

**ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
Гранисо Роман Эвелин Алехандры
на тему: «Гибридные системы на основе органических молекул,
помещенных в микрорезонаторы, оперирующие в режимах сильной и
слабой связи свет – вещество»
по специальности 1.3.2. Приборы и методы экспериментальной физики**

Диссертационная работа Гранисо Роман Эвелин Алехандры посвящена исследованию гибридных систем, состоящих из органических молекул и оптических микрорезонаторов Фабри–Перо. В резонансных условиях, в зависимости от силы взаимодействия в такой гибридной системе могут возникать два эффекта: сильная или слабая связь света с веществом. Несмотря на то, что оба эффекта уже давно известны, при взаимодействии света со сложными объектами, например, биологическими молекулами, возникают особенности, детальное изучение которых важно как с научной точки зрения, так и для применения в различных областях, включая медицину. Это подтверждает **актуальность** данной тематики и важность продолжения исследований в этой области.

Диссертация имеет чёткую структуру и состоит из введения, описания теоретических основ, экспериментальной методологии, полученных результатов и заключения.

Во введении, среди прочего, представлены актуальность и новизна темы, а также сформулированы цель и задачи работы.

В первой главе представлен обзор литературы по типам оптических резонаторов с акцентом на оптические резонаторы Фабри–Перо, их характеристики и свойства. Два описанных типа резонаторов Фабри–Перо образованы либо металлическими зеркалами, либо брэгговскими отражателями. Описываются возможные эффекты взаимодействия света и вещества в оптических микрорезонаторах, в частности, сильная и слабая связь

света с веществом, а также приводятся примеры их потенциальных применений.

Во второй главе представлено компьютерное моделирование оптических микрорезонаторов Фабри–Перо, образованных металлическими зеркалами и брэгговскими отражателями, выполненное с использованием метода конечных элементов. Для случая брэгговских отражателей сначала описываются методы определения параметров, используемых в расчетной модели. Сперва рассчитывается показатель преломления слоёв с помощью приближения эффективной среды Бруггемана, затем определяется оптимальная толщина слоёв, а метод матриц переноса позволяет получить оптические свойства микрорезонаторов, такие как спектр отражения или пропускания.

В третьей главе представлена экспериментальная методология исследования взаимодействия света и вещества в оптических микрорезонаторах Фабри–Перо. Представлена экспериментальная установка, в которой микрорезонатор создаётся на основе металлических зеркал. В этой системе для исследования сильной связи света с веществом используется краситель родамин 6G. Для микрорезонаторов, сформированных брэгговскими отражателями, представлена установка для изготовления микрорезонаторов из пористого кремния. В этой системе исследуется эффект слабой связи света с веществом с использованием квантовых точек, а также молекул цитохрома С.

В четвёртой главе представлены результаты, полученные для сильной и слабой связи света с веществом в гибридных системах. Кроме того, приведены результаты оптимизации процесса электрохимического травления микрорезонаторов на основе пористого кремния. Методика оптимизации включает в себя использование временного градиента для выравнивания толщины слоёв, а также введение пауз после травления каждого слоя, что способствует удалению образующихся на поверхности кремния пузырьков водорода, которые мешают процессу травления. Предложенная методика

оптимизации позволила повысить добротность в микрорезонаторов в два раза. Кроме того, описаны результаты по усилению комбинационного рассеяния цитохрома С в микрорезонаторах на основе пористого кремния и управлению его окислительно-восстановительными реакциями.

Новизна работы подтверждается получением оптимизированных оптических микрорезонаторов и результатами исследования взаимодействия света с веществом. К этим результатам относится изменение спектра флуоресценции родамина 6G вследствие сильной связи света с веществом, в частности, образование двух пиков, называемых поляритонами. Кроме того, в результате эффекта слабой связи света с веществом наблюдается сужение спектра излучения квантовых точек, а также уменьшение времени релаксации. Впервые продемонстрировано увеличение сигнала комбинационного рассеяния цитохрома С и контроль окислительно-восстановительных процессов с помощью микрорезонаторов на основе пористого кремния. Эти результаты имеют потенциальные применения в сенсорике и биомедицине, и в целом позволяют управлять взаимодействием света и вещества.

Представленная исследовательская работа является завершённым научным исследованием, содержание которого соответствует целям и названию диссертации. Выносимые на защиту **положения** четко сформулированы. **Достоверность** результатов подтверждается серией проведенных численных расчетов и их согласованием с экспериментальными результатами, а также применением корректной методологии и использованием надлежащего оборудования для проведения исследований. Кроме того, полученные результаты были неоднократно представлены и обсуждены на международных конференциях.

Автореферат соответствует тексту диссертационной работы.

В то же время, по диссертации имеются следующие замечания:

1. В разделе 2.4.1 представлены результаты численного моделирования распределения поля в резонаторе с металлическими цилиндрами. Утверждается, что полученные результаты позволяют определить

оптимальные условия для реализации сильной связи, однако на графике рис 12 усиление наблюдается в одной единственной точке на краю диапазона, поэтому об оптимизации говорить сложно.

2. Не понятно, применим ли предложенный метод оптимизации для повышения добротности микрорезонаторов на основе пористого кремния к другим типам кремниевых подложек с более высоким удельным сопротивлением, так как физические свойства подложки могут существенно влиять на эффективность формирования слоёв микрорезонаторов и достижение требуемого качества резонансного сигнала.
3. Автор использует сокращения, например, «QF», которое не являются общепринятыми. Сокращения используются то на русском, то на английском языке и дублируются, например, на странице 14 – «ФП», на странице 25 «QF» хотя они включены в список сокращений. На странице 17 встречаются англоязычные термины «sensing» и «lasing», которые в данном контексте излишни. На рисунке 3 присутствует сокращение ФЛ, которое не расшифровано.

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 1.3.2. Приборы и методы экспериментальной физики (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 Гранисо Роман Эвелин Алехандра заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.2. Приборы и методы экспериментальной физики.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,
профессор кафедры физики колебаний физического факультета
МГУ имени М. В. Ломоносова

Биленко Игорь Антонович

10.04.2026

Контактные данные:

тел.: [redacted], e-mail: [redacted]

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:

01.04.01 — Приборы и методы экспериментальной физики

Адрес места работы:

119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Московский государственный университет имени
М. В. Ломоносова», кафедра физики колебаний физического факультета
Тел.: 939-40-34; e-mail: igorbilenko@phys.msu.ru

Подпись профессора кафедры физики колебаний физического факультета
МГУ имени М. В. Ломоносова

Биленко Игоря Антоновича удостоверяю:

Начальник
отдела кадр