

## ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, профессора  
**Тихомирова Александра Алексеевича**  
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

В настоящее время пространственно неоднородные и волноводные структуры широко используются в оптических системах передачи, приема и обработки информации, в интегрально-оптических схемах, элементах и приборах лазерной техники, нелинейной оптики и нанопотоники. Метод оптического индуцирования волноводных и дифракционных структур, предложенный в диссертационной работе, позволяет формировать в кристаллах ниобата лития, легированного слоем меди, структуры с различными топологиями, индивидуальными характеристиками и возможностью реконфигурации параметров. Решаемые соискателем задачи, 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.

### Общая характеристика работы

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

**В главе 1**, которая является обзорной, проведен анализ роли и значимости волноводных структур в современных оптоэлектронных устройствах, а также рассмотрены состояние проблемы и способы реализации волноводных структур на основе оптических материалов, в частности, в электрооптических кристаллах.

**В главе 2** исследованы возможности формирования волноводных структур в поверхностно легированных образцах  $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$  непрерывным источником лазерного излучения милливаттной мощности 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 пятнами позволяет индуцировать волноводные структуры любой топологии с пространственной модуляцией параметров и различными размерами.

**В третьей главе** представлены результаты исследований величины и пространственного распределения поточечно индуцированных изменений показателя преломления  $\Delta n$  в поверхностно легированном кристалле  $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$

X-среза. Описаны различные методы и обоснован выбор исследований создаваемых изменений  $\Delta n$ . Показано, что экспонирование поверхности образца при различной длительности воздействия позволяет управлять индуцированными изменениями показателя преломления и влиять на их величину в пределах от  $10^{-4}$  до  $10^{-3}$ .

В главе 4 описан разработанный аппаратно-программный комплекс, позволяющий формировать и исследовать волноводные структуры, индуцированные в поверхностно легированных кристаллах ниобата лития. Результаты исследований демонстрируют возможность реализации различных топологий и управления модуляцией параметров волноводных структур для полностью оптических и гибридных оптоэлектронных устройств и приборов фотоники.

Заключение содержит итоги и основные результаты диссертационной работы.

В приложениях представлены акты внедрения результатов работы и полученное соискателем свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

#### **Научная новизна работы**

Новизна полученных результатов определяется экспериментальными данными, полученными впервые:

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

#### **Научная и практическая значимость полученных результатов**

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.

Полученные в диссертационной работе результаты использованы в учебном процессе кафедры Сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники 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 ранга. Основные результаты работы изложены в 6-ти статьях в журналах из перечня ВАК, в 7-ми работах в журналах, индексируемых

международными базами данных Web of Science и Scopus, в 29-ти публикациях в сборниках трудов Международных и Всероссийских конференций. Получено 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

**Существенным достоинством** выполненной диссертационной работы является большой объем выполненных экспериментов по формированию и исследованию характеристик пространственно-неоднородных и волноводных структур в поверхностно легированных кристаллах ниобата лития.

**Автореферат** диссертации написан и оформлен в соответствии с требованиями ВАК Минобрнауки России и в целом отражает содержание диссертационной работы.

### **Замечания и вопросы по диссертационной работе**

Вместе с положительными качествами диссертационной работы следует отметить ее некоторые недостатки.

#### **1. По защищаемым положениям:**

1.1. В 1-м положении, по мнению оппонента, после слов "ниобата лития" следовало бы добавить в окончание предложения: "в зависимости от времени экспозиции и диаметра сфокусированного пятна лазерного излучения."

1.2. В 3-м положении утверждается, что "... оптико-электронный комплекс, состоящий из непрерывного лазерного источника ... позволяет **формировать** и **исследовать** пространственно-неоднородные и волноводные структуры ...". Однако, из материала, представленного в главе 4, следует, что в комплекс входят два непрерывных лазера: один для **формирования** структур (более мощный) и второй (маломощный) – для **исследования** сформированных структур. Поэтому следовало бы добавить в положение "... комплекс, состоящий из двух непрерывных лазерных источников ...".

#### **2. По содержанию:**

2.1. В подразделе 4.2 (стр. 85) при оценке потерь в сформированных волноводных структурах не указано, каким образом учитывались потери мощности при вводе лазерного излучения в торец подложки в связи с различием волновых сопротивлений воздуха и волноводных структур (коэффициент френелевского отражения)?

2.2. При описании оптико-электронного комплекса (глава 4) не пояснено, учитывалось ли влияние вибраций, возникающих при перемещении экспериментального образца, на результат формирования волноводных структур.

2.3. Автор в процессе представления иллюстративного материала по тексту диссертации меняет направления осей декартовой системы координат относительно подложки ( $\text{LiNbO}_3$ ) и нанесенного на нее слоя меди  $\text{Cu}$  (сравни рис. 2.2, стр. 32 и рис. 4.15, стр. 85). На рис. 2.2 поверхность слоя меди имеет координаты  $xz$ , а на рис. 4.15 –  $yz$ . Это затрудняет понимание представленного материала на других рисунках.

#### **3. По оформлению:**

3.1. На стр. 18 автореферата дана ссылка на рисунок 19, который отсутствует в тексте.

3.2. Рис. 4.126 (стр. 81 диссертации) и аналогичный рис. 176 (стр. 17 автореферата) отличаются по форме изменения показателя преломления поз. 4 (различные значения  $\Delta n$  у правой кривой).

3.3. Имеются опечатки и стилистические несогласования падежей в ряде предложений (стр. 34, 44, 79 и др.).

Отмеченные недостатки не снижают ценности выполненной диссертационной работы.

### Заключение

Диссертационная работа Безпалого А.Д. является завершенной научно-квалификационной работой, в которой решена задача создания оптико-электронного комплекса для формирования и исследования характеристик пространственно-неоднородных и волновых структур в поверхностно легированных кристаллах ниобата лития. Результаты работы обладают научной новизной и практической значимостью. Выводы и рекомендации обоснованы.

Содержание диссертации соответствует пп. 6 и 12 направлений исследований паспорта специальности 2.2.6. Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы.

Считаю, что диссертационная работа соответствует требованиям пп. 9 и 10 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, в редакции от 18.03.2023), а ее автор **Безпалый Александр Дмитриевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.6. Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы.**

### Официальный оппонент

доктор технических наук по специальности 05.11.07,  
профессор, главный научный сотрудник  
лаборатории экологического приборостроения  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Института мониторинга климатических и экологических систем  
Сибирского отделения Российской академии наук (ИМКЭС СО РАН),  
Сл. тел.: (3822) 492-249,  
e-mail: [tikhomirov@imces.ru](mailto:tikhomirov@imces.ru)

«16» июля 2023



Александр Алексеевич Тихомиров



Подпись Тихомиров А.А. заверяю.  
Ученый секретарь ИМКЭС СО РАН,  
к.т.н. Яблокова О.В. (О.В. Яблокова)