

ОТЗЫВ

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

Представленный автореферат посвящён исследованию фундаментальных процессов генерации оптического излучения при неупругом туннелировании электронов, а также управлению транспортом ионов в наноструктурах различной природы.

Актуальность темы диссертационного исследования не вызывает сомнений. В последние годы активно развиваются направления наноразмерной фотоники и нанофлюидики, связанные с созданием компактных источников излучения и управляемых транспортных систем на наноуровне. Решение задач генерации света с электрическим управлением, а также контроля ионного транспорта в нанопорах имеет принципиальное значение для создания интегральных фотонных и сенсорных устройств нового поколения.

Автором выполнен большой объём экспериментальных и теоретических исследований. В работе использован комплекс современных методов, включая сканирующую туннельную микроскопию, спектроскопию туннельного контакта, оптические методы регистрации излучения, а также численное моделирование. Это позволяет говорить о высокой степени достоверности полученных результатов.

В первой части работы предложен и реализован метод непрямого наблюдения излучения, возникающего при неупругом туннелировании электронов, на основе анализа вольт-амперных характеристик. Показано, что особенности на ВАХ коррелируют с локальной плотностью оптических состояний и плазмонными резонансами. Полученные результаты хорошо согласуются с данными оптической спектроскопии и моделирования, что свидетельствует о корректности предложенного подхода.

Особый интерес представляет исследование плазмонных свойств наноструктур, сформированных методом фемтосекундной лазерной печати. Установлено наличие как локализованных, так и коллективных плазмонных мод в видимом и инфракрасном диапазонах, что открывает возможности для создания перестраиваемых источников излучения.

В работе также предложена и экспериментально реализована концепция наноразмерного источника света, интегрированного в волновод на основе нитевидных нанокристаллов GaP. Показано, что за счёт особенностей кристаллической структуры и легирования возможно управление механизмами генерации излучения. Данный результат имеет существенную научную и практическую значимость.

Значительное внимание уделено исследованию ионного транспорта в нанопористых мембранах и одиночных нанопорах. Показано, что нанесение проводящего покрытия и внешнее электрическое поле позволяют управлять ионной проводимостью и селективностью мембран. Кроме того, обнаружен эффект изменения проводимости нанопор под действием оптического излучения, обусловленный фотоиндуцированными поверхностными процессами.

Научная новизна работы заключается в:

- разработке метода непрямого анализа СТМ-индуцированного излучения;
- визуализации излучательной локальной плотности оптических состояний в наноструктурах;
- создании электроуправляемых источников света на наноуровне;
- демонстрации управления ионной проводимостью электрическим и оптическим воздействием.

Практическая значимость результатов связана с возможностью их использования при разработке интегральных фотонных схем, сенсоров и нанофлюидных устройств.

К числу замечаний можно отнести следующее:

1. Известно, что на достоверность результатов в режиме сканирующей туннельной спектроскопии в сверхвысоком вакууме существенно влияет слой загрязнений в виде адсорбированных на поверхности иглы СТМ атомов или молекул. Однако, в автореферате ничего не говорится, как контролировалась чистота поверхности иглы и была ли ее предварительная обработка перед началом измерений (например, термоотжиг).

2. Не совсем удачно сформулирована цель работы, которая состоит из двух не связанных общей идеей частей: «... (1) создание методов и исследование усиления генерации света... и (2) управления транспортом ионов...». Возможно более удачной была бы формулировка как «...является создание методов управления транспортом

носителей заряда через различные среды и исследование связанных с этим эффектов для создания функциональных наносистем оптоэлектроники...».

3. Некоторые формулировки новизны не совсем конкретны:

А) В пункте 1 не указано на каких системах были установлены «... соответствие между напряжением на локальном туннельном спектре...и длиной волны излучения...» Насколько это понятно из автореферата это было сделано на золотых пленках и структурах, изготовленных на их основе.

Б) В пункте 3 не упоминается, что результаты получены на наноструктурах в виде золотых полусфер, а не на каких-либо еще.

4. При обсуждении полученных экспериментальных результатов не всегда проводится полный анализ полученных данных. Например, при анализе рис. 1 с ВАХ, полученными на золотых пленках, автор сосредотачивается только на диапазоне 1.6-1.8В. При этом приведенные ВАХ ограничены величиной в 2 В (рис. 1а, б), а оптический сигнал исследуется до 3 В (рис. 1в) и достигает регистрируемых значений при значениях больше 1.8В, что находится на границе диапазона полученных ВАХ. При этом особенности зависимости dI^2/d^2V наблюдаемые в области 0.5 В не обсуждаются. На них обращают внимание только при анализе ВАХ полученных на наноструктурах типа нанобамп (рис. 6, 7).

5. При обсуждении создания Si/Au наноантенн (рис. 4, 5) ничего не сказано о возможности переноса материала (Au) не только из-под пленки кремния, покрывающего золото, но и с поверхности используемого для создания импульса тока Pt/Ir зонда. Это может привести к созданию нанодисков с более сложным химическим составом и свойствами отличными от обсуждаемых дисков из золота и кремния.

6. Список публикаций автора по теме диссертации недостаточно информативен. Не во всех публикациях присутствует фамилия диссертанта (иногда указана только фамилия первого автора и «др.»). Желательно также было привести DOI публикаций.

Отмеченные замечания не носят принципиального характера и не снижают общей высокой оценки работы.

Согласно автореферату, диссертационная работа Лебедева Дениса Владимировича представляет собой оригинальное исследование, выполненное на высоком научном уровне. Работа соответствует 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 заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук,

д.ф.-м.н., проф., г.н.с. лаборатории физики и химии поверхности,
Казанского физико-технического института им.Е.К.Завойского –
обособленного структурного подразделения Федерального
государственного бюджетного учреждения науки
«Федеральный исследовательский центр «Казанский научный
центр Российской академии наук»

Почтовый адрес: Российская Федерация, Республика Татарстан,
420029, г.Казань, ул. Сибирский тракт, д. 10/7

Телефон: +7-927-245-80-29

Электронная почта: a_bukharaev@mail.ru

Дата 25 марта 2026

на обработку персональных данных согласен

Бухараев Анастас Ахметович

Подпись заверено



к.ф.-м.н., с.н.с. лаборатории физики и химии поверхности,
Казанского физико-технического института им.Е.К.Завойского –
обособленного структурного подразделения Федерального
государственного бюджетного учреждения науки
«Федеральный исследовательский центр «Казанский научный
центр Российской академии наук»

Почтовый адрес: Российская Федерация, Республика Татарстан,
420029, г.Казань, ул. Сибирский тракт, д. 10/7

Телефон: +79033419458

Электронная почта: niazn@mail.ru

Дата 25 марта 2026

на обработку персональных данных согласен

Нургазизов Нияз Ильгизович

Подпись заверено

