

ОТЗЫВ

Официального оппонента на диссертацию Дьяконова Ивана Викторовича
«Интегральные оптические структуры для задач линейно-оптических квантовых
вычислений», представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 1.3.19 «Лазерная физика»

В диссертационной работе Дьяконова И. В. приводятся результаты экспериментальных и численных исследований на тему создания и проектирования интегрально-оптических преобразователей квантовых состояний света. Основной акцент работы сделан на применении метода фемтосекундной лазерной записи микроструктур в прозрачных диэлектрических материалах для решения задачи создания пассивных и реконфигурируемых интегрально-оптических компонентов, предназначенных для экспериментов по оптическим квантовым вычислениям. Кроме того, приведена оригинальная методика проектирования сложных интерферометрических схем, реализующих интересное квантовое преобразование.

Первая глава содержит вводную информацию и обзор литературы по двум темам: линейно-оптические квантовые вычисления и технологии изготовления интегрально-оптических компонентов. По теме линейно-оптических квантовых вычислений приводится достаточная информация, чтобы сделать вывод о ключевых характеристиках оптических систем, реализующих квантовые логические преобразования. На основе этой информации делается акцент на характеристиках интегрально-оптических компонентов, которые необходимо достичь в оригинальной экспериментальной работе. Обзор литературы, посвященный технологиям создания интегральной оптики, направлен на освещение сильных и слабых сторон существующих технологических подходов, включая фемтосекундную лазерную запись.

Вторая глава посвящена описанию экспериментальных исследований по созданию пассивных интегрально-оптических структур — одномодового волновода с низкими потерями при распространении света и направленного поляризационного делителя. Первая часть главы посвящена описанию установки, собранной для изготовления волноводных структур. Во второй части излагаются полученные результаты: оптические характеристики одномодовых волноводов и направленных делителей. В результате автором работы был подобран режим записи одномодовых оптических волноводов, испытывающих потери при распространении равными 0.86 дБ/см и обладающих достаточно высоким контрастом для изгиба волноводов с радиусом порядка нескольких десятков миллиметров. Созданный поляризационный направленный делитель обладал рекордной на момент публикации величиной наведенной анизотропии, что позволило существенно уменьшить размеры интегрального устройства.

Третья глава приводит описание методов создания и тестирования реконфигурируемых интегрально-оптических устройств с помощью фемтосекундной лазерной записи. Автор решал задачу о создании универсального интерферометра, представляющего собой сеть интерферометров Маха-Цандера, оснащенных двумя термооптическими модуляторами. В работе создавался интерферометр с четырьмя входными и выходными портами, оснащенный двенадцатью нагревательными элементами. На момент реализации эксперимента не было опубликовано результатов по созданию и настройке универсальных оптических интерферометров, изготовленных с помощью метода лазерной записи. В тексте главы представлена информация об этапах создания и сборки реконфигурируемого

интерферометра. Приведены измеренные параметры оптической схемы и свойств созданных термооптических модуляторов. В качестве примера использования выполнена работа по настройке интерферометра для генерации заданных распределений мощности с помощью оптимизационного алгоритма.

В **четвертой главе** содержится описание разработки численной процедуры проектирования оптического интерферометра, осуществляющего необходимое квантовое преобразование логического состояния, закодированного с помощью одиночных фотонов в двухрельсовой кодировке. Основная сложность при проектировании таких устройств сводится к поиску оптической схемы, обеспечивающей максимальную вероятность успешной реализации заданного квантового преобразования. Для выполнения такого поиска предлагается использовать численную оптимизационную процедуру, максимизирующую точность выполнения преобразования и вероятность его срабатывания. В результате теста разработанной процедуры обнаружена оптическая схема приготовления трехкубитного состояния Гринбергера-Хорна-Цайлингера с наиболее высокой среди известных схем вероятностью, равной $1/54$.

Актуальность выбранной темы - очень велика. Линейно-оптические квантовые вычисления – один из лидирующих подходов в создании как универсального квантового компьютера, так и более близких к осуществлению квантовых симуляторов. В мире ежегодно выходят тысячи публикаций по данной тематике. В России, данное направление включено в дорожную карту "Квантовые вычисления". Реализация этих устройств требует хорошо контролируемых и перестраиваемых оптических схем, содержащих сотни элементов, что осуществимо только с помощью интегральной оптики. В то время как принципиальная возможность квантовых вычислений с использованием только линейных оптических элементов, однофотонных источников и детекторов была доказана более 20 лет назад, лишь в настоящее время технология изготовления интегральных оптических схем выходит на уровень, достаточный для демонстрационных квантовых вычислений. Поэтому тема диссертационного исследования актуальна и значима для развития квантовых технологий и для поддержания достойного их уровня в нашей стране.

Степень обоснованности положений, выносимых на защиту, и выводов работы

Положения, выносимые на защиту, и выводы работы, полностью обоснованы.

Достоверность и новизна результатов не вызывает сомнений. И то, и другое подтверждается количеством и уровнем публикаций автора, а также его докладами на российских и международных конференциях.

Замечания

1. В качестве интерпретации полученной в эксперименте затухающей зависимости амплитуды осцилляций перекачки мощности от длины взаимодействия в системе двух связанных волноводов, автор приводит флуктуации показателя преломления волноводов. При этом он ссылается на разработанную им количественную модель, в которую в качестве параметра входит среднеквадратичное отклонение показателя преломления. Однако, для количественного описания наблюдаемого затухания упомянутая модель не используется, поскольку, как говорит автор, "найти весомое доказательство существования подобных флуктуаций доступными ... методами не удалось". В связи с этим, остаются неясными два момента. 1) На рис. 2.9, вместе с экспериментальными зависимостями доли перекачанной мощности от длины взаимодействия, построены также фиты этих зависимостей некими затухающими осцилляциями. Что представляют собой подгоночные функции и из каких

- соображений они выбраны? 2) Не возникает ли качественного расхождения при попытке осуществить подгонку экспериментальных зависимостей рис. 2.9 расчётными кривыми модели (рис.2.10)? В частности, модель предсказывает, помимо затухания осцилляций, также и увеличение их периода, чего в эксперименте не наблюдается.
2. При описании экспериментов с реконфигурируемым универсальным интерферометром в 3 главе не обсуждается, насколько наличие сильного кросс-воздействия нагревателей принципиально может ограничивать универсальность преобразования. Успешно продемонстрировано распределение мощности по выходным каналам в соответствии с заданным случайно сгенерированным распределением, однако, поскольку фазовые соотношения между выходами интерферометра не измерялись, вопрос о возможных ограничениях универсальности остаётся.
 3. В диссертации есть довольно значительное количество дефектов оформления и опечаток. Например, в формуле 1.18 на стр. 20 неправильно записан верхний левый матричный элемент. В подписи к рис. 3.3. на стр. 78 сказано, что "на рисунке а) представлена зависимость оптической мощности...(от времени после включения нагревателя)", в то время как по вертикальной оси построен сдвиг фазы, - что делает рисунок непонятным. Предложение на стр. 16 "опция реконфигурации преобразования, задаваемого интерферометра, придает системе гибкость и позволяет в некоторых случаях компенсировать дефекты производства", содержит сразу две опечатки. Некоторые ссылки на разделы диссертации не отображаются. Список опечаток легко может быть расширен.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования и не влияют на его высокую оценку. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.3.19 – «лазерная физика» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Дьяконов Иван Викторович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – «лазерная физика».

Официальный оппонент:

Гольцман Григорий Наумович, доктор физ.-мат. наук по специальности 01.04.10 «Физика полупроводников», профессор, заведующий кафедрой общей и экспериментальной физики ФГБОУ ВО "Московский педагогический государственный университет".

Электронная почта: gn.goltsman@mpgu.su

Рабочий телефон: +7(499) 246-88-99

Гольцман Г. Н./

Дата: _____