

УТВЕРЖДАЮ

И. о. проректора по научной работе и  
инновациям, доктор географических  
наук, профессор



  
С. В. Пьянков

« 16 » июня 2023 г.

### ОТЗЫВ

ведущей организации – Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет» на диссертационную работу Безпалого 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.

#### Актуальность темы диссертации

Современные оптико-электронные устройства играют важную роль в развитии науки и техники. Преобразование световых полей и управление их характеристиками может осуществляться при помощи пространственно-неоднородных и волноводных структур, являющихся фундаментальными элементами в конструкции гибридных и полностью оптических устройств и приборов фотоники. Существующие в настоящее время методы изготовления таких структур в электрооптических кристаллах, имеют как яркие преимущества, так и существенные недостатки. Исследованный в диссертации А.Д. Безпалого метод поточечного индуцирования является самостоятельным способом формирования пространственно-неоднородных структур в поверхностно легированных кристаллах ниобата лития. Поточечное индуцирование изменений показателя преломления на основе фоторефрактивного эффекта позволяет многократно менять параметры и

характеристики пространственно-неоднородных и волноводных структур в кристаллах ниобата лития. В связи с этим решаемые соискателем проблемы, которые заключаются в разработке оптико-электронного комплекса для формирования методом оптического индуцирования волноводных и дифракционных структур в кристаллах ниобата лития и исследовании характеристик таких структур, представляются актуальными и имеют научное и практическое значение.

### **Соответствие темы и содержания диссертации заявленной специальности**

Тема и содержание диссертации Безпалого А.Д. соответствуют п. 2 «Разработка новых оптико-информационных технологий, в том числе технологий, основанных на волоконной, адаптивной, интегральной оптике и волноводной оптике» и 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» паспорта специальности 2.2.6. Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы.

### **Содержание диссертации**

Полный объем диссертации составляет 120 страниц, работа включает введение, четыре главы, заключение, список литературы из 141 наименования и приложения.

**В первой главе** проведен обзор литературы и рассмотрены вопросы, касающиеся роли волноводных структур в современных оптоэлектронных устройствах, а также изучено состояние проблемы и способы формирования волноводных структур на основе оптических материалов, в частности, электрооптических кристаллов. Приведены достоинства и недостатки каждого метода и рассмотрены актуальные проблемы формирования волноводных

структур. На основе проведенного обзора литературы сформулирована цель и задачи исследования.

**Во второй главе** исследованы возможности формирования пространственно-неоднородных и волноводных структур в поверхностно легированных образцах  $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$  источником непрерывного лазерного излучения милливаттной мощности. Формирование структур проводилось путем воздействия излучения с гауссовым профилем распределения интенсивности на длине волны  $\lambda = 532$  нм. Представленные результаты показывают, что экспонирование поверхности кристаллов  $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$  X- и Y-срезов отдельными световыми пятнами позволяет индуцировать пространственно-неоднородные структуры любой топологии с модуляцией их параметров. Показано, что волноводные структуры с различной пространственной однородностью проявляют свойства дифракционных структур. Рассмотрены возможности получения одномерной и двумерной дифракции на пространственно-неоднородных структурах.

**В третьей главе** представлены результаты исследований величины и пространственного распределения изменений показателя преломления  $\Delta n$ , наведенных при различных условиях засветки поверхности кристалла ниобата лития  $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$  X-среза. Описаны различные методы исследований наведенных  $\Delta n$ . Проанализирован и обоснован выбор интерферометрического метода исследований наведенных изменений показателя преломления в поверхностно легированном кристалле ниобата лития. Показаны преимущества схемы интерферометра Жамена для реализации устройства измерения наведенных  $\Delta n$ . По результатам исследований в третьей главе установлено, что путем изменения длительности экспонирования поверхности кристалла возможно управлять индуцированными изменениями показателя преломления и влиять на их величину в пределах от  $10^{-4}$  до  $10^{-3}$ .

**В четвертой главе** исследованы характеристики волноводных структур, сформированных при различных условиях экспонирования кристалла. Приведено описание разработанного и реализованного аппаратно-программного оптико-электронного комплекса. Данный комплекс позволяет

формировать методом поточечного индуцирования волноводные структуры в поверхностно легированных кристаллах ниобата лития и, на основе разработанной программы для анализа и обработки интерферограмм, исследовать наведенные структуры.

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

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

### **Научная новизна**

Основные результаты диссертации, обладающие научной новизной:

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.

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.

Разработан оптико-электронный комплекс, позволяющий формировать и исследовать пространственно-неоднородные и волноводные структуры, индуцированные в поверхностно легированных кристаллах ниобата лития.

### **Достоверность результатов работы**

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

### **Научная и практическая значимость работы**

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

### **Полнота изложения материалов**

Материалы и основные научные результаты диссертации в достаточной степени опубликованы в печати, а также обсуждались на конференциях различного уровня. Основные результаты работы изложены в 6 статьях в журналах из перечня ВАК, в 7 работах в журналах, индексируемых наукометрическими базами Web of Science и Scopus, в 29-ти публикациях в сборниках трудов Международных и Всероссийских конференций. По теме диссертации имеется 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. Все положения, выносимые на защиту, опубликованы в рецензируемых научных журналах.

### **Замечания по диссертационной работе**

1. При анализе результатов не учтена форма штрихов при построении модели световых полей в случаях одномерной и двумерной дифракции.
2. Не приведены критерии неоднородности границ волноводных структур. Как это влияет на характер распространения волноводных мод?
3. В диссертации не приведены варианты стыковки сформированных волноводных структур с оптическим волокном.

Указанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

## Выводы и заключение

Диссертация Беспалого А.Д. является законченной научно-квалификационной работой. Результаты обладают научной новизной и практической значимостью. Материалы исследования в достаточно полном объеме отражены в публикациях автора и прошли апробацию на научных конференциях и семинарах Международного и Всероссийского уровня. Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертации.

Считаем, 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.

Отзыв на диссертационную работу обсужден и одобрен на расширенном заседании кафедры нанотехнологий и микросистемной техники. Протокол №11 от 14 июня 2023 г.

Заведующий кафедрой нанотехнологий и микросистемной техники,

доктор. физ.-мат. наук, профессор

А.Б. Волынцев

Секретарь

Доцент кафедры нанотехнологий и микросистемной техники,

к.ф.-м.н

Р.С. Пономарев

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет»

(ПННИУ)

614068, Пермь, ул. Букирева, 15.

Контактный телефон: +7 342 239-64-35, адрес электронной почты: [info@psu.ru](mailto:info@psu.ru)



Собственноручную подпись  
удостоверяю  
Работник отдела кадров

НАТОВАСОВАМ ЧММ