

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Лебедева Дениса Владимировича
«Методы управления оптическим излучением и ионным транспортом в наносистемах:
неупругое туннелирование электронов и твердотельные нанопоровые мембраны»,
представленной на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по
специальности 1.3.2 «Приборы и методы экспериментальной физики»

Диссертационная работа Лебедева Дениса Владимировича посвящена разработке методов создания и исследования наносистем для двух важнейших областей современной физики: оптоэлектроники и нанофотоники (управление оптическим излучением) и биосенсорики (управление ионным транспортом). Работа носит преимущественно экспериментальный характер. Актуальность темы не вызывает сомнений и обусловлена стремительным развитием нанотехнологий, необходимостью миниатюризации источников света для фотонных интегральных схем, а также потребностью в создании синтетических аналогов биологических ионных каналов для фундаментальных исследований и медицинских приложений.

Диссертация состоит из четырех глав. Первая глава носит вводный характер и посвящена обзору литературы в области исследования электронного и ионного транспорта в твердотельных наноструктурах. Вторая и третья главы посвящены вопросам создания металлических наноструктур и исследованию туннельного транспорта в таких системах. В четвертой главе рассматриваются особенности ионного транспорта в пористых структурах. Не являясь специалистом в области микрофлюидики, могу квалифицированно оценить только часть диссертации, посвященную исследованию неупругого туннелирования в металлических наноструктурах с испусканием фотонов (главы 2 и 3).

Судя по автореферату, одним из ключевых достижений диссертанта является создание сложной установки на базе сканирующего туннельного микроскопа (СТМ) Омикрон с возможностью регистрации оптического и ИК излучения из области туннельного контакта. Система с такими возможностями (СТМ-Л) является крайне необычной и редко встречающейся в российском секторе исследовательских групп, занимающихся физикой поверхности. Это обстоятельство и позволило диссертанту получить ряд интересных результатов мирового уровня на стыке физики туннельных явлений и нанофотоники. Заслуживает внимания метод непрямого детектирования излучения при неупругом туннелировании электронов путем анализа вольт-амперных характеристик туннельного контакта (п. 1 положений, выносимых на защиту). Также представляет интерес разработка методик формирования гибридных Si/Au наноантенн методом СТМ-наноитографии и исследования структурных и оптических свойств массивов наноструктур, полученных фемтосекундной лазерной печатью. Автором убедительно показано, что такие структуры

позволяют реализовать электроуправляемые наноразмерные источники света, работающие в различных спектральных диапазонах (видимом и ближнем ИК) за счет возбуждения как собственных, так и коллективных оптических мод (п. 2-3 положений, выносимых на защиту). Особого внимания заслуживает реализация концепции монолитной интеграции наноразмерного источника излучения (кристаллической вюрцитной вставки в нитевидный нанокристалл GaP) с полупроводниковым нановолноводом, что является элегантным решением проблемы эффективного ввода излучения (п. 4 положений, выносимых на защиту).

Научная новизна и достоверность работы не вызывают сомнений и обеспечена использованием современного, взаимодополняющего экспериментального оборудования (сверхвысоковакуумный СТМ, растровая и просвечивающая электронная микроскопия, оптическая спектроскопия, электрохимические методы), корректным применением теоретических моделей и численного моделирования, а также воспроизводимостью данных и их согласием с мировым научным контекстом. Практическая значимость работы очевидна и заключается в создании конкретных методик и прототипов устройств (источники излучения, управляемые мембраны, нанопоровые чипы), которые могут быть использованы при разработке оптоэлектронных интегральных схем и высокочувствительных биосенсоров нового поколения.

Основные результаты диссертации прошли широкую апробацию на многочисленных всероссийских и международных конференциях и опубликованы в 30 ведущих рецензируемых журналах (таких как *Journal of Physical Chemistry Letters*, *Advanced Optics Materials*, *Advanced Engineering Materials*, *Physical Review Letters*, *Физика твердого тела*, *Письма в Журнал технической физики* и др.), что полностью соответствует требованиям к докторским диссертациям. Отмечу, что я неоднократно присутствовал на устных докладах, представляемых Лебедевым Денисом Владимировичем на Международном симпозиуме «Нанопизика и наноэлектроника» (Нижний Новгород, 2022, 2023, 2024, 2025, 2026) и Всероссийской конференции «Особенности применения сканирующей зондовой микроскопии в вакууме и различных средах» (Черноголовка, 2020, 2022, 2023, 2025) и могу лично оценить высокий уровень исследований, культуру ведения дискуссии и представления научных результатов.

Автореферат написан профессионально и аккуратно. Тем не менее, при его прочтении возникли следующие вопросы и замечания, которые носят характер уточнения или пожелания:

1. Было бы неплохо сравнить карты локальной туннельной проводимости (зависимости dI/dV от латеральных координат x, y на энергиях, соответствующих началу оптических переходов) с картой интенсивности оптического излучения на заданной длине волны

как функции положения СТМ-зонда. Это позволило бы установить соответствие между особенностями топографии, локальных электронных и оптических свойств.

2. Было бы неплохо изучить вопрос, зависит ли интенсивность оптического излучения от формы СТМ-иглы и наличия долгоживущих резонансных состояний в области туннельного перехода. Остроту иглы и наличие резонансных состояний можно было бы легко детектировать по характерному виду спектров гундлаховских осцилляций проводимости dl/dV или скорости смещения иглы dZ/dV при проведении Z-V спектроскопии в режиме заданного тока (см., например, Aladyshkin, Journal of Physics: Condensed Matter, v. 32, 435001 (2020); Aladyshkin and Schouteden, Journal of Physical Chemistry C, v. 126, 13341 (2022)).
3. Зависит ли интенсивность оптического излучения в Si/Au наноантеннах от наличия или отсутствия кристаллической фазы в исследуемых образцах? Проводились ли дополнительные исследования (например, спектроскопия комбинационного рассеяния и спектроскопия неупругих потерь) для подтверждения наличия разных фаз в сформированных наноструктурах?

Диссертационная работа Лебедева Дениса Владимировича представляет собой масштабное и оригинальное научное исследование, выполненное на высоком экспериментальном уровне. Работа вносит существенный вклад в понимание процессов транспорта заряда через наноразмерные структуры и открывает новые возможности для создания функциональных устройств оптоэлектроники и микрофлюидики. Судя по автореферату, диссертация полностью соответствует паспорту специальности 1.3.2 — «Приборы и методы экспериментальной физики», а также требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. (в действующей редакции), предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор — Лебедев Денис Владимирович — заслуживает присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по указанной специальности.

Ведущий научный сотрудник
Института физики микроструктур РАН,
доктор физико-математических наук, доцент



Аладышкин А. Ю.
18 марта 2026 г

Данные об авторе отзыва:

Аладышкин Алексей Юрьевич, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник отдела физики сверхпроводников Института физики микроструктур РАН – филиала ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук, Нижний Новгород, доктор физико-математических наук по специальности 01.04.07 — физика конденсированного состояния (2021), доцент по специальности 1.3.8 — физика конденсированного состояния (2026).

Контактная информация:

603087, Нижний Новгород, д. Афоново, ул. Академическая, д. 7

e-mail: aladyshkin@ipmngas.ru, служебный телефон: (831) 417-94-85 (+311)

Я, Аладышкин Алексей Юрьевич, даю свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета в ИАП РАН и их дальнейшую обработку

Аладышкин А.Ю.

Подпись Аладышкина Алексея Юрьевича удостоверяю:



Ученый секретарь ИФМ РАН, к.ф.-м.н.

Гапонова Д. М.