

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертационной работе Дьяконова Ивана Викторовича «Интегральные оптические структуры для задач линейно-оптических квантовых вычислений», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – «Лазерная физика».

Диссертационная работа Дьяконова И. В. посвящена разработке подходов к созданию пассивных и термооптически перестраиваемых интегрально-оптических структур с помощью метода фемтосекундной лазерной печати и построению оптимизационного метода проектирования линейно-оптических интерферометров, применяемых для реализации квантовых операций над фоковскими состояниями света. Развитие методов квантовых коммуникаций и квантовых вычислений на основе фотоники требует создания принципиально новых элементов, в частности, интегральной оптики, содержащей управляемые интерферометры с малыми потерями. Поэтому, актуальность выбранной темы не вызывает сомнений.

Текст диссертационной работы содержит четыре главы. Первая глава содержит вводную информацию и обзор литературы по теме оптических квантовых вычислений и интегрально-оптических квантовых технологий. Оригинальные результаты представлены в трех главах.

Первая глава включает описание принципов линейно-оптических квантовых вычислений с использованием одиночных фотонов в качестве носителей информации. Приведены основные принципы кодирования, преобразования и измерения логических квантовых состояний в линейно-оптических системах, а также указаны преимущества и ключевые недостатки, отличающие линейно-оптическую платформы от остальных физических систем, применяемых для создания прототипов квантовых компьютеров. Кроме того, в первой главе приведен обзор технологий создания интегрально-оптических чипов. Основное внимание уделено технологии, основанной на литографии, как наиболее развитой и широко применяемой для данных целей, а также фемтосекундной лазерной печати, которая используется автором при получении оригинальных результатов.

Обзор является достаточно полным, использовались как ставшие классическими первоисточники, так и публикации последних лет.

Во второй главе автор приводит подробное описание экспериментальной установки, реализующей фемтосекундную лазерную печать волноводных структур в стекле, и результаты работы по формированию одномодовых оптических волноводов в кальциево-натриевом стекле и формированию поляризационных направленных делителей в кварцевом стекле. Глава содержит информацию о схеме и элементах установки для фемтосекундной лазерной печати волноводов, величинах и диапазонах изменения основных параметров установки, режимах записи волноводных структур в двух различных материалах – кальциево-натриевом стекле

и плавном кварце – и результатах оптических измерений характеристик напечатанных волноводных структур.

Успешная реализация автором данного метода, с одной стороны, демонстрирует его высокую квалификацию физика-экспериментатора, а, с другой, служит основой для создания разнообразных элементов квантовой оптики.

В третьей главе отражен подход к реализации программируемого интегрально-оптического интерферометра, оснащенного термооптическими модуляторами фазы в различных плечах. Последовательно описываются операции, необходимые для создания программируемой структуры с помощью технологии фемтосекундной лазерной печати. Глава содержит описание принципов оптимальной настройки созданного многопортового программируемого интерферометра и результаты экспериментальных тестов.

Используя моделирование и экспериментальную проверку, автор показал, что реализованная им технология фемтосекундной лазерной печати пригодна для создания репрограммируемых интегрально-оптических структур.

Четвертая глава посвящена изложению математических основ построения оптимизационной процедуры, применяемой для поиска оптимальной структуры линейно-оптического интерферометра, выполняющего заданную операцию над входным квантовым состоянием света. Приведенные в главе методы относятся к проектированию интерферометров, преобразующих фоковские состояния света. В результате получена структура оптического интерферометра, реализующего приготовление трехкубитного состояния Гринбергера-Хорна-Цайлингера.

Автор демонстрирует свободное владение современным математическим аппаратом. Интересным результатом является демонстрация смещения спектрального положения резонаторных мод, возбуждаемых в спектре второй гармоники, за счет эффекта электрострикции.

В конце диссертационной работы приведено заключение, где представлены основные результаты.

Все выносимые на защиту положения и выводы полностью обоснованы и подтверждены проведенными измерениями, использованием корректных математических методов и глубоким теоретическим анализом.

Достоверность и новизна результатов подтверждается публикациями в четырёх высокорейтинговых (Q1) реферируемых научных журналах, входящих в базы данных Web of Science и Перечень изданий МГУ, докладами на четырёх престижных международных конференциях.

Диссертация выполнена на высоком научном уровне, логично структурирована. Полученные результаты являются оригинальными, представляют интерес как с научной, так и с прикладной точек зрения. В автореферате полностью отражено основное содержание диссертации.

В то же время, к тексту диссертационной работы есть ряд вопросов.

1. Потери в волноводных структурах являются ключевым параметром, от которого зависит их применимость для решения задач квантовой оптики. В положении 1, выносимом на защиту, утверждается, что потери в одномодовых волноводах, создаваемых по разработанной технологии фемтосекундной лазерной печати составляют 0.86 дБ/см, что несколько больше чем 0.5 дБ/см, достигнутых другими авторами, о чём говорится в обзоре литературы. Заметим, что современная литография позволяет получать потери менее 0.5 дБ/м. Хотелось бы увидеть анализ физических механизмов, приводящих к увеличению потерь и обсуждение перспектив совершенствования использованной технологии.
2. Автором был реализован и протестирован интегрально-оптический реконфигурируемый интерферометр с универсальной архитектурой Клементса, что, несомненно, является важным достижением. Вместе с тем утверждение о том, что достигнута рекордная на момент публикации результатов скорость переключения интегральных термооптических модуляторов – 10 мс корректно лишь для технологии фемтосекундной лазерной печати в кварцевых стёклах, в интегральных структурах на основе нитрида кремния скорости переключения могут составлять 0.5 мс и менее уже более 5 лет.
3. В разделе 3.5.1 автор справедливо отмечает, что одной из проблем, связанной с применением термооптических модуляторов является кроссвоздействие, которое при высокой степени интеграции не может считаться малым. Очевидным решением является моделирование теплового поля, создаваемого всеми нагревателями и внесение предкоррекции для создания желаемых фазовых сдвигов, однако данный способ не был реализован и даже упомянут.

Вместе с тем, приведенные замечания не снижают общей высокой оценки диссертационной работы и не умаляют значимости основных полученных в ней результатов.

Диссертация «Интегральные оптические структуры для задач линейно-оптических квантовых вычислений» соответствует паспорту специальности 1.3.19 – «Лазерная физика» (по физико-математическим наукам) и всем требованиям к кандидатским диссертациям «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013 г., редакция от 29.05.2017 №650, а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а ее автор – Дьяконов Иван Викторович – заслуживает присуждения искомой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – «Лазерная физика».

Официальный оппонент:

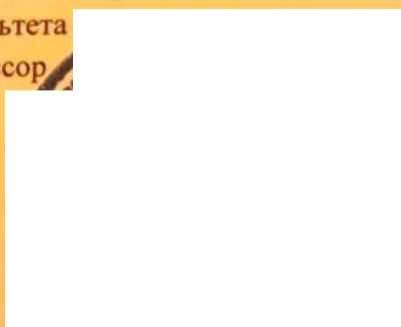
Биленко Игорь Антонович, доктор физ.-мат. наук по специальности 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики», доцент, профессор кафедры физики колебаний физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, кафедра физики колебаний физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

«7» Ноября 2022 г.

 Биленко И.А.

119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2
Тел. +7 (495) 939-40-34, E-mail: igorbilenko@phys.msu.ru

Подпись Биленко Игоря Антоновича удостоверяю
Ученый секретарь физического факультета
МГУ имени М.В. Ломоносова, профессор

 Каравасев В.А.