для лантаноборогерманатных стекол.

Высказанные замечания нисколько не уменьшают значимости диссертационной работы автора, внесшего существенный вклад в развитие представлений о возможностях локальной лазерной кристаллизации стекол. Работа выполнена на высоком научно-техническом уровне с применением уникальной совокупности методов микро- и наномодифицирования структуры веществ и методов анализа. Автору удалось сформировать нелинейно-оптический волновод в объеме стекла с рекордно низкими для данного класса

волноводов оптическими потерями. Это означает, что предложенные и запатентованные автором методики зарождения и роста кристаллов в лазерном пучке будут иметь большое практическое применение.

Полученные результаты исследований апробированы на ряде российских и международных конференций. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, и их достоверность не вызывают сомнений. Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертации, которая отвечает требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней и присвоения ученых званий».

Считаю, что по совокупности полученных результатов диссертационная работа «Формирование под действием лазерного излучения волноводных структур в стеклах и исследование их оптических характеристик», представленная на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 05.17.11 – Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов, соответствует критериям, изложенным в пунктах 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней и присвоения ученых званий», а её автор Липатьева Татьяна Олеговна достойна присвоения ученой степени кандидата химических наук по названной специальности.

Доктор технических наук,  
Ведущий научный сотрудник  
ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина»

т. 8-916-857-96-39

141400, МО, г. Химки, Мельникова пр-кт 4, кв. 1.

В.К. Сысоев

Подпись ведущего научного сотрудника  
ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина», д.т.н.,

В.К. Сысоева, удостоверяю

Заместитель генерального

директора по персоналу

ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина»



М.В. Данильченко