

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Беспалого Александра Дмитриевича «**Оптико-электронный комплекс для формирования и исследования характеристик пространственно-неоднородных и волноводных структур в поверхностно легированных кристаллах ниобата лития**», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.6 – «Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы»

Возможности материалов на основе ниобата лития в области информационной оптики, голографии и фотоники трудно переоценить. И, несмотря на обширные знания о применении этих материалов, продолжают появляться новые примеры их практического использования для решения актуальных задач, соответствующих современному уровню технологических потребностей. Одной из таких задач, а именно реализации сложных волноводных структур в поверхностно легированных кристаллах ниобата лития, посвящена диссертационная работа Беспалого Александра Дмитриевича.

Исследованный в диссертации Беспалого А.Д. метод поточечного индуцирования позволяет формирование и реконфигурацию волноводных и пространственно-неоднородных структур в поверхностно легированных кристаллах ниобата лития $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$. Подобные структуры, которые могут быть как регулярными, так и не регулярными, а также реализованными на единой подложке с электрооптическими и оптоэлектронными компонентами, могут найти широкое применение в области исследования и создания компонентов и систем микроволновой фотоники, а также фотонных интегральных схем. В связи с этим, решаемые соискателем задачи, заключающиеся в разработке оптико-электронного комплекса для формирования и исследования характеристик пространственно-неоднородных и волноводных структур, представляются **актуальными** и безусловно имеют высокое научное и практическое значение.

В качестве основных **результатов диссертации**, обладающих несомненной **научной новизной**, выделю следующие:

1. Впервые реализован и исследован метод поточечного индуцирования пространственно-неоднородных и волноводных структур в поверхностно легированных кристаллах $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$ X- и Y-срезов лазерным излучением видимого диапазона.
2. Впервые показано, что поточечное экспонирование поверхности $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$ X- и Y-срезов фокусированным световым пучком делает возможным формирование пространственно-неоднородных структур в направлении оптической оси кристалла.
3. Разработан ряд методик, а также уникальный оптико-электронный комплекс, позволяющие формировать и исследовать пространственно-неоднородные и волноводные структуры, индуцированные в поверхностно легированных кристаллах ниобата лития.

Достоверность полученных результатов подтверждается выбором современных методик экспериментальных исследований, использованием апробированных методов обработки экспериментальных данных, а также широким обсуждением результатов работы на ведущих в данной области конференциях и семинарах.

Полученные результаты не противоречат опубликованным данным других исследователей по данной теме.

Научная значимость результатов работы заключается в разработке метода формирования реконфигурируемых пространственно-неоднородных и волноводных структур различных топологий в поверхностно легированных кристаллах $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$ X- и Y-срезов.

Практическая значимость заключается в том, что разработанный аппаратно-программный комплекс позволяет формировать и исследовать пространственно-неоднородные и волноводные структуры в поверхностно легированных кристаллах $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$, необходимые для реализации гибридных и полностью оптических элементов оптоэлектронных устройств.

Полученные в диссертационной работе результаты использованы

в учебном процессе кафедры сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР) и в научно-исследовательских работах ТУСУРа.

Диссертация Безпалого А.Д. **соответствует паспорту заявленной специальности 2.2.6** – Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы по следующим пунктам:

– п. 2 «Разработка новых оптико-информационных технологий, в том числе технологий, основанных на волоконной, адаптивной, интегральной оптике и волноводной оптике»;

– п. 12 «Разработка, совершенствование и исследование характеристик приборов, систем и комплексов с использованием электромагнитного излучения оптического диапазона волн, предназначенных для решения задач:

- передачи, приема, обработки и отображения информации;
- создания оптического и оптико-электронного оборудования для научных исследований в различных областях науки и техники».

Общий объем диссертации составляет 120 страниц. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, который содержит 141 наименование, приложений.

В первой главе рассмотрены вопросы, касающиеся значимости волноводных структур в современных оптоэлектронных устройствах. Изучено состояние проблемы реализации волноводных структур на основе электрооптических кристаллов, в частности, в ниобате лития. Отмечена возможность создания реконфигурируемых волноводных и дифракционных структур в кристаллах ниобата лития при помощи лазерного излучения. На основе проведенного обзора поставлены цель и задачи, направленные на исследование реализации пространственно-неоднородных и волноводных структур в поверхностно легированных кристаллах ниобата лития при помощи лазерного излучения.

Во второй главе представлены результаты исследований процессов формирования волноводных структур в поверхностно легированных

кристаллах $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$ X- и Y-срезов лазерными пучками милливаттной мощности на длине волны 532 нм. Представленные результаты показывают, что экспонирование поверхности кристаллов $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$ X- и Y-срезов отдельными световыми пятнами позволяет индуцировать волноводные структуры любой топологии, в том числе и в направлении оптической оси кристалла, с пространственной модуляцией параметров и различными размерами.

В третьей главе проведены исследования величины и пространственного распределения поточечно индуцированных изменений показателя преломления в поверхностно легированном кристалле $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$ X-среза. Приведено описание различных методов и обоснование выбора исследований Δn . Описана разработанная программа, позволяющая визуализировать пространственное распределение изменений показателя преломления Δn путем обработки интерферограмм. Проведенные исследования показали, что изменение условий экспонирования поверхности кристалла позволяет управлять индуцированными Δn и влиять на их величину в пределах от 10^{-4} до 10^{-3} .

В четвертой главе диссертации приведено описание разработанного оптико-электронного аппаратно-программного комплекса, который позволяет формировать и исследовать волноводные структуры, индуцированные в поверхностно легированных кристаллах ниобата лития. Данный комплекс включает в себя автоматизированный позиционер исследуемого образца, программу для управления и программу для обработки интерферограмм. Исследованы возможности реализации различных топологий волноводных структур для полностью оптических и гибридных оптоэлектронных устройств и приборов фотоники.

В заключении подведены итоги и кратко изложены основные результаты диссертационной работы.

В приложениях содержатся акты внедрения результатов диссертационной работы и свидетельство регистрации программы для ЭВМ.

Материалы и основные научные результаты диссертации в достаточной степени опубликованы в печати, а также обсуждались на конференциях различного ранга. Основные результаты работы изложены в 6-ти статьях в журналах из перечня ВАК, в 7-ми работах в журналах, индексируемых наукометрическими базами Web of science и Scopus, в 29-ти публикациях в сборниках трудов Международных и Всероссийских конференций. Кроме того, по теме диссертации имеется 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

К диссертационной работе имеется ряд **замечаний и вопросов:**

1. Результаты экспериментальных исследований, представленные в работе, демонстрируют возможности по созданию и исследованию сложных волноводных структур в поверхностно легированных кристаллах ниобата лития. Соискателю стоило также уделить внимание экспериментальной демонстрации возможностей по реконфигурации структур.
2. Чем обусловлено наличие экстремума на графике, изображенном на Рисунке 3.3, в области 50–200 мкм?
3. В четвертой главе диссертации при разработке оптико-электронного комплекса использовалась схема интерферометра Маха-Цендера, однако в третьей главе работы сказано, что схема интерферометра Жамена имеет преимущества при исследовании пространственного распределения Δn . Почему, все-таки, выбрана схема интерферометра Маха-Цендера при разработке оптико-электронного комплекса?
4. Не приведены такие характеристики позиционера, как минимальный предел перемещения, а также точность повторного позиционирования.

В целом, указанные замечания не затрагивают новизны и научной значимости представленных результатов и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

Заключение. Диссертационная работа Безпалого Александра Дмитриевича на соискание ученой степени кандидата технических наук является законченной научно-квалификационной работой. Результаты работы обладают несомненной научной новизной и практической значимостью.

Материалы исследования в полном объеме отражены в публикациях автора и прошли апробацию на многочисленных научных конференциях Всероссийского и Международного уровней. Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертации.

Считаю, что диссертационная работа полностью соответствует критериям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. №842 (ред. от 28.08.2017 г.), а ее автор Беспалый Александр Дмитриевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.6. «Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы».

Официальный оппонент

доктор физико-математических наук по специальности 01.04.21, профессор отделения лазерных и плазменных технологий офиса образовательных программ Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» (НИЯУ МИФИ)


Злоказов Евгений Юрьевич
« 15 » июня 2023 г.

Адрес: 115409, г. Москва, Каширское шоссе, д. 31

Сл. тел.: +7 495 788 5699 доб. 9391

E-mail: EYZlokazov@mephi.ru

Подпись Злоказова Е.Ю. удостоверяю



Злоказов Е.Ю.