

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ФТИ 34.01.02.25 ПРИ
ФЕДЕРАЛЬНОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ БЮДЖЕТНОМ УЧРЕЖДЕНИИ НАУКИ
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ ИМ. А.Ф. ИОФФЕ РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК

Аттестационное дело № _____
Решение диссертационного совета от 21.05.2026 № 3

О присуждении Алексееву Прохору Анатольевичу, гражданину РФ, учёной степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Сканирующие зондовые методы исследования электронных и оптических свойств современных полупроводниковых материалов» по специальности 1.3.11. Физика полупроводников принята к защите «19» февраля 2026 г., протокол №1, диссертационным советом 34.01.02.25 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 15 июля 2025 г. приказом директора ФТИ им. А.Ф. Иоффе №02.01-02-153.

Соискатель Алексей Прохор Анатольевич, 16 марта 1987 года рождения, в 2004 году поступил в Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»» и окончил в 2008 году бакалавриат по направлению «Электроника и микроэлектроника». В 2010 году окончил магистратуру в СПбГЭТУ «ЛЭТИ» по направлению «Электроника и микроэлектроника». В июле 2010 года поступил в аспирантуру СПбГЭТУ «ЛЭТИ». В 2013 году защитил кандидатскую диссертацию «Исследование распределения зарядов и электрических полей в приборных наноструктурах методами сканирующей зондовой микроскопии» по специальности 01.04.10 – физика полупроводников. С 2007 года по настоящее время работает в лаборатории Оптики поверхности ФТИ им. А.Ф. Иоффе, в настоящее время в должности старшего научного сотрудника.

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.

Официальные оппоненты:

1. **Голубок Александр Олегович**, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией сканирующей зондовой микроскопии Института аналитического приборостроения Российской академии наук, дал положительный отзыв на диссертацию.

В отзыве содержится 10 вопросов и замечаний:

1. В работе описан режим статической силовой литографии ДПМ. Исследовался ли автором режим прерывистой динамической силовой литографии?
2. В расчетах деформации ННК GaAs используется модуль Юнга. Измерялся ли модуль Юнга именно ННК? Отличается ли его значение от значения для объемного материала?
3. Каковы физико-химические причины обнаруженного перехода от анизотропного к изотропному окислению ДПМ в режиме о- СЗЛ?
4. Основные экспериментальные результаты получены в диссертации с использованием методов сканирующей Кельвин-зонд микроскопии и токопроводящей атомно-силовой микроскопии. Автор довольно подробно описывает особенности и детали этих методик. Однако, при описании проводящей АСМ автор забывает подчеркнуть важность поддержания одинаковой площади контакта ННК с зондом при измерениях тока на разных ННК, что осуществляется через поддержание одинаковой силы прижима. Обсуждая режим СКЗМ, автор не приводит принципиальных электрических или блок схем, а использует только текстовое описание. При этом, он сообщает, что контроллер P10 предоставил ему для измерений А. В. Анкудинов. На наш взгляд, такую «интимную» подробность можно было привести в разделе «Благодарности», а здесь важнее было привести электрические схемы, по которым было бы легче разобраться, например, в методике градиентной СКЗМ, использующей два синхродетектора.
5. Для калибровки метода СКЗМ при измерениях работы выхода при атмосферном давлении в качестве тестового образца использовался скол высокоориентированного пиролитического графита (ВОПГ). Известно, что образцы ВОПГ могут иметь разное качество, например, иметь разный размер и угол разориентации монокристаллических зерен, пустоты в объеме образца, разную концентрацию примесей, различную объемную плотность. На воздухе на поверхности скола графита конденсируется вода и органические примеси. Эти адсорбаты, а также скопления дислокаций на границах зерен, могут влиять на величину работы выхода. Автор полагает, что в его экспериментах работа выхода поверхности ВОПГ на воздухе равнялась 4,48 эВ. На чем основывается такое утверждение, и как оно проверялось экспериментально? Измерялся ли разброс значений работы выхода ВОПГ в разных точках на поверхности одного образца. Какой разброс в значениях работы выхода наблюдался при измерениях на разных образцах и при разной влажности и температуре? Как известно, работу выхода также можно измерять и с помощью СТМ. Почему работа выхода, измеренная с помощью СТМ, сильно зависит от чистоты поверхности и дает правильные значения только на очищенных поверхностях в сверхвысоком вакууме, а метод Кельвин зонд микроскопии, по существу, тоже измеряющий работу выхода, работает при атмосферном давлении?
6. В параграфе 2.2.3 правильно рассчитано время стабилизации амплитуды колебаний зонда АСМ (60 мсек) при добротности и резонансной частоте кантилевера 20 000 и 100кГц, соответственно, и 500 точках измерения в строке, но допущена ошибка в расчете частоты строчной развертки. Вместо приведенного значения 0,3 Гц, должно быть - 0,03 Гц.

7. В параграфе 5.1.1. на стр. 204 автор пишет, что не смог полностью измерить ВАХ GaAs ННК, т. к. ток превышал максимальное значение 1000нА, заложенное в параметры используемого им прибора. Вообще говоря, с таким объяснением трудно согласиться. Можно было бы принять подобные оправдания, если бы сигнал был бы слишком мал, например, по сравнению с шумами.

8. Текст диссертации содержит большое количество сокращений. Однако, в диссертации отсутствует список всех сокращений с расшифровками, что затрудняет чтение.

9. В тексте диссертации, к сожалению, встречаются стилистические огрехи. Например, на стр. 34 читаем: «Объяснить данный эксперимент с помощью модели Шоттки-Мотта является затруднительным». На стр. 50: «Помимо получения топографии поверхности, в данной диссертации обратная связь также используется в сканирующей Кельвин зонд микроскопии (СКЗМ), где обратная связь подаёт постоянное напряжение зонд, являющееся поверхностным потенциалом поверхности». На стр. 304: «Определена зависимость работы выхода MoSe₂ и WSe₂ в зависимости от количества монослоёв». Автор упоминает «стандартный» и «менее современный» зондовые микроскопы и пирамиду цилиндрической формы. Что это за приборы и что это за геометрическая форма?

10. Также встречаются ошибки в пунктуации. Например, на стр.37 не хватает 4-х запятых, а одна запятая лишняя. На стр. 50 отсутствуют 4 запятые, а на стр. 284 пропущены 3 запятые.

В отзыве отмечено, что указанные замечания не влияют на основные результаты и защищаемые положения, и что диссертационная работа Алексева П.А. соответствует критериям для присуждения ученой степени доктора физико-математических наук ФТИ им. А.Ф. Иоффе.

2. **Свинцов Дмитрий Александрович**, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией оптоэлектроники двумерных материалов Московского физико-технического института дал положительный отзыв на диссертацию.

В отзыве содержится 4 замечания:

1. В Главе 4.1, посвященной закреплению уровня Ферми на поверхности полупроводников A_{III}As и A_{III}Sb, не приводятся зонные диаграммы, показывающие изгиб зон вблизи поверхности. Между тем, их представление позволило бы точнее понять эффекты накопления заряда и изгиба зон в приповерхностном слое.

2. При развитии усовершенствованной модели работы выхода в главе 4.2.1 автор использует моделирование в пакете Silvaco Atlas, где для описания равновесной зонной диаграммы добавляет к объемному полупроводнику тонкий поверхностный слой кристаллического или аморфного строения. При этом выбор между кристаллическостью и аморфностью является типом подгоночного параметра, равно как и концентрация

носителей в приповерхностном слое. В предположении о большой концентрации носителей в аморфных As и Sb естественно получается результат о том, что объемный полупроводник «заэкранирован» поверхностью. И работа выхода, естественно, определяется поверхностным слоем. Неясно в этом случае, в чем состоит ценность выполненного моделирования. Фактически, заложенные в модель начальные данные дали очевидный результат.

3. Представляется странным, что на протяжении всех глав, развивающих теорию поверхностных состояний, автор не указывает, являются ли эти состояния донорными или акцепторными (или в каком диапазоне энергий они являются донорными, а в каком - акцепторными). Вероятно, некое предположение о зарядовом типе состояний используется в выполненном моделировании, но его важно было бы конкретизировать в диссертации.

4. В разделе 6.3.1, на рисунке 6.17 показано сравнение измеренной фотолюминесценции из микродискового резонатора на основе MoSe_2 с результатом модельного расчета спектра рассеяния при определенном угле падения и определенной числовой апертуре сбора излучения. Теория недостаточно хорошо воспроизводит эксперимент – форма и положение пиков в теории и эксперименте сильно отличаются. Между тем, существуют достоверные численные методы для подтверждения Парселловской природы усиления фотолюминесценции. Методы основаны на расчете собственных мод резонатора с последующим подсчетом локальной плотности оптических состояний – меры эффекта Парселла. Предположительно, использование такого численного метода позволит сразу описать интенсивность люминесценции на рис. 6.17 а.

В отзыве отмечено, что представленные выше замечания не умаляют общего высокого уровня работы и не подвергают сомнению основные защищаемые положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение. В отзыве также отмечается, что диссертационная работа соответствует требованиям положения ФТИ им. А.Ф. Иоффе к докторским диссертациям.

3. Терещенко Олег Евгеньевич, доктор физико-математических наук, профессор РАН, заведующий лабораторией Института физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения Российской академии наук, дал положительный отзыв на диссертацию.

В отзыве содержится 3 замечания:

1. Основное замечание касается развития модели эффективной работы выхода (ЭРВ), а также универсальной модели поверхностных состояний, связанных с образованием слоя элемента V-группы на границе с кристаллом при окислении поверхности. В диссертационной работе энергетическое положение закрепления уровня Ферми на поверхности определялось из измерения разности работ выхода и, в конечном итоге, соответствовало работе выхода изучаемого образца. Для полупроводниковых материалов, изучаемых сколом на воздухе, очевидно, процесс окисления идет во времени, что приводит к изменению работы выхода. При этом в изменение работы выхода вносят два параметра: изгиб зон, формирующийся в результате захвата заряда на поверхностные состояния (ПС) – макродиполь, и сродство к электрону, изменение которого происходит вследствие

формирования «микро»диполей. Закрепление уровня Ферми относительно краев зон (проводимости и валентной) происходит мгновенно в условиях проведения эксперимента, тогда как формирование дипольного слоя с последующим гетеропереходом может длиться часы, сутки и года. Последнее означает, что работа выхода на поверхности образца может изменяться в течение долгого времени, тогда как положение уровня Ферми на поверхности (интерфейсе) относительно краев зон закреплено и не меняется со временем. И этому в диссертации есть прямое подтверждение на странице 168: «В большинстве случаев абсолютные значения работы выхода составляли ~4.8 эВ для АЗAs, однако в некоторые экспериментальные сессии они могли составлять 4.5 эВ и даже 4.3 эВ.»

Из ранних работ по изучению границы раздела полупроводников АЗВ5 с собственными оксидами известно, что оксиды пятой группы (мышьяка) являются нестабильными и происходит их постепенное превращение с образованием V элемента (мышьяка) на границе раздела. Соответственно возникают вопросы к скорости формирования слоя элементов пятой группы, толщине, однородности этого слоя и соотношением с измеряемой работой выхода. Также, в связи с этим вопрос, можно ли использовать абсолютные значения работ выхода элементарных соединений пятой группы, если толщины этих слоев составляют несколько ангстрем?

Таким образом, в модели эффективной работы выхода, хотелось бы понять роль изгиба зон в определении положения закрепления уровня Ферми на поверхности и электронного сродства в определении работы выхода в зависимости от электронных и структурных свойств кристалла, а также параметров поверхностного слоя V-группы.

2. Согласно одному из утверждений вывода 2: «Данная модель может быть применена и в других материалах (ДПМ) при условии химической модификации поверхности или интерфейса в области контакта.» - Универсальность модели ЭРВ для соединений III-V связывается с образованием слоя элемента V-группы на границе. В чём, в таком случае, проявляется универсальность для ДПМ материалов?

3. Текст диссертации написан ясным языком, однако местами имеется злоупотребление неудачными формулировками.

«Таким образом, в случае близкого расположения работы выхода слоя V-группы и дна зоны проводимости или потолка валентной зоны в полупроводнике, на поверхности может возникать канал проводимости и будет формироваться омический контакт с низким сопротивлением.»

«Примечательно, что некоторые из областей имеют ромбическую форму, что является следствием дрейфа образца во время фотоокисления.»

«Аморфные As и Sb являются полупроводниками с существенной шириной запрещенной зоны... В модели аморфные As и Sb также рассматриваются как полуметаллические...».

В отзыве отмечено, что указанные замечания не снижают общей положительной оценки работы. Из проведенного анализа работы следует, что диссертация П. А. Алексеева представляет собой полное и квалифицированно выполненное исследование в важной и актуальной области физики твердого тела. Принимая во внимание, что основные результаты диссертации являются принципиально новыми, данную работу можно охарактеризовать как существенный вклад в развитие физики полупроводников. Также отмечается, что работа

соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней ФТИ им. А.Ф. Иоффе.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» – предоставила положительный отзыв на диссертацию. Отзыв подготовлен руководителем лаборатории Физики полупроводниковых наноструктур Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», доктором физико-математических наук, профессором кафедры Физики твердого тела Дубровским Владимиром Германовичем, рассмотрен и одобрен на совместном научном семинаре кафедры Физики твердого тела и лаборатории Оптики спина им. И.Н. Уральцева СПбГУ и утвержден проректором по научной работе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» Сергеем Владимировичем Микушевым. В заключении указано, что представленная диссертационная работа соответствует критериям, предъявляемым к докторским диссертациям в соответствии с Положением о присуждении ученых степеней ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН.

В отзыве ведущей организации содержится 4 замечания:

1. В работе используется термин нанопровод (НП), однако в Российской литературе термин нитевидный нанокристалл (ННК) является общеупотребимым.
2. В работе анализируются ВАХ GaAs и GaP ННК, измеренные с помощью проводящей атомно-силовой микроскопии, а также ВАХ, измеренные с помощью контактов к горизонтальному GaP ННК. Почему в диссертации не представлены ВАХ от GaAs ННК, измеренные с помощью контактов, созданных к горизонтальному ННК? При этом, такие ВАХ представлены в работе [А44]. Сравнение ВАХ, полученных двумя методами, позволило бы более однозначно сделать выводы о преимуществах метода проводящей АСМ.
3. На Рисунке 3.13 диссертации представлены расчётный и экспериментальный спектры пропускания InGaS₃ волновода. Оба спектра имеют выраженный шум. Какова причина шума в расчётных спектрах и как он был получен?
4. Диссертация содержит существенное количество синтаксических и стилистических ошибок.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обуславливался их научными достижениями и высокой научной 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 доктора физико-математических наук Анкудинова Александра Витальевича**, ведущего научного сотрудника лаб. Физико-химических свойств полупроводников Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе РАН (Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 26).

Отзыв положительный, без замечаний.

2) **Отзыв доктора технических наук Быкова Виктора Александровича**, президента нанотехнологического общества России, зам. генерального директора по науке холдинговой компании ТЕХНОСТЕК (124460, Москва, Зеленоград, проезд No4922, д. 4, стр. 3).

Отзыв положительный, без замечаний.

3) **Отзыв доктора технических наук Карачинского Леонида Яковлевича**, генерального директора ООО «Коннектор Оптикс» (194292, г. Санкт-Петербург, ул. Домостроительная, д.16, лит. Б).

Отзыв положительный, без замечаний.

4) **Отзыв доктора физико-математических наук Мухина Ивана Сергеевича**, заведующего лабораторией Возобновляемых источников энергии, проректора по науке, Санкт-Петербургского национального исследовательского Академического университета имени Ж.И. Алфорова Российской академии наук. (194021, Санкт-Петербург, улица Хлопина, дом 8, корпус 3, литер А).

Отзыв содержит 4 вопроса и замечания:

1. На рис. 2б, представляющем 3-х мерное СЗМ-изображение одиночного ННК, имело бы смысл привести шкалу с перепадом высот, а также более (визуально) контрастно выделить области с увеличенным протеканием тока.
2. Методами зондовой литографии созданы микродисковые оптические резонаторы с относительно низкой добротностью (порядка 700). Возможно ли принципиальное создание более добротных структур с использованием описанных подходов?
3. В автореферате указано, что точность определения уровней легирования ННК с помощью предложенной методики ограничена (ошибка составляет не менее 2-х раз). Возможно ли повышение точности предложенной методики?

Также следует отметить большее количество пунктуационных неточностей в тексте автореферата.

Отмечено, что сказанные комментарии и вопросы не носят принципиального характера и не снижают общей высокой оценки диссертационной работы.

5) **Отзыв доктора физико-математических наук Мошников Вячеслава Алексеевича**, профессора кафедры микро- и наноэлектроники и **доктора технических наук Спивак Юлии Михайловны**, доцента кафедры микро- и наноэлектроники Санкт-Петербургского

государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), (197022, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, дом 5а).

Отзыв положительный, без замечаний.

Публикации. Личный вклад автора.

Соискатель имеет 130 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 53 работы, из них 52 в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базах данных журналах уровня 1, 2, или 3 «Белого списка» Российского центра научной информации и/или индексируемых базами данных Web of Science и Scopus. Исследования методами сканирующей зондовой микроскопии, моделирование электронных явлений в программном пакете Silvaco и механических свойств в пакете COMSOL Multiphysics выполнялось лично автором или под его руководством. В большинстве работ постановка задачи также выполнялась автором, за исключением работ [A1, A4, A8, A16, A20, A22, A32, A43, A49].

Список основных публикаций по теме диссертационной работы приводится ниже:

- [1] Атомно-силовая микроскопия для исследования наноструктурированных материалов и приборных структур / В. А. Мошников, Ю. М. Спивак, **П. А. Алексеев**, Н. В. Пермяков. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В.И. Ульянова (Ленина), 2014.–144 с. – ISBN 978-5-7629-1471-0.
- [2] MoSe₂/graphene/6H-SiC heterojunctions: Energy band diagram and photodegradation / B. R. Borodin, M. S. Dunaevskiy, V. A. Sharov, **P. A. Alekseev** [et al.] // Semiconductor Science and Technology. – 2019. – Vol. 34, No. 12. – P. 125007. – [DOI 10.1088/1361-6641/ab4b05](https://doi.org/10.1088/1361-6641/ab4b05).
- [3] Influence of surface passivation on electric properties of individual GaAs nanowires studied by current–voltage AFM measurements / P. Geydt, E. Lähderanta, **P. A. Alekseev** [et al.] // Lithuanian Journal of Physics. – 2016. – Vol. 56, No. 2. – P. 92-101. – [DOI 10.3952/physics.v56i2.3305](https://doi.org/10.3952/physics.v56i2.3305).
- [4] Nitride surface passivation of GaAs nanowires: Impact on surface state density / **P. A. Alekseev** [et al.] // Nano Letters. – 2015. – Vol. 15, No. 1. – P. 63-68. – [DOI 10.1021/nl502909k](https://doi.org/10.1021/nl502909k).
- [5] Проводимость наноконтакта к АПAs- и АПISb-полупроводникам со слоем естественного оксида / **П. А. Алексеев**, Е. В. Куницына, В. С. Сунцова [и др.] // Письма в Журнал технической физики. – 2024. – Т. 50, № 11. – С. 42-46. – [DOI 10.61011/PJTF.2024.11.57910.19830](https://doi.org/10.61011/PJTF.2024.11.57910.19830).
- [6] P–n junctions in planar GaAs nanowires / B. R. Borodin, **P. A. Alekseev**, V. Khayrudinov [et al.] // CrystEngComm. – 2023. – Vol. 25, No. 9. – P. 1374-1382. – [DOI 10.1039/d2ce01438f](https://doi.org/10.1039/d2ce01438f).
- [7] Highly-doped MBE-grown GaP nanowires: Synthesis, electrical study and modeling / V. Sharov, K. Novikova, A. Mozharov, **P. A. Alekseev** [et al.] // Scripta Materialia. – 2024. – Vol. 248. – P. 116128. – DOI [10.1016/j.scriptamat.2024.116128](https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2024.116128).
- [8] Study of local anodic oxidation regimes in MoSe₂ / B. R. Borodin, **P. A. Alekseev** // Nanotechnology. – 2021. – Vol. 32, No. 15. – P. 155304. – DOI [10.1088/1361-6528](https://doi.org/10.1088/1361-6528).
- [9] Work function tailoring in gallium phosphide nanowires / V. Sharov, **P. A. Alekseev** [et al.] // Applied Surface Science. – 2021. – Vol. 563. – P. 150018. – [DOI 10.1016/j.apsusc.2021.150018](https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2021.150018).
- [10] Piezoelectric Current Generation in Wurtzite GaAs Nanowires / **P. A. Alekseev**, M. S. Dunaevskiy, I. P. Soshnikov [et al.] // Physica Status Solidi. Rapid Research Letters. – 2018. – Vol. 12, No. 1. – P. 1700358. – [DOI 10.1002/pssr.201700358](https://doi.org/10.1002/pssr.201700358).
- [11] Effect of the uniaxial compression on the GaAs nanowire solar cell / **P. A. Alekseev** [et al.] // Micromachines. – 2020. – Vol. 11, No. 6. – P. 1-13. – [DOI 10.3390/mi11060581](https://doi.org/10.3390/mi11060581).

- [12] Control of conductivity of $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ nanowires by applied tension and surface states / **P. A. Alekseev**, V. A. Sharov, M. S. Dunaevskiy [et al.] // Nano Letters. – 2019. – Vol. 19, No. 7. – P. 4463-4469. – [DOI 10.1021/acs.nanolett.9b01264](https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.9b01264).
- [13] Особенности формирования GaAs микродисков методом механической сканирующей зондовой литографии / **П. А. Алексеев**, М. Е. Попов // Письма в Журнал технической физики. – 2025. – Т. 51, № 9. – С. 31-34. – [DOI 10.61011/PJTF.2025.09.60229.20192](https://doi.org/10.61011/PJTF.2025.09.60229.20192).
- [14] Engineering whispering gallery modes in $\text{MoSe}_2/\text{WS}_2$ double heterostructure nanocavities: Towards developing all-TMDC light sources / **P. A. Alekseev** [et al.] // Materials Today Nano. – 2025. – Vol. 30, - P. 100633. – [DOI 10.1016/j.mtnano.2025.100633](https://doi.org/10.1016/j.mtnano.2025.100633).
- [15] Observing visible-range photoluminescence in GaAs nanowires modified by laser irradiation / **P. A. Alekseev**, M. S. Dunaevskiy, D. A. Kirilenko [et al.] // Journal of Applied Physics. – 2017. – Vol. 121, No. 7. – P. 074302. – [DOI 10.1063/1.4976681](https://doi.org/10.1063/1.4976681).
- [16] Unified mechanism of the surface Fermi level pinning in III-As nanowires / **P. A. Alekseev**, M. S. Dunaevskiy, A. N. Smirnov [et al.] // Nanotechnology. – 2018. – Vol. 29, No. 31. – P. 314003. – [DOI 10.1088/1361-6528/aac480](https://doi.org/10.1088/1361-6528/aac480).
- [17] Advanced effective work function model for photo-oxidized GaAs and GaSb surfaces / **P. A. Alekseev**, V. A. Sharov // Materials Science in Semiconductor Processing. – 2025. – Vol. 198. – P. 109792. – [DOI 10.1016/j.mssp.2025.109792](https://doi.org/10.1016/j.mssp.2025.109792)
- [18] I-V curve hysteresis induced by gate-free charging of GaAs nanowires' surface oxide / **P. A. Alekseev**, M. S. Dunaevskiy, P. Geydt [et al.] // Applied Physics Letters. – 2017. – Vol. 111, No. 13. – P. 132104. – [DOI 10.1063/1.5005125](https://doi.org/10.1063/1.5005125).

Результаты работ, вошедших в диссертацию, докладывались Алексеевым П. А. на следующих научных мероприятиях: «Российская конференция по физике полупроводников» – 2015, 2017, 2019, 2022, 2024, всероссийская конференция «Комбинационное рассеяние света» – 2023, Новосибирск, международном симпозиум «Нанопизика и нанопэлектроника» - 2022, 2025, международных конференциях “Nanostructures: Physics and Technology” – 2013, 2015, 2017, 2018, Физика.СПБ – 2012, «Nanogenerators and Piezotronics» – 2016, Рим, «EMN: Nanowires» – 2016, Амстердам, «Nanowires Week» – 2017, Лунд, «E-MRS Spring meeting» – 2020, Страсбург, «ICMAT» – 2019, 2023, Сингапур, «Metanano» – 2018, 2019, 2021. «PIERS» – 2025, Абу-даби.

Диссертационный совет отмечает, что научная и практическая значимость работы заключается в следующем:

1. Разработаны методы и подходы для исследования электронных, электромеханических и оптомеханических свойств одиночных полупроводниковых нанопроводов с применением сканирующего зондового микроскопа. С использованием развитых методов показано, что подвижность носителей заряда в нитевидных нанокристаллах GaAs, выращенных на подложке, на несколько порядков меньше, чем в объёмном материале. Продемонстрирована возможность создания тензорезисторов на базе нитевидных нанокристаллов InGaAs с коэффициентом тензочувствительности достигающим 6500.
2. Разработаны методы сканирующей зондовой литографии по созданию наноструктур на основе ван-дер-ваальсовых материалов с латеральным разрешением до 20 нм. Продемонстрирован способ очистки поверхности и интерфейсов ван-дер-ваальсовых гетероструктур с помощью сканирующего зондового выглаживания. Продемонстрирована возможность создания областей квазинеzависимых монослоёв дихалькогенидов переходных металлов в многослойных флейках методом локального анодного окисления.

3. Выявлен значимый вклад упругих деформаций, возникающих при росте нитевидных нанокристаллов GaAs на подложке Si, в электронные и оптоэлектронные процессы.
4. Определена зависимость работы выхода MoSe₂ от количества монослоёв в кристалле. Выявлена связь разности работ выхода MoSe₂ и проводящей подложки с интенсивностью экситонной фотолюминесценции, а также структурной фотодеградацией MoSe₂ в атмосферных условиях. При увеличении разности работ выхода происходит снижение интенсивности фотолюминесценции и увеличением скорости фотоокисления MoSe₂ при наличии на поверхности плёнки воды.
5. Усовершенствована модель эффективной работы выхода, позволяющая определить положение закрепления уровня Ферми на поверхности AlAs и AlSb полупроводников со слоем естественного оксида, а также предсказывающая высоту барьера Шоттки при создании электрического контакта.
6. В результате исследования различных видов пассивации поверхности нитевидных нанокристаллов GaAs определена стабильность пассивирующих покрытий в атмосферных условиях и при интенсивном оптическом воздействии.

Достоверность и объективность полученных результатов подтверждается использованием современного высокоточного оборудования, комплексного применения независимых методов для получения экспериментальных данных, привлечением современных методов обработки информации и статистического анализа полученных результатов.

Диссертационный совет отмечает, что рассмотренная диссертация является законченной научной работой, полученные соискателем результаты имеют как фундаментальное, так и прикладное значение, и на своем заседании 21 мая 2026 г. принял решение присудить Алексееву Прохору Анатольевичу ученую степень доктора физико-математических наук по специальности 1.3.11. Физика полупроводников.

При проведении голосования диссертационного совета в количестве 20 человек, из них 14 докторов физико-математических наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, проголосовали:

За присуждение Алексееву Прохору Анатольевичу ученой степени доктора физико-математических наук 19, против – 0, недействительных бюллетеней – 1.

Председатель диссертационного совета
член-корр. РАН, доктор физико-математических наук.

Глазов Михаил Михайлович

Ученый секретарь диссертационного совета
Кандидат физико-математических наук

Котова Любовь Викторовна

21 мая 2026 г.