

ОТЗЫВ официального оппонента
о диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук Скрябина Николая Николаевича
на тему: «Элементы линейно-оптических квантовых вычислений на
основе интегрально-оптических чипов»
по специальности 1.3.19. Лазерная физика

Актуальность избранной темы.

Диссертационная работа Скрябина Н.Н. посвящена экспериментальному и численному исследованию элементов линейно-оптических квантовых вычислений на основе интегрально-оптических чипов. Такой переход элементной базы фотонных квантовых вычислений на твердотельную платформу вызывает большой интерес как с точки зрения возможности масштабирования, так и с точки зрения повышения точности операций. В диссертации интегрально-оптические чипы были изготовлены по безмасочной технологии фемтосекундной лазерной записи, которая отлично подходит для быстрого прототипирования и реализации новых схем в научных целях. Ключевым параметром оптических чипов являются вносимые потери, так что экспериментальные исследования, направленные на снижение потерь, как и разработка новых архитектур многоканальных интерферометров с низкими потерями, имеют большую практическую важность. В связи с этим актуальность диссертационной работы Скрябина Н.Н. не вызывает сомнений.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Положения, выносимые на защиту, а также выводы являются в достаточной мере обоснованы, поскольку они напрямую следуют из экспериментальных и численных результатов.

Достоверность и новизна результатов.

Результаты, описанные в оригинальных главах, обладают высокой степенью новизны. Достоверность полученных экспериментальных

результатов обеспечивается воспроизводимостью и использованием современного оборудования и общепринятых методик, а также соответствием экспериментальных и теоретических результатов. Также достоверность и новизна результатов подтверждается пятью публикациями в высокорейтинговых рецензируемых научных журналах, а также докладами на российских и международных конференциях.

Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов.

Теоретическая и практическая значимость работы определяется полученными новыми результатами и возможностью их использования в дальнейшем. Так, разработанный режим фемтосекундной лазерной записи волноводов в кварцевом стекле с низкими потерями позволит изготавливать различного рода интегрально-оптические чипы. Созданный программируемый двухкубитный линейно-оптический квантовый процессор позволяет реализовать квантовые алгоритмы, а генератор двухкубитных состояний с оповещением позволяет генерировать состояния с различной степенью запутанности. Разработанные направленные ответители в кристалле открывают возможность для создания интегральной квантовой памяти. Предложенная архитектура многоканального интерферометра на основе решеток связанных волноводов позволит создавать миниатюрные интерферометры с низкими вносимыми потерями.

Оценка содержания диссертации, ее завершенность.

Текст диссертационной работы состоит из введения, из 6 глав и заключения, списка работ автора и цитируемой литературы. Объем текста диссертации составляет 167 страниц. В работе содержится 65 рисунков и 16 таблиц. Список цитируемой литературы содержит 178 наименований.

Во введении обоснована актуальность выбранной темы диссертации, приведена оценка степени ее разработанности. Определены цели и задачи работы, указаны объект и предмет исследования. Сформулированы научная новизна работы, а также ее теоретическая и практическая значимость. Указаны

сведения о методологии и методах исследования диссертации, сформулированы защищаемые положения, обоснована достоверность полученных результатов. Приведен личный вклад автора, сведения об апробации работы, указаны публикации и данные об объеме и структуре диссертации.

Первая глава является обзором литературы, где приводятся теоретические основы линейно-оптических квантовых вычислений и интегральной оптики. Далее приведен анализ работ по созданию интегрально-оптических элементов в стеклах для экспериментальной реализации линейно-оптических квантовых вычислений, и по созданию интегрально-оптических элементов в кристаллах.

Вторая глава носит методический характер, где описаны параметры установки и процесс фемтосекундной лазерной записи волноводов, и используемые образцы. Дополнительно описываются методы моделирования волноводов и расчета их мод. Подробно описаны методы исследования и характеристики интегрально-оптических структур. Даны детальные описания установок для проведения экспериментов и приведены методы томографии квантового состояния и квантового процесса.

В третьей главе приводятся оригинальные результаты по разработке и характеристики двухкубитного линейно-оптического квантового процессора, состоящего из источника двух фотонов на основе СПР и программируемого интегрально-оптического чипа на длине волны 810 нм. В результате были получены оценки точности операций, которые показали, что среднее фиделити однокубитных гейтов R_x составляет 99,45%, гейтов R_z составляет 99,98%, двухкубитного гейта CNOT – 97,16%.

В четвертой главе в первой части приведены результаты исследования по созданию многопроходных волноводов квадратного сечения в плавленом кварце с низкими потерями на распространение 0,07 дБ/см и на ввод в оптическое волокно 0,2 дБ/торец на длине волны источника фотонов на основе квантовой точки 920 нм. Во второй части приведены результаты по генерации двухкубитных состояний с регулируемой степенью запутанности с оповещением. На основе разработанных чипов и четырех фотонов проведены

эксперименты по генерации состояний: от сепарабельного состояния с фиделити 92,3% до максимально запутанного состояния Белла с фиделити 98,5%.

В пятой главе приводятся результаты по созданию светоделительных элементов в кристалле $Tm^{3+}:YAG$ на основе волноводов с депрессированной оболочкой, где продемонстрировано решение проблемы малой связи между волноводами.

Наконец, в шестой главе предложена и численно исследована архитектура многоканального интерферометра на основе прямых решеток связанных волноводов, где перестройка интерферометра осуществляется путем регулировки постоянной распространения участков отдельных волноводов.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные диссертационной работе.

Замечания по диссертационной работе в целом.

Основное замечание, а скорее пожелание, заключается в том, что в тексте диссертации недостаточно подробно рассмотрен уровень развития альтернативных платформ для квантово-оптических вычислений. Для полноты изложения было бы целесообразно сопоставить платформу фемтосекундной лазерной печати с другими основными интегрально-оптическими платформами, в частности с наиболее развитыми платформами на основе нитрида кремния, ниобата лития и кремния на изоляторе.

Имеются отдельные замечания стилистического и редакционно-технического характера.

1. **Стр. 33, рис. 1.5.** На рисунке не пояснено, чем обусловлены различные обозначения светоделителей BS, а именно различное расположение пунктирной и сплошной линий относительно друг друга.

2. **Стр. 33, подпись к рис. 1.5.** Формулировка «Первый кубит сидит во 2 и 3 модах и является управляющим» носит разговорный характер и не вполне соответствует научному стилю изложения. Рекомендуется использование более строгих формулировок, например: «Первый кубит кодируется во 2-й и 3-й модах и является управляющим».

3. **Стр. 54.** Автор указывает: «с помощью перестраиваемого телескопа (Т, 2–8×)». При этом остается не вполне ясным, о каком именно оптическом элементе идет речь: телескопе или объективе. Также желательно пояснить, обозначают ли значения 2–8× диапазон увеличения.

4. **Стр. 56.** В предложении «В главах 3 и 4 для записи волноводов использовались заготовки из кварцевого стекла (AGOptics, JGS1)» не указано, чем был обусловлен выбор данного типа стекла. Желательно кратко пояснить критерии выбора материала.

5. **Стр. 64.** В предложении «Для этого сначала на чипы был напылен слой металла с типичной толщиной 0.2 мкм» десятичная дробь записана через точку. С учетом требований к оформлению диссертаций по ГОСТ Р 7.0.11–2011 и принятой практики оформления русскоязычных научно-технических текстов десятичные дроби следует оформлять через запятую: «0,2 мкм».

6. **Стр. 65, рис. 2.7.** В подписи «Фотографии образцов, напыленных никромовой пленкой» формулировка некорректна. Следует заменить ее, например, на: «Фотографии образцов с напыленной никромовой пленкой» или «Фотографии образцов, покрытых никромовой пленкой».

7. **Стр. 125.** Перенос таблицы 4.4 оформлен некорректно. Рекомендуется привести оформление переноса таблицы в соответствие с требованиями к оформлению табличного материала.

8. **Стр. 141.** Термин «инфиделили» требует пояснения. Если имеется в виду английский термин *infidelity*, желательно либо дать его определение при первом употреблении, либо использовать русскоязычный эквивалент, например «ошибка воспроизведения состояния», «мера несоответствия» или иной термин, принятый в данной предметной области.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует 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. Диссертационное исследование оформлено согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Скрябин Николай Николаевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19. Лазерная физика.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН,
Научный руководитель, Федеральное государственное унитарное предприятие
«Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики
им. Н.Л. Духова»

Андрियाш Александр Викторович

24» мая 2026

Контактные данные:

тел.: +7 499 978-78-03, e-mail: andriyash@vniia.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация: 01.04.02 – Теоретическая физика

Адрес места работы:

127030, г. Москва, Сущевская ул., д. 22,

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский
научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова»

Тел.: +7 499 978-78-03; e-mail: vniia@vniia.ru

Подпись работника ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский
институт автоматики им. Н.Л. Духова» А.В. Андрियाша удостоверяю:

Ученый секретарь НТС ФГУП «
институт автоматики им. Н.Л. Ду
Феоктистова Любовь Валерьевна

ский

2026