

## ОТЗЫВ

официального оппонента кандидата физико-математических наук Самойленко Алексея Андреевича на диссертацию Павлова Николая Геннадьевича «Радиофотонные устройства на базе оптических микрорезонаторов», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 «Лазерная физика»

В диссертации соискателя Павлова Николая Геннадьевича выполнен цикл исследований, направленных на изучение нелинейных свойств кристаллических оптических микрорезонаторов с модами шепчущей галереи и разработку методов применения оптических микрорезонаторов в различных фотонных и радиофотонных задачах.

Актуальность темы диссертационного исследования предопределяется рядом обстоятельств:

- поисками новых перспективных приложений для использования микрорезонаторов в экспериментальной физике, в частности в высокостабильных генераторах, разнообразных сенсорах, фильтрах и других фотонных устройствах нового поколения;

- потребностями разработки новых подходов и методов по созданию различных компактных фотонных источников на основе микрорезонаторов.

Помимо чисто прикладной значимости, изучение нелинейных эффектов в микрорезонаторах представляет фундаментальный интерес. В частности, в диссертации изучено электрооптическое взаимодействие в ниобате лития; исследовано четырехволновое взаимодействие, за счет которого происходит генерация оптических керровских гребенок и солитонных гребенок с высоким уровнем когерентности; аналитически и экспериментально изучены нелинейная динамика и условия стабилизации

лазерных диодов внешним микрорезонатором с последующей генерацией солитонных гребёнок.

Среди наиболее важных результатов диссертации особенно следует отметить следующие:

- проведен теоретический и численный анализ электрооптического взаимодействия в микрорезонаторах из ниобата лития, впервые экспериментально продемонстрирована модуляция в ширине полосы 200-900 МГц;
- впервые представлено несколько новых методов по генерации двойной оптической гребенки на основе именно кристаллических микрорезонаторов с конвертированием оптического спектра в СВЧ диапазон;
- впервые представлен эксперимент по стабилизации частоты мощных многочастотных лазерных диодов модой микрорезонатора с последующей генерацией керровских частотных гребёнок.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и приложения. Материал диссертации изложен на 129 страницах машинописного текста. Список литературы включает 141 наименование.

Во введении обсуждается актуальность темы диссертации, формулируются цель и задачи работы, ее научная и практическая значимость. Там же обосновываются преимущества используемых автором подходов применительно к кругу проблем, рассматриваемых в диссертации.

Первая глава содержит детальное описание разработанной методики изготовления микрорезонаторов из различных кристаллических материалов.

Вторая глава диссертации посвящена описанию различных элементов связи с микрорезонаторами и методике создания элемента связи на основе интегрального волновода. Кратко представлена теория связи, описан эксперимент и полученные результаты по проверке изготовленного

элемента связи с несколькими микрорезонаторами из фторидов бария и стронция.

Третья глава посвящена теоретическому анализу, численному расчету электрооптического взаимодействия в микрорезонаторе из ниобата лития. Также представлен эксперимент с описанием установки по демонстрации модулятора на основе микрорезонатора из ниобата лития, получена модуляция в диапазоне 200-900 МГц с полуволновым напряжением 500 мВ.

В четвертой главе представлено описание процесса генерации керровских частотных гребенок и диссипативных керровских солитонов в микрорезонаторах из материалов с кубической нелинейностью. Описаны экспериментальные установки по генерации двойной оптической гребенки на основе двух одинаковых микрорезонаторов, выточенных на одном цилиндре и в одном микрорезонаторе на разных семействах мод. Получены спектры двойной гребенки на длине волны 1550 нм, и их последующая конвертация в СВЧ область в диапазоне частот 1-5 ГГц.

Наконец, в пятой главе подробно описана теория стабилизации частоты лазерных диодов модой микрорезонатора. Продемонстрировано затягивание частоты многочастотного лазерного диода с сужением спектра до одной узкой 1 кГц линии. Также описаны эксперименты по генерации диссипативных керровских солитонов в микрорезонаторах при накачке многочастотными лазерными диодами на длинах волн 1535 нм и 1650 нм.

Заключение диссертации отражает основные результаты и выводы, изложенные в диссертационной работе.

Достоверность результатов диссертационной работы Павлова Н.Г. подкреплена согласованностью полученных данных с результатами теоретических расчетов. Стоит отметить, что все полученные результаты опубликованы в ведущих рецензируемых оптических научных журналах: «Optics Express», «Optics Letters» и «Applied Optics». Они также докладывались на представительных конференциях и семинарах.

Автореферат полностью соответствует содержанию и результатам диссертации.

В диссертации Павлова Н.Г. сформулированы и обоснованы научные положения, совокупность которых можно классифицировать как решение важных проблем в области разработки методов по применению оптических микрорезонаторов в различных фотонных и радиофотонных задачах.

Переходя к общей оценке диссертационной работы, следует прежде всего отметить широкий диапазон выполненных Павловым Н. Г. исследований, а также значительное число представленных в нем физических и практических результатов.

К недостаткам работы следует отнести следующие:

1. В отдельных случаях автор допускает некоторые неточности:

- а. Стр. 24, абз. 1 предложение «Диаметр пьедестала под резонатором равен диаметру резонатора для удобства связи с призмой» представляется сомнительным, ибо при этом был бы велик риск упереть призму в пьедестал. Кроме того, это утверждение противоречит изображению на рис. 1.7, где диаметр микрорезонатора больше диаметра пьедестала.
- б. Стр. 71, абз. 2 «Стабилизация отстройки частоты лазера проводилась методом ПДХ» — Не расшифрован термин «ПДХ». Возможно имелось ввиду «ПИД» - пропорционально-интегрально-дифференцирующий регулятор.
- в. В главе 5 используется термин «область свободной дисперсии», в то время как ранее, в главе 3, для обозначения той же величины использовался термин «межмодовый интервал»

2. В некоторых случаях хотелось бы видеть более подробное описание:

- a. Стр. 4, абз. 1 «преимущества оптических методов были реализованы на нанотехнологическом уровне» — Во-первых, возникает вопрос: «как длина оптической волны согласуется с нанотехнологическими масштабами?». Во-вторых, не хватает ссылки на публикации, подтверждающие данное утверждение.
- b. Стр. 58 «оптической моды с током  $I = 187$  мА наблюдается высокая амплитуда модуляции на низких частотах» — приходится догадываться, что речь идёт о токе диода лазера.
- c. В большинстве экспериментов, описанных в главе 4 автор производил перестройку частоты лазера вокруг мод ШГ с целью получения требуемых режимов генерации солитонов. К сожалению, автор не указал, каким способом производилась перестройка частоты лазера — оператором вручную или программно с компьютера по жёстко заданному закону или программно, с обратной связью?
- d. На рис. 5.9 на оси абсцисс указаны единицы времени, в то время как в тексте дано описание к этому рисунку, в котором говорится о ширине спектра: «Ширина затягивания – прямоугольные отклики на рисунке, составляет 500 МГц – 1 ГГц». Никаких пояснений в тексте о связи оси абсцисс в секундах со спектральными характеристиками откликов не дано.

Перечисленные замечания носят рекомендательный характер и не могут существенно повлиять на общую положительную оценку диссертационной работы.

Считаю, что диссертационная работа «Радиофотонные устройства на базе оптических микрорезонаторов» удовлетворяет требованиям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, а Павлов Николай Геннадьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 «Лазерная физика».

Оппонент Самойленко

Самойленко Алексей Андреевич

Кандидат физико-математических наук,  
начальник сектора Отделения  
голографии, оптической томографии,  
нанотехнологий и наноматериалов  
Федерального государственного  
унитарного предприятия «Всероссийский  
научно-исследовательский институт  
оптико-физических измерений»,  
Адрес: 119361, г. Москва, ул.Озерная, 46  
тел.: (495) 781-45-72  
e-mail: [asamoylenko@vniiofi.ru](mailto:asamoylenko@vniiofi.ru)

« 11 » сентября 2018 г.

Подпись Самойленко Алексея Андреевича заверяю.

Заместитель директора по инновациям ФГУП «ВНИИОФИ»



Филимонов Иван Сергеевич



Список основных научных публикаций начальника сектора Отделения голографии, оптической томографии, нанотехнологий и наноматериалов Федерального государственного унитарного предприятия Всероссийского научно-исследовательского института оптико-физических измерений (ФГУП «ВНИИОФИ») к.ф.-м.н. Самойленко Алексея Андреевича

1. D. D. Ruzhitskaya, A. A. Samoilenko, A. D. Ivanov, K. N. Min'kov, Analysis of the Transmission Spectra of Optical Microcavities Using the Mode Broadening Method, Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing, Vol. 54, no. 1, pp. 61–68, 2018.
2. А.Д.Иванов, К.Н.Миньков, А.А.Самойленко, Д.Д. Ружицкая, Г.Г.Левин, Применение оптических микрорезонаторов для измерения концентрации наночастиц в жидкости, Измерительная техника, № 6, с.26-19, 2018.
3. К.Н. Миньков, А.Д. Иванов, А.А. Самойленко, Д.Д. Ружицкая, А.А. Ефимов, Измерение малых концентраций наночастиц в аэрозолях при помощи оптических диэлектрических микрорезонаторов на примере наночастиц  $TiO_2$ , Российские нанотехнологии, том 13, № 1-2, с.41-47, 2018.
4. И.А. Биленко, А.А. Самойленко, Г.Г. Левин, В.Л. Лясковский, К.Н. Миньков, А.Д. Иванов, Применение оптических микрорезонаторов с модами типа “шепчущей галереи” для обнаружения наночастиц серебра в водной среде, Оптика и спектроскопия, том 122, № 6, 133-135, 2017.
5. С.Н. Багаев, Л.Б. Безруков, Н.Л. Квашнин, А.М. Мотылев, С.И. Орешкин, С.М. Попов, В.Н. Руденко, А.А. Самойленко, М.Н. Скворцов, И.С. Юдин, Оптоакустическая гравитационная антенна, Приборы и техника эксперимента, №2, 95-105, 2015.