

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

Аттестационное дело № _____
Решение диссертационного совета от 23.01.2025 № 1

О присуждении Ненашеву Григорию Васильевичу, гражданину РФ, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Электрические и оптические свойства углеродных наноструктур и их композитов с полупроводниковыми полимерами и перовскитами» по специальности 1.3.11. – «Физика полупроводников» принята к защите «21» ноября 2024 г., протокол №9, 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, утверждённым 12 июля 2019 г. приказом директора ФТИ им. А.Ф. Иоффе №75.

Соискатель Ненашев Григорий Васильевич, 29 декабря 1995 года рождения, в 2014 году поступил в Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет “ЛЭТИ им. В.И. Ульянова (Ленина)”», который окончил в 2018 году по направлению «Электроника и нанoeлектроника» (бакалавриат). В 2018 году поступил в магистратуру того же университета и завершил обучение в 2020 году по направлению «Нанотехнологии и микросистемная техника». С 2020 года по настоящее время работает младшим научным сотрудником в лаборатории неравновесных процессов в полупроводниках ФТИ им. А.Ф. Иоффе.

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

Научный руководитель – Алешин Андрей Николаевич

доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, зам. руководителя отделения твердотельной электроники, зав. лаб. неравновесных процессов в полупроводниках Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

1. **Аверкиев Никита Сергеевич**, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник, заведующий сектором теории оптических и электрических явлений в полупроводниках Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук», дал положительный отзыв на диссертацию.

В отзыве содержится 6 замечаний:

1. Стр.95. Указано, что для перовскита с бромом начало края поглощения находится при длине волны около 540 нм, однако из рис.24 это не очевидно. Необходимы пояснения. Возможно, покрытие полимером помогает установить край, тогда на это надо указать.
2. Стр.106. На рис.28 приведенное распределение наночастиц по размерам-надо аппроксимировать логнормальным распределением, поскольку именно это распределение наиболее адекватно экспериментальным данным по распределению частиц по размерам, поскольку оно и несимметрично, и определено только для положительных величин.
3. Стр.111. На рис.34 а и б изображены мнимые и вещественные части импеданса. Из рис. 34 не ясно, насколько выполнен закон Ома, когда должно быть $(\text{Im}/Z) * (\text{Im}/Z) + (\text{Re}/Z) * (\text{Re}/Z) = 1$.
4. Стр. 113 Указано, что пленка с углеродными квантовыми точками обладает низким сопротивлением при комнатной температуре и оно уменьшается с понижением температуры. Необходимо пояснить, какие эффекты могут объяснять такое поведение сопротивления.
5. Стр.124 На рис.44 приведены спектры поглощения и фотолюминесценции композитной пленки из углеродных квантовых точек и полимеров и указано, что их оптические свойства могут быть объяснены синергетическим эффектом взаимодействия между квантовыми точками и полимером. Это не объяснение, синергетических эффектов нет, это жаргон. Необходимо пояснение на физическом языке. В целом в диссертационной работе имеется заметное число не вполне устоявшихся терминов, на которые соискателю было указано.
6. Стр.147. Приведена формула похожа на выражение для емкости рп перехода, но формула для емкости рп перехода содержит при слагаемом kT/e множитель $\ln(pp/nn)$. В (9) этого множителя нет и нет пояснений. Тогда вопрос- правильна ли оценка для потенциального барьера V_{bi} ?

В отзыве отмечено, что диссертация Ненашева Г.В. демонстрирует высокую степень новизны и научной проработки, её результаты подтверждены современными методами исследований, а выводы обоснованы экспериментально.

2. **Захарова Ирина Борисовна**, кандидат физико-математических наук, доцент Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», дала положительный отзыв на диссертацию.

В отзыве содержится 4 замечания:

1. В работе не везде приведены толщины изученных тонких композитных пленок, что не позволяет оценить значения напряженности электрического поля в образцах и соотношения толщины пленок с размером конгломератов и нановключений.
2. За счет чего наночастицы GO работают как ловушки? Если это в основном поверхностные (краевые) эффекты, как влияет размер наночастиц?

3. На стр. 106 названы пики поглощения 610 нм и фотолюминесценции 500 нм образцов CQDs+MAPbBr₃ (рис. 29 и 30). Очевидно, на длине волны 610 нм мы не наблюдаем пика поглощения материала.
4. Чем может объясняться резкое изменение электропроводности композита CQDs+PEDOT:PSS в диапазоне от 3% до 5% PEDOT:PSS? Как это может быть связано с сильным изменением электропроводности этого образца от времени на рис. 47?

В отзыве указано, что отмеченные недостатки не носят принципиального характера и не снижают общую высокую оценку уровня диссертационной работы.

Ведущая организация — Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» — предоставила положительное заключение на диссертацию. Заключение подготовлено профессором кафедры электроники твердого тела Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», доктором физико-математических наук Комоловым Алексеем Сергеевичем и утверждено заведующим кафедрой электроники твердого тела СПбГУ, профессором, доктором физико-математических наук Александром Петровичем Барабаном. В заключении указано, что по актуальности поставленных задач, объему выполненных исследований, научной и практической значимости полученных результатов, представленная работа полностью удовлетворяет требованиям Положения о присуждении ученых степеней Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

В отзыве содержится 5 замечаний:

1. Поясните, пожалуйста, какой фактический размер микрокристаллита металлоорганического перовскита Вы использовали в работе, так как на Рис. 23, стр. 94 показаны только состав и схематический вид перовскита. Как можно оценить расстояние между соседними микрокристаллитами?
2. По Рис. 26 «Зонная энергетическая диаграмма» поясните, пожалуйста, следующее. Почему в области ИТО отмечено 2 граничных уровня? При указании энергетических значений расположения граничных орбиталей или уровней не указаны источники этих данных. Понятно, что для достаточно хорошо изученных материалов: ИТО, PCBM, PEDOT:PSS – эти значения известны из литературы, но и в разных литературных источниках можно встретить различающиеся значения энергий НОМО и LUMO в зависимости от условий формирования слоев. Особенно интересует, как автор установил значения энергий граничных уровней исследованного им перовскита MAPbBr₃ с точностью до 0.01 эВ.
3. В ходе исследований, описанных в Разделе 4.7, была ли возможность различить, движение носителей какого знака исследовано в ходе проведения экспериментов.
4. В Выводах к Главе 4 утверждается, что вольт-амперные характеристики показывают, что пленка CQDs не реагирует на свет, а композитная пленка CQDs+MAPbBr₃ реагирует на свет. В тексте Главы явным образом не указано, какой длины волны, плотности мощности освещение использовали для проведения экспериментов.

5. В дополнение к исследованиям стабильности такого изученного в работе материала, как композит квантовых точек (CQDs), и проводящего полимера (PEDOT:PSS), целесообразно было бы более подробно рассмотреть влияние факторов окружающей среды (например, влажности, температуры). Это повысило бы ценность рекомендаций по практическому применению исследованных материалов в реальных приборных структурах.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обуславливался их высокой репутацией, а также сходством тематик работ, проводимых ведущей организацией и оппонентами, с тематикой диссертационной работы. В ходе защиты на все замечания соискателем даны исчерпывающие ответы.

На автореферат поступило 5 отзывов:

1) **Отзыв член-корр. РАН, профессора, д.ф.-м.н. Хохлова Дмитрия Ремовича**, заведующего кафедрой общей физики и физики конденсированного состояния физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (Ленинские горы, д.1, стр. 2, Москва, Россия, 119991), отзыв положительный.

В отзыве замечания отсутствуют.

В отзыве указано, что содержание автореферата позволяет заключить, что диссертация удовлетворяет всем критериям, установленным для кандидатских диссертаций, а ее автор Г.В. Ненашев заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11. — «Физика полупроводников».

2) **Отзыв д.т.н. Гриценко Владимира Алексеевича**, главного научного сотрудника лаборатории физических основ материаловедения кремния Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН» (пр. ак. Лаврентьева, 13, Новосибирск, Россия, 630090), отзыв положительный.

В отзыве содержатся 2 замечания:

1. Эффекты резистивного переключения описаны с точки зрения механизма захвата носителей в оксиде графена. Возникает вопрос: были ли проведены дополнительные расчёты или эксперименты для построения энергетических зонных диаграмм этих структур? Это могло бы уточнить физическую картину процессов переключения.
2. Мемристор продемонстрировал время переключения 40 нс. Однако интересно было бы узнать, каковы эксплуатационные ограничения таких устройств, например, стабильность характеристик при длительной эксплуатации и циклировании.

В отзыве указано, что замечания не снижают общей положительной оценки работы. Представленные в диссертационной работе результаты являются актуальными и практически значимыми. Работа выполнена на высоком научно-техническом уровне, а автору удалось достигнуть поставленных целей, что подтверждается выводами и публикациями в высокорейтинговых журналах. Диссертация соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор, Ненашев Григорий Васильевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11 – «Физика полупроводников».

3) **Отзыв к.х.н. Баранова Андрея Николаевича**, ведущего научного сотрудника кафедры неорганической химии химического факультета Московского

государственного университета имени М.В. Ломоносова (Ленинские горы, д.1, стр. 2, Москва, Россия, 119991), отзыв положительный.

В отзыве содержатся 6 замечаний:

1. В автореферате отсутствует список сокращений.
2. В автореферате не описаны ни геометрия измерительных структур, ни состав электродов.
3. Отсутствуют сведения об использованном оксиде графена (содержание кислорода, морфологии частиц и т.п.).
4. При обсуждении результатов на Рис. 1 возникает полимер [60]PCBM, который до этого не обсуждался в автореферате в качестве объекта исследований.
5. Не совсем понятна мотивация исследования пленок из УКТ.
6. Вывод о наличии в перовскитах ионной проводимости недостаточно обоснован.

В отзыве отмечено, что указанные замечания не влияют на положительное впечатление от работы. Работа полностью соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор, Ненашев Григорий Васильевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11 – «Физика полупроводников».

4) **Отзыв д.ф.-м.н. Дёмина Вячеслава Александровича**, первого заместителя руководителя по научной работе Курчатовского комплекса НБИКС-природоподобных технологий, НИЦ «Курчатовский институт» (пл. Академика Курчатова, д.1, Москва, Россия, 123182), отзыв положительный.

В отзыве содержатся 2 замечания:

1. Согласно рис. 13, а также подробному описанию процесса резистивного переключения образца мемристорного устройства на основе $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3:\text{GO}$, при низких значениях напряжения и обоих полярностях реализуется состояние с высоким сопротивлением, тогда как состояние с низким сопротивлением возможно только при приложении к структуре высокого по модулю напряжения ($> 2 \text{ В}$). Вообще говоря, в изначальном понимании термина «мемристор», исследованное устройство к нему не относится, так как не является энергонезависимым носителем программируемого резистивного состояния. В то же время, такой элемент можно отнести к более широкому понятию «мемристивное устройство», под которым подразумевают любое устройство с гистерезисом на вольт-амперных характеристиках. Область применения таких устройств ограничена.
2. На рис. 17 и в тексте автореферата, к сожалению, не приведены значения показателя степени в температурной зависимости предполагаемого прыжкового типа проводимости для пленок $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3:\text{GO}$ и, более того, сам рисунок представлен в неподходящих координатах для выявления такого типа зависимости: не в координатах $\log(\sigma) - T^{-1/2}$, а в координатах $\log(R) - T^{-1}$, из которой сложно установить искомый тип проводимости. Не ясно тогда, на каком основании сделан вывод о предполагаемом типе проводимости.

В отзыве отмечено, что данные замечания не снижают значимости выполненного исследования и, в целом, работа заслуживает высокой оценки за ее актуальность, научную новизну и практическую значимость. Работа соответствует всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Григорий Васильевич Ненашев,

заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11 – «Физика полупроводников».

5) **Отзыв д.ф.-м.н. Лукьянова Валерия Дмитриевича**, старшего научного сотрудника Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного (Тихорецкий проспект, д.3, Санкт-Петербург, Россия, 194064), отзыв положительный.

В отзыве содержатся 3 замечания:

1. На рис. 19 (в) приведена эквивалентная электрическая схема для исследуемых пленок, но не приведены характерные значения элементов R и C самой схемы. Для обоснования достоверности эквивалентной схемы полезно было бы привести на графиках на рисунке 19 соответствующие зависимости, полученные для эквивалентной схемы.
2. Научная и практическая ценность диссертации раскрыта достаточно формально и не соответствует глубоким научным результатам, полученным соискателем в диссертационной работе.
3. В разделе «Публикации» и в списке публикаций не указано, какие из них опубликованы в журналах из списка ВАК.

В отзыве отмечено, что замечания носят рекомендательный характер и не снижают общую положительную оценку диссертации. Диссертация выполнена на высоком научном уровне, а ее содержание соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-Техническом институте имени А.Ф. Иоффе Российской Академии Наук», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Ненашев Григорий Васильевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11 – «Физика полупроводников».

Публикации. Личный вклад автора.

Все приведенные в тексте диссертации результаты были получены непосредственно автором или при его личном участии. Автор принимал участие в обсуждении постановки целей и задач, проведении экспериментов, обработке данных, анализе результатов, в апробации работ на конференциях, семинарах и подготовке результатов исследований к публикациям.

Соискатель докладывал результаты работы на следующих российских и международных конференциях:

1. Всероссийский симпозиум с международным участием, посвященный 125-летию со дня рождения академика Н.Н. Семенова, «Физика и химия процессов и материалов: от идей к современной технике и технологии», Санкт-Петербург, Россия, 26-28 апреля 2021 г.
2. XII Международная конференция «Аморфные и микрокристаллические полупроводники», Санкт-Петербург, Россия, 5-7 июля 2021 г.
3. Четвертая международная конференция «Физика — наукам о жизни», Санкт-Петербург, Россия, 11-14 октября 2021 г.
4. XXIII Всероссийская молодежная конференция по физике полупроводников и наноструктур, полупроводниковой опто- и наноэлектронике, Санкт-Петербург, Россия, 22-26 ноября 2021 г.
5. XV Российская конференция по физике полупроводников, Нижний Новгород, Россия, 3-7 октября 2022 г.

6. Международная конференция «Физика.СПб», Санкт-Петербург, Россия, 17-21 октября 2022 г.
7. 25-я Всероссийская молодежная научная конференция «Актуальные проблемы физической и функциональной электроники», Ульяновск, Россия, 25-27 октября 2022 г.
8. The Anniversary 10th International School and Conference on Optoelectronics, Photonics, Engineering and Nanostructures “SPb OPEN–2023” Санкт-Петербург, Россия, 23-26 мая 2023 г.
9. XIII Международная конференция «Аморфные и микрокристаллические полупроводники», Санкт-Петербург, Россия, 3-5 июля 2023 г.
10. Международный симпозиум “Нанозфизика и Наноматериалы” (НиН – 2023), Санкт-Петербург, Россия, 22-23 ноября 2023 г.
11. Научный семинар лаборатории А.Н. Алешина, Санкт-Петербург, Россия, 1 июля 2024 г.

По результатам диссертации опубликовано 22 работы, в том числе 12 статей в рецензируемых научных журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, и 10 тезисов в трудах российских конференций.

Основные публикации:

1. Архипов А.В., Ненашев Г.В., Алешин А.Н. Эффект резистивного переключения и памяти в композитных пленках на основе оксида графена в матрице металлоорганических перовскитов. ФТТ, т.63, 4, 559 – 563 (2021).
2. Ненашев Г.В., Истомина М.С., Щербиков, И.П., Швидченко А.В., Петров В.Н., Алешин А.Н. Композитные пленки на основе углеродных квантовых точек в матрице проводящего полимера PEDOT:PSS. ФТТ, т.63, 1183 – 1188 (2021).
3. Kryukov R.S., Istomina M.S., Nenashev G.V., Podkovyrina E.V., Aleshin A.N., Hydrothermal Synthesis of Carbon Quantum Dots (CQD’s) and Research of Composite Films Based on CQD’s // Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus), 978-981 (2022).
4. Nenashev G.V., Aleshin A.N., Shcherbakov I.P., Petrov V.N., Effect of temperature variations on the behavior of a two-terminal organic–inorganic halide perovskite rewritable memristor for neuromorphic operations // Solid State Commun. **348**, 114768 (2022).
5. Ivanov A.M., Nenashev G.V., Aleshin A.N., Low-frequency noise and impedance spectroscopy of device structures based on perovskite-graphene oxide composite films // J Mater Sci: Mater Electron. **33**, 21666–21676 (2022).
6. Nenashev G.V., Istomina M.S., Kryukov R.S., Kondratev V.M., Shcherbakov I.P., Petrov V.N., Moshnikov V.A., Aleshin A.N., Effect of Carbon Dots Concentration on Electrical and Optical Properties of Their Composites with a Conducting Polymer // Molecules **27**, 8000 (2022).
7. Ненашев Г.В., Алешин А.Н., Электрическое поведение двухтерминального органо-неорганического галогенидного перовскитного перезаписываемого мемристора для нейроморфных операций. Известия Российской академии наук: Физика, **87**, 832–838 (2023).

8. Nenashev G.V., Kryukov R.S., Istomina M.S., Aleshin P.A., Shcherbakov I.P., Petrov V.N., Moshnikov V.A., Aleshin A.N., Carbon quantum dots: organic–inorganic perovskite composites for optoelectronic applications // *J Mater Sci: Mater Electron.* **34**, 2114 (2023).

9. Moshnikov V.A., Muratova E.N., Aleshin A.N., Maximov A.A., Nenashev G.V., Vrublevsky I.A., Lushpa N.V., Tuchkovsky A.K., Zhilenkov A.A., Kichigina O.Y., Controlled Crystallization of Hybrid Perovskite Films from Solution Using Prepared Crystal Centers // *Crystals*, **14**, 4, 376 (2024).

10. Nenashev G.V., Aleshin A.N., Ryabko A.A., Shcherbakov I.P., Moshnikov V.A., Muratova E.N., Kondratev V.M., Vrublevsky I.A., Effect of barium doping on the behavior of conductivity and impedance of organic-inorganic perovskite films // *Solid State Commun.*, **388**, 115554 (2024).

11. Ненашев Г.В., Иванов А.М., Алешин П.А., Крюков Р.С., Алешин А.Н. Импедансная спектроскопия и низкочастотный шум в тонких пленках углеродных квантовых точек. ФТТ, т.66, 1189 – 1194 (2021).

12. Ненашев Г.В., Фокина Н.А., Дунаевский М.С., Алешин А.Н. Электрические свойства тандемных солнечных элементов на основе пленок металлоорганических перовскитов, нанесенных на тонкопленочные кремниевые солнечные элементы. ФТТ, т.66, 266 – 274 (2024).

Диссертационный совет отмечает, что рассмотренная диссертация является законченной работой, полученные соискателем результаты имеют как фундаментальное, так и прикладное значение, и на своем заседании 23 января 2025 г. принял решение присудить Ненашеву Григорию Васильевичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11. – «Физика полупроводников».

При проведении голосования диссертационного совета в количестве 17 человек из 23 членов совета, из них 11 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, очно проголосовали:

За присуждение Ненашеву Григорию Васильевичу ученой степени кандидата физико-математических наук подано голосов – 14.

Против – нет.

Недействительных бюллетеней – нет.

Не проголосовали: – нет.

Из 3 членов совета, участвовавших дистанционно, за присуждение Ненашеву Григорию Васильевичу ученой степени кандидата физико-математических наук проголосовали: «за» – 3.

«против» – нет.

«воздержались» – нет.

«не голосовали» – нет.

Итого: из 17 членов совета, участвовавших в очно-заочном голосовании, –

«за»: 17

«против»: нет

«испорченных бюллетеней»: нет

«воздержались»: нет

«не проголосовали»: нет

Председатель диссертационного совета
д.ф.-м.н., академик РАН

Ивченко Евгениус Левович

Ученый секретарь диссертационного совета
д. ф.-м. н.

Сорокин Лев Михайлович

23 января 2025 г.