

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 34.01.02  
ПРИ ФЕДЕРАЛЬНОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ БЮДЖЕТНОМ  
УЧРЕЖДЕНИИ НАУКИ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ  
ИМ. А.Ф. ИОФФЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО  
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

Аттестационное дело № \_\_\_\_\_

Решение диссертационного совета от 24.09.2020 № 10\_

О присуждении Казанову Дмитрию Робертовичу, гражданину РФ, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Оптические резонансные эффекты в полупроводниковых монокристаллических и трубчатых наноструктурах» по специальности 01.04.10 – физика полупроводников принята к защите «18» июня 2020 г., протокол № 7(И), диссертационным советом 34.01.02 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, расположенном по адресу 194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 26, утвержденным 12 июля 2019 г. приказом ФТИ им. А.Ф. Иоффе № 75.

Соискатель Казанов Дмитрий Робертович, 1993 года рождения, окончил Санкт-Петербургский национальный исследовательский Академический университет Российской академии наук (194021, Санкт-Петербург, ул. Хлопина, д. 8, к. 3, лит. А), получив квалификацию магистра в 2016 г. С 2016 по 2020 гг. соискатель проходил обучение в аспирантуре при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук». Соискатель занимает должность и.о. м.н.с. в лаборатории оптики кристаллов и гетероструктур с экстремальной двумерностью Центра физики наногетероструктур Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук.

Диссертационная работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, расположенном по адресу 194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 26.

Официальные оппоненты:

1. доктор физико-математических наук Гиппиус Николай Алексеевич, профессор Центра фотоники и квантовых материалов Автономной некоммерческой образовательной организации высшего профессионального образования

“Сколковский институт науки и технологий”, 121205, г. Москва, территория инновационного центра “Сколково”, Большой бульвар, д. 30, стр. 1;

2. доктор физико-математических наук Кочерешко Владимир Петрович, главный научный сотрудник лаборатории спектроскопии твердого тела Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук», 194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 26,

дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО» (197101, г. Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49) – в своем положительном заключении, подписанном руководителем международной научной лаборатории фотопроцессов в мезоскопических системах, д.ф.-м.н., профессором физико-технического факультета университета ИТМО Иоршом Иваном Владимировичем, утвержденном проректором по научной работе Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО», д.т.н., профессором Никифоровым В.О., отметила, что диссертационная работа выполнена на высоком и современном научном уровне, является весомым вкладом в фундаментальные основы области физики фотонных структур и соответствует профилю совета 34.01.02 (специальность 01.04.10 – физика полупроводников). В отзыве имеются два замечания:

1. В главе 3 диссертации рассматривается резонансный фотонный кристалл на основе 2D бислоев вместо привычных всем квантовых ям. Из текста диссертации не ясно, почему рассматриваются именно два монослоя, а не один или больше монослоев. Также, насколько сложно создавать рассматриваемые структуры?
2. В 4-й главе рассматриваются нанотрубки на основе MoS<sub>2</sub>. Какого типа являлись эти структуры? Кроме того, не обсуждаются причины того, почему в трубках с большим числом монослоев в стенке наблюдаются прямозонные переходы.

Указано, что сделанные замечания не снижают хорошего общего впечатления о работе.

Исследования, результаты которых представлены в диссертационной работе, являются актуальными и своевременными. Результаты диссертации представлены на многочисленных международных и всероссийских научных конференциях, опубликованы в двенадцати статьях в реферируемых журналах. Диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям Положения Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор Казанов Дмитрий Робертович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации связан с их высокой квалификацией, а также сходством тематик работ, проводимых ведущей организацией и

оппонентами, с тематикой диссертационной работы. На все замечания соискателем даны исчерпывающие квалифицированные ответы.

На автореферат поступило 6 отзывов, все они положительные.

Отзыв доктора физико-математических наук Фирсова Дмитрия Анатольевича, профессора высшей инженерно-физической школы Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая 29, 2-й учебный корпус). Отзыв положительный, без замечаний.

Отзыв кандидата физико-математических наук Шорохова Александра Сергеевича, младшего научного сотрудника кафедры Квантовой электроники физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1). Отзыв положительный, замечание:

1. Из текста диссертации не ясно, каким именно методом были проведены расчеты оптического отклика рассматриваемых структур (в частности, когда речь идет о спектрах нанотрубок), а также распределения локальных полей в резонаторах.

Отзыв доктора физико-математических наук Калитеевского Михаила Алексеевича, главного научного сотрудника Санкт-Петербургского национального исследовательского Академического университета им. Ж.И. Алфорова Российской академии наук (194021, г. Санкт-Петербург, ул. Хлопина, д. 8, к. 3, лит. А). Отзыв положительный, замечание:

1. Небольшим недостатком автореферата является краткость описания используемых экспериментальных и численных методик.

Отзыв доктора физико-математических наук Нестоклона Михаила Олеговича, старшего научного сотрудника сектора теории когерентных явлений в твердом теле Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук (194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 26). Отзыв положительный, замечание:

1. В разделе 2 изучаются высококачественные чашеобразные микрорезонаторы, в которых “формируются квази-моды шепчущей галереи низкого порядка”. Из приведенного рисунка непонятно, почему такие моды (с угловым моментом 3) имеет смысл называть модами шепчущей галереи.

Отзыв доктора физико-математических наук Гавриленко Владимира Изяславовича, врио директора Института физики микроструктур РАН, профессора, зав. отделом физики полупроводников Института физики микроструктур РАН (603950, Нижний Новгород, ГСП-105). Отзыв положительный, без замечаний.

Отзыв доктора физико-математических наук Кулаковского Владимира Дмитриевича, член-корр. РАН, профессора, главного научного сотрудника Института физики твердого тела РАН (142432, Московская обл., Черноголовка, ул. Академика Осипьяна д. 2). Отзыв положительный, замечание:

1. Небольшим недостатком реферата является краткость описания используемых методик, что, впрочем, вполне объяснимо с учетом широкого спектра рассмотренных явлений.

Диссертационный совет отмечает, что на **основании выполненных соискателем исследований** решен комплекс задач, которые являются актуальными для области физики фотонных наноструктур:

- 1) Проведено численное моделирование оптических мод в чашеобразных микрорезонаторах на основе  $A_3$ -нитридов. Изучено влияние температуры на частоты собственных мод и на характер распределения электромагнитного поля в микрорезонаторах.
- 2) Дано объяснение усилению сигнала от вставки одиночной квантовой ямы InGaN внутри нанокolonки на основе GaN, а также в области микрокольцевого резонатора, полученного в одном ростовом цикле с нанокolonкой.
- 3) Построена модель замедления света в резонансных фотонных кристаллах со сложной элементарной ячейкой на основе соединений  $A_2B_6$  и 2D бислоев дихалькогенидов переходных металлов.
- 4) Построена модель для объяснения особенностей спектров микрофотолюминесценции, связанных с оптическими модами в одиночных нанотрубках на основе  $MoS_2$ .
- 5) Рассмотрены условия формирования экситон-поляритонов между экситонным резонансом и оптическими модами в нанотрубках на основе  $MoS_2$  и их проявление в спектрах излучения.

**Практическая значимость** состоит в следующем:

- 1) Предложена методика определения показателя преломления материала монокристаллического полупроводникового микрорезонатора на основе  $A_3$ -нитридов в составе интегральной структуры путем моделирования собственных частот оптических мод, наблюдаемых в спектрах микрофотолюминесценции, с учетом пространственного распределения электромагнитного поля.
- 2) Предложен новый дизайн резонансных фотонных кристаллов на основе соединений  $A_2B_6$ , а также 2D бислоев дихалькогенидов переходных металлов для замедления сверхкоротких импульсов света с малым искажением формы импульса.
- 3) Показано, что нанотрубчатые структуры на основе дихалькогенидов переходных металлов могут функционировать в качестве микрорезонаторов с модами шепчущей галереи, обеспечивающих селективное усиление и поляризацию сигнала.
- 4) Показана возможность формирования экситон-поляритонов в нанотрубках с большим расщеплением Раби, что может служить базисом для создания трубчатых нанофотонных элементов, совместимых с чиповой технологией.

Диссертация является законченным, последовательным и согласованным научным трудом, имеющим как фундаментальное, так и прикладное значение.

**Достоверность и надежность результатов.**

Основные положения и выводы диссертации надежно обоснованы. Для их получения использовались современные расчетные методики, базирующиеся на хорошо развитых физических моделях. Достоверность результатов подтверждается хорошим совпадением результатов моделирования с экспериментальными результатами, полученными передовыми методиками исследования резонаторных структур, такими как микро-фотолюминесценция и микро-катодолюминесценция. Результаты работы опубликованы в авторитетных рецензируемых международных журналах.

**Апробация работы.** Результаты, вошедшие в данную работу, докладывались на следующих российских и международных конференциях: Международной школе “Saint-Petersburg OPEN” (Санкт-Петербург, 2015-2017), Международном симпозиуме “Нанопизика и наноэлектроника” (Нижний Новгород 2015, 2017), Молодежной конференции по физике полупроводников и наноструктур, полупроводниковой опто- и наноэлектронике (Санкт-Петербург, 2016, 2017), International conference on superlattices, nanostructures and nanodevices (ICSNN-2018, Мадрид, Испания), International conference on the physics of semiconductors (ICPS-2018, Монпелье, Франция), XIV Российской конференции по физике полупроводников (Новосибирск, 2019), а также на Низкоразмерном семинаре ФТИ им А.Ф. Иоффе.

**Личный вклад автора.** Автор анализировал экспериментальные данные и проводил численное моделирование оптических свойств резонаторных монокристаллических структур. Автор участвовал в построении теоретических моделей для описания замедления сверхкоротких импульсов света при прохождении через резонансные фотонные кристаллы и для описания проявлений оптических мод в излучении дихалькогенидных нанотрубок. Проводил численные расчеты, обрабатывал полученные результаты и участвовал в подготовке публикаций.

По результатам исследований, составляющих содержание диссертации, опубликовано 12 научных работ. Все статьи опубликованы в реферируемых журналах, включенных в систему цитирования Web of Science. Среди опубликованных статей по теме диссертации наиболее важными являются следующие (в скобках указан личный вклад автора):

1. D. Kazanov, M. Rakhlin, A. Poshakinskiy, T. Shubina. Towards exciton-polaritons in an individual MoS<sub>2</sub> nanotube // *Nanomaterials* 10, 373 (2020). (Численное моделирование, анализ экспериментальных данных, подготовка статьи)
2. D.R. Kazanov, A.V. Poshakinskiy, V.Yu. Davydov, A.N. Smirnov, I.A. Eliseyev, D.A. Kirilenko, M. Remskar, S. Fathipour, A. Mintairov, A. Seabaugh, B. Gil, T.V. Shubina. Multiwall MoS<sub>2</sub> tubes as optical resonators // *Applied Physics Letters* 113, 101106 (2018). (Численное моделирование, участие в разработке модели и подготовке статьи)
3. D.R. Kazanov, A.V. Poshakinskiy, T.V. Shubina. Resonant photonic crystals based on van der Waals heterostructures for effective light pulse retardation // *Superlattices and Microstructures* 112, 639-643 (2017). (Численное моделирование, участие в разработке модели и подготовке статьи)
4. T.V. Shubina, G. Pozina, V.N. Jmerik, V.Yu. Davydov, C. Hemmingsson, A.V. Andrianov, D.R. Kazanov, S.V. Ivanov. III-nitride tunable cup-cavities supporting quasi whispering gallery modes from ultraviolet to infrared // *Scientific Reports* 5, 17970 (2015). (Численное моделирование,

анализ экспериментальных данных)

На заседании 24 сентября 2020 г. диссертационный совет принял решение присудить Казанову Д.Р. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования членов диссертационного совета в количестве 20 человек, из них 13 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, проголосовали:

За присуждение Казанову Дмитрию Робертовичу ученой степени кандидата физико-математических наук

подано голосов – 20.

Против – 0.

Недействительных бюллетеней – 0.

Председатель диссертационного совета,  
академик РАН, доктор физ.-мат. наук, профессор

Сурис Роберт Арнольдович

Ученый секретарь диссертационного совета,  
доктор физ.-мат. наук

Сорокин Лев Михайлович

24 сентября 2020 г.