

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА АУ 02.01

федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования и науки «Санкт-Петербургский национальный исследовательский Академический университет имени Ж. И. Алферова Российской академии наук»

ПО ДИССЕРТАЦИИ

НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 14 мая 2026 года № _____

О присуждении Голтаеву Александру Сергеевичу (гражданину Российской Федерации) ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Разработка, создание и исследование инфракрасных фотодетекторов на основе гетероструктур нитевидных нанокристаллов InAs(P) на кремнии» по специальности 1.3.11 – Физика полупроводников принята к защите 04 марта 2026 года (протокол №2 заседания диссертационного совета АУ 02.01 федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования и науки «Санкт-Петербургский национальный исследовательский Академический университет имени Ж.И. Алферова Российской академии наук» 194021, г. Санкт-Петербург, ул. Хлопина, д. 8, корп. 3, литер А, Приказ № 305/1 от 22 ноября 2024 г.).

Соискатель, Голтаев Александр Сергеевич, 23 сентября 1997 года рождения. В 2021 году окончил магистратуру ФГБУ ВОиН «Санкт-Петербургский национальный исследовательский Академический университет имени Ж.И. Алферова Российской академии наук» по направлению подготовки 11.04.04 – Электроника и наноэлектроника, диплом №107824 4758524. В 2025 году окончил аспирантуру ФГБУ ВОиН «Санкт-Петербургский национальный исследовательский Академический университет имени Ж.И. Алферова Российской академии наук» по направлению подготовки 03.06.01 – Физика и астрономия, присуждена квалификация «Исследователь. Преподаватель-исследователь», диплом №107824 2109815.

В настоящее время соискатель работает лаборантом в лаборатории возобновляемых источников энергии ФГБУ ВОиН СПбАУ РАН им. Ж.И. Алферова.

Диссертация выполнена в лаборатории возобновляемых источников энергии ФГБУ ВОиН СПбАУ РАН им. Ж.И. Алферова.

Научный руководитель:

Можаров Алексей Михайлович, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории возобновляемых источников энергии ФГБУ ВОиН СПбАУ РАН им. Ж.И. Алферова

Официальные оппоненты:

Морозов Сергей Вячеславович, доктор физико-математических наук, Институт физики микроструктур РАН, филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения "Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук" (ИФМ РАН), научный сотрудник, заведующий лабораторией физики полупроводниковых гетероструктур и

сверхрешётки. Оппонент дал положительный отзыв, который содержит следующие замечания:

1. В главе 3 приводятся результаты исследований спектров низкотемпературной фотолюминесценции (ФЛ) массивов ННК. Однако в работе отсутствует детальное описание экспериментальной методики данных измерений. Соискателю следовало бы уточнить параметры используемого спектрального оборудования, условия возбуждения и способ регистрации сигнала.
2. В разделе, посвященном исследованию структурных и оптических свойств ННК InAs(P) , приведены подробные данные электронной микроскопии и фотолюминесценции. Тем не менее, соискателю следовало бы пояснить, чем обусловлено формирование единого пика фотолюминесценции при наличии в ННК различных кристаллических фаз WZ и ZB, а также раскрыть физические причины наблюдаемого уширения спектральных линий.
3. Как было показано в третьей главе, исследуемые структуры обладают смешанным фазовым составом. Автор утверждает, что самоиндуцированный рост ННК без металлического катализатора предпочтителен для изготовления функциональных структур. При этом, как известно, существует ряд сложностей в управлении фазой и химическим составом тройных растворов при таком методе роста. Чем оправдан выбор именно этого подхода?
4. При обсуждении характеристик фотодиодов в пятой главе не рассматриваются эффекты поверхностного обеднения и поверхностной рекомбинации. Соискателю предлагается пояснить причины такого подхода.
5. В разделе, посвященном исследованию спектральных характеристик (глава 5), недостаточно подробно описаны параметры измерительной системы. Соискателю целесообразно уточнить спектральное разрешение используемого монохроматора и шаг сканирования, а также пояснить методику учета атмосферного поглощения (паров воды и CO_2) в исследуемом ИК-диапазоне.

Рахлин Максим Владимирович, кандидат физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, старший научный сотрудник лаборатории оптики кристаллов и гетероструктур с экстремальной двумерностью. Оппонент дал положительный отзыв, который содержит следующие замечания:

1. В тексте диссертации недостаточно подробно раскрыт механизм влияния плотности поверхностных состояний на процессы разделения носителей заряда и электрофизические характеристики исследуемых структур InAs/Si . Представлялось бы полезным более детально пояснить, каким образом поверхностные состояния влияют на форму вольт-амперных характеристик и величину темнового тока.

2. На рисунке 3.10 приведены спектры низкотемпературной фотолюминесценции эпитаксиальных массивов ННК InAs и $\text{InAs}_{0.8}\text{P}_{0.2}$. В тексте указано, что экспериментальное значение энергии максимума фотолюминесценции для $\text{InAs}_{0.8}\text{P}_{0.2}$ располагается между теоретическими значениями для фаз цинковой обманки и вюрцита, что свидетельствует о фазовом составе ННК. Однако из рисунка следует, что энергия максимума ФЛ для $\text{InAs}_{0.8}\text{P}_{0.2}$ составляет около 560 мэВ, тогда как приведенные теоретические значения для цинковой обманки и вюрцита составляют около 420 и 475 мэВ, соответственно. Хотелось бы получить пояснение относительно причин данного расхождения.

3. На рисунке 3.12 приведены спектры оптического отражения для упорядоченного и самоорганизованного массивов ННК InAs. Представляет интерес физическая интерпретация того факта, что для самоорганизованного массива в диапазоне 1500–2500 нм наблюдается рост коэффициента отражения, тогда как для упорядоченного массива, напротив, имеет место его снижение. Было бы полезно дополнительно обсудить роль упорядоченности массива и распределения размеров ННК в формировании наблюдаемого различия спектральной зависимости коэффициента отражения.

4. Целесообразно было бы привести более подробные данные о воспроизводимости электрофизических характеристик изготавливаемых фотодетекторов по площади эпитаксиальной пластины, а также обсудить статистический разброс параметров темнового тока и фотоотклика для структур, изготовленных в рамках одной технологической серии.

Ведущая организация — Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), г. Санкт-Петербург, в своем положительном отзыве, подписанном Зубковым Василием Ивановичем, доктором физико-математических наук, профессором кафедры Микро- и нанoeлектроники СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Комковым Олегом Сергеевичем, доктором физико-математических наук, заведующим кафедрой Микро- и нанoeлектроники СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Налимовой Светланой Сергеевной, кандидатом физико-математических наук, доцентом кафедры Микро- и нанoeлектроники СПбГЭТУ «ЛЭТИ» и Александровой Ольгой Анатольевной, кандидатом физико-математических наук, учёным секретарем кафедры Микро- и нанoeлектроники СПбГЭТУ «ЛЭТИ», утвержденном проректором по научной и инновационной деятельности Семеновым Александром Анатольевичем, **указала, что** диссертационная работа представляет собой завершенное научное исследование, выполненное на высоком уровне и посвященное актуальной задаче современной физики полупроводников и оптоэлектроники. Полученные соискателем результаты характеризуются существенной научной новизной и вносят значимый вклад в развитие физики полупроводниковых гетероструктур и инфракрасной фотоники. Сформулированные в работе научные положения являются обоснованными и достоверно подтверждены совокупностью экспериментальных и теоретических данных. Основные результаты диссертации отражены в 6 публикациях в рецензируемых научных изданиях и апробированы на профильных научных конференциях. На основании изложенного можно заключить, что диссертационная работа соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении высшего образования и науки «Санкт-Петербургский национальный исследовательский Академический университет имени Ж.И. Алфёрова РАН», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.3.11 – физика полупроводников. В отзыве ведущей организации содержатся следующие замечания:

1. Новизной диссертационной работы является исключение традиционного использования золотого катализатора и реализация «самоиндуцированного» механизма роста нитевидных нанокристаллов InAs(P). Насколько воспроизводима данная технология, имея в виду рост на хаотически возникающих поверхностных дефектах? Какие дефекты являются источником нуклеации, и как можно управлять плотностью этих дефектов на поверхности подложки?

2. В работе используется термин «самоиндуцированный рост». Просьба уточнить используемую терминологию и пояснить, в чем заключается принципиальная

физическая разница между механизмами «самоиндуцированного» и «самокаталитического» роста нитевидных нанокристаллов в контексте вашего исследования.

3. В п. 3 научной новизны работы утверждается, что смена типа основных носителей заряда с дырочного на электронный на поверхности радиальных ННК происходит из-за пиннинга уровня Ферми в зоне проводимости. В связи с этим, что (какие ловушки и какой концентрации) может вызвать этот пиннинг?

4. Следует более подробно пояснить методику и достоверность измерения локального состава твердого раствора по высоте синтезированных ННК InAsP. Как недостаток стилистического характера отметим, что аббревиатуру метода энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии в тексте целесообразнее приводить на латинице (EDX).

5. Следует обосновать отсутствие в работе прямой оценки величины фонового тока исследуемых фотоприемных структур, а также пояснить, каким образом учитывалось влияние фонового излучения при определении их рабочих характеристик.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью, достижениями и наличием публикаций в сфере исследований, соответствующей теме диссертации, и способностью определить научную и практическую ценность диссертации. Официальные оппоненты и ведущая организация не имеют совместных проектов и публикаций с соискателем.

Соискатель имеет более 35 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 8 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 6 работ, получены 1 патент на полезную модель и 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Список публикаций по теме диссертации

1. Goltaev A. S., Fedina S. V., Fedorov V. V., Mozharov A. M., Novikova K. N., Maksimova A. A., Baranov A. I., Kaveev A. K., Pavlov A. V., Miniv D. V., Ustimenko R. V., Vinnichenko M. Ya., Mukhin I. S. INFRARED PHOTODETECTORS BASED ON InAsP EPITAXIAL NANOWIRES ON SILICON // St. Petersburg State Polytechnical University Journal: Physics and Mathematics. St. Petersburg Polytechnic University of Peter the Great, 2025. T. 18, № 2. С. 9-21.

2. Goltaev A. S., Novikova K.N., Dvoretckaya L.N., Fedorov V.V., Kaveev A.K. and Mozharov A.M. Study of Resonant Light Absorption in Hexagonally Ordered InAs NWs // Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques. 2024. T. 18, № Suppl 1. С. S180-S185.

3. Dvoretckaia L. N., Mozharov A. M., Goltaev A. S., Fedorov V. V., Mukhin I. S. NUMERICAL SIMULATION OF OPERATING MODES OF HETEROSTRUCTURAL PHOTODIODES BASED ON INDIUM ARSENIDE NANOWIRES ON THE SILICON SUBSTRATES // St. Petersburg State Polytechnical University Journal: Physics and Mathematics. St. Petersburg Polytechnic University of Peter the Great, 2024. T. 17, № 1. С. 38-46.

4. Fedina S. V., Fedorov V. V., Kaveev A. K., Goltaev A. S., Miniv D. V., Kirilenko D. A., Mukhin I. S. Formation and Relaxation of Elastic Stress in Radial InAs/InP Nanoheterostructures // Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques. 2025. T. 19, № 5. С. 1080-1087.

5. Kaveev A. K., Fedorov V. V., Pavlov A. V., Miniv D. V., Ustimenko R. V., Goltaev A.S., Dvoretckaia L. N., Mozharov A. M., Fedina S. V., Kirilenko D. A., Vinnichenko, M. Ya., Mynbaev K. J., Mukhin I. S. Growth, Crystal Structure, and Photoluminescent Properties of Dilute Nitride InAsN Nanowires on Silicon for Infrared Optoelectronics // ACS Appl Nano Mater. American Chemical Society, 2024. T. 7, № 3. С. 3458-3467.

6. Kaveev, A.K., Fedorov, V.V., Pavlov, A.V., Miniv, D.V., Kirilenko, D.A., Nadtochiy, A., Goltaev, A. S., Malenin, A.P., Ustimenko, R.V., Karaulov, D.A. Self-induced MBE-grown InAsP nanowires on Si wafers for SWIR applications // J Mater Chem C Mater. 2025. T. 13, № 12. С. 6063-6072.

7. Гетероструктурный фотодиод для ближнего и среднего ИК-диапазона на основе нитевидных нанокристаллов арсенида-фосфида-висмутита индия на подложках кремния : патент на полезную модель №220600 U1 Российская Федерация / Можаров А. М., Голтаев А. С., Мухин И. С., Федоров В. В., Кавеев А. К., Новикова К. Н., Павлов А. В., Баранов А. И. ; правообладатель ФГБУ ВО «Академический университет им. Ж.И. Алфёрова». — № 2023115456; заявл. 13.06.2023; опубл. 25.09.2023, Бюл. № 27.

8. Программа для расчета внешней квантовой эффективности солнечных элементов: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2024685877 Российская Федерация / Голтаев А. С.; правообладатель ФГБУ ВО «Академический университет им. Ж.И. Алфёрова». — № 2024684985; заявл. 28.10.2024; опубл. 02.11.2024, Бюл. № 11.

На диссертацию и автореферат поступили **положительные отзывы**:

1. **Стоянов Николай Деев**, кандидат физико-математических наук, генеральный директор ООО «ЛЕД Микросенсор НТ».

Отзыв содержит **замечания**:

1) В разработанной конструкции фотодетектора используется фронтальная засветка через верхний прозрачный электрод ИТО. Учитывая, что кремниевая подложка полностью прозрачна в целевом спектральном диапазоне (свыше 1,1 мкм), исследовались ли автором конфигурации фотоприемников с тыльной засветкой? Такой подход позволил бы исключить оптические потери в слое ИТО и упростить топологию верхнего контакта, что критически важно для серийных изделий.

2) Во введении автореферата упоминается, что структуры на основе InAsP являются конкурентоспособной альтернативой InGaAs. Однако в тексте не приведено прямого количественного сравнения разработанных фотодетекторов на основе НК InAsP с коммерческими планарными InGaAs-аналогами (например, по уровню темновых токов или удельной обнаружительной способности при сопоставимых температурах). Проводилось ли автором такое сопоставление?

2. **Резник Родион Романович**, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, руководитель лаборатории новых полупроводниковых материалов для квантовой информатики и телекоммуникаций СПбГУ.

Отзыв содержит **замечания**:

1) В разделе, посвященном численному моделированию оптических свойств гетероструктур (глава 2), детально исследованы упорядоченные массивы НК InAs и построены двумерные карты распределения поглощенной мощности для определения оптимальных геометрических параметров. Однако из текста автореферата не понятно, почему аналогичные оптические расчеты не проводились для структур на основе твердого раствора InAsP.

2) В автореферате приведены результаты детальных исследований оптических свойств строго упорядоченных массивов НК InAs и продемонстрировано снижение коэффициента отражения по сравнению с неупорядоченными структурами. При этом экспериментальные образцы фотодетекторов реализованы исключительно на базе неупорядоченных массивов НК. С чем связано отсутствие реализации приборных структур на базе упорядоченных массивов, показавших наилучшие оптические характеристики?

3) В работе показано, что обработка в водородной плазме снижает темновой ток в базовых структурах InAs/Si более чем в 30 раз за счет пассивации состояний на интерфейсе НК/подложка. При этом не уточняется, применялась ли подобная процедура

водородной пассивации для структур на основе твердого раствора InAsP/Si (серии «А» и «В»). Если применялась, то какова была ее эффективность?

3. **Зуев Дмитрий Александрович**, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник физического факультета университета ИТМО.

Отзыв содержит **замечания**:

1) В автореферате указано, что для массива вертикально ориентированных ННК InAs моделирование проводилось для нормального падения волны. Сохраняется ли устойчивость резонансных мод и антиотражающего эффекта к изменению угла падения волны?

2) В разделе, посвященном моделированию (глава 2), отмечается, что легирование слабо влияет на свойства прибора из-за эффекта пиннинга уровня Ферми и высокой проводимости по поверхности ННК InAs. Вместе с тем, из текста автореферата не вполне ясно, каким именно образом этот поверхностный эффект был физически реализован в расчетной модели?

4. **Преображенский Валерий Владимирович**, кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией физических основ эпитаксии полупроводниковых гетероструктур ИФП СО РАН.

Отзыв содержит **замечание**:

1) К недостаткам автореферата следует отнести неудачно выбранный формат представления результатов на рис. 1, 4, 7, 9, 10, 11 – контраст между различными кривыми практически неразличим. Выручает возможность ознакомиться с авторефератом на сайте диссертационного совета, где рисунки представлены в цвете.

В полученных отзывах указано, что содержание автореферата полностью отражает суть проведенного диссертационного исследования по физике ИК-фотодетекторов на основе гетероструктур нитевидных нанокристаллов InAs(P). В автореферате представлена в достаточной степени характеристика актуальности исследуемой соискателем проблемы, научная новизна результатов численного моделирования оптических и электрофизических процессов, теоретическая и практическая значимость исследований характеристик полупроводниковых структур. Авторы отзывов отмечают, что приведенные ими замечания не влияют на общую положительную оценку работы соискателя, а соискатель, Голтаев Александр Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11 — Физика полупроводников.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана комплексная технология формирования фоточувствительных мезаструктур на основе вертикально ориентированных массивов ННК InAs_{1-x}P_x на Si подложке. Данная технология включает метод самоиндуцированного роста массивов ННК и последующую пассивацию гетерограницы ННК/подложка в водородной плазме;

создан и экспериментально исследован инфракрасный фотодетектор на основе самоорганизованного массива вертикально ориентированных ННК InAs_{0,8}P_{0,2} на p-Si подложке, демонстрирующий фоточувствительность в спектральном диапазоне 1–2,3 мкм с максимумом внешней квантовой эффективности 19% при комнатной температуре;

доказана способность гексагонально упорядоченных массивов ННК InAs поглощать не менее 70% ИК-излучения в диапазоне 1,5–2 мкм при условии реализации оптимизированной геометрии (диаметр 0,42±0,15 мкм, период 1,4±0,35 мкм, высота не менее 1,5 мкм);

предложены технологические подходы к повышению оптического поглощения, заключающиеся в формировании гексагонально упорядоченных массивов ННК InAs

методами микросферной литографии и селективной эпитаксии, что обеспечивает подавление коэффициента отражения до 0,4% (при $\lambda = 2$ мкм);

введена расчетная метрика G-SNR (отношение оптического поглощения к объему нанокристалла), позволяющая определять оптимальную геометрию массива, при которой достигается максимум полезного фотосигнала и минимум темнового тока.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказано, что в диапазоне длин волн 1,55–2,5 мкм за счет эффектов локализации света поглощение массивов ННК InAs на кремниевой подложке соответствует уровню тонкой пленки при доле полупроводникового материала в ННК от 0,7% до 35% от её полного объема;

изложены результаты расчета параметров приборных структур, устанавливающие минимальную высоту ННК InAs 1,5 мкм для поглощения не менее 60% ИК-излучения на длине волны 1,55 мкм и необходимый уровень легирования подложки p-Si не ниже 10^{16} см⁻³ для формирования фотодиодной структуры;

раскрыты причины формирования омических вольт-амперных характеристик в радиальных гетероструктурах p-InAs/i-InAs/n-Si, заключающиеся в шунтировании p-n перехода поверхностными каналами проводимости при инверсии типа основных носителей заряда;

изучено влияние водородной пассивации гетерограницы InAs/Si и установлено, что ее применение является эффективным методом подавления темнового тока в фотодетекторах на основе ННК.

Применительно к проблематике диссертации результативно использована приборная база СПбАУ РАН им. Ж.И. Алферова, а также совокупность различных методов исследования, в том числе численных методов (моделирование в среде COMSOL Multiphysics) и экспериментальных методик (молекулярно-пучковая эпитаксия, электронная микроскопия, рентгеновская дифрактометрия, методы постростовой обработки и низкотемпературные измерения), обеспечивающих получение новых результатов по теме диссертации.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены в виде лабораторных прототипов фотодетекторы на основе ННК InAs_{0,8}P_{0,2} на Si подложках, работающие в ближнем ИК-диапазоне ($\lambda = 1$ –2,3 мкм) при комнатной температуре;

определены оптимальные параметры подложек для формирования фотодиодной структуры на основе ННК InAs(P), в частности обоснована необходимость использования Si подложек p-типа проводимости с уровнем легирования не ниже 10^{16} см⁻³;

созданы фотодетекторы на основе самоорганизованных массивов вертикально ориентированных ННК с радиальной гетероструктурой n-InAs/i-InAs/p-InAs, выращенных на Si подложках, демонстрирующие фоточувствительность в диапазоне 1–2,3 мкм;

представлены рекомендации по снижению темновых токов в фотодетекторах на основе массивов ННК InAs методом пассивации эпитаксиальной гетерограницы InAs/Si в водородной плазме.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

экспериментальные работы проводились на современном научном оборудовании (приборная база СПбАУ РАН им. Ж.И. Алферова), показана воспроизводимость результатов исследования на различных сериях синтезированных образцов;

теоретические подходы основаны на фундаментальных законах электродинамики и физики полупроводников, согласуются с опубликованными экспериментальными данными по оптическим и электрофизическим свойствам полупроводниковых наноструктур;

идея базируется на анализе актуальной проблемы высоких темновых токов в ИК-фотоприемниках и обобщении мирового опыта использования резонансных оптических эффектов в наноструктурах для миниатюризации активной области приборов;

использованы сравнения полученных характеристик фотодетекторов на основе ННК с параметрами тонкопленочных аналогов, а также с данными независимых исследований гетероструктур $A^{III}B^V$ на Si;

установлено качественное и количественное совпадение результатов численного моделирования оптических спектров с экспериментально измеренными характеристиками отражения и поглощения созданных массивов ННК;

использованы современные методики исследования, включая сканирующую и просвечивающую электронную микроскопию, рентгеновскую дифрактометрию, а также температурные измерения вольт-амперных и спектральных характеристик.

Личный вклад соискателя состоит в его участии во всех этапах процесса диссертационного исследования от задач до интерпретации результатов; непосредственном участии в получении исходных данных, проведении численного моделирования и экспериментов; личном выполнении всех технологических этапов постростовой обработки при создании экспериментальных образцов ИК-фотодетекторов на основе массивов ННК InAs(P); личном проведении комплекса электрофизических и оптических измерений, а также структурной характеризации образцов методами сканирующей электронной микроскопии и энергодисперсионного анализа; обработке, систематизации и физической интерпретации полученных экспериментальных данных; личном участии в апробации результатов исследования и подготовке текста основных публикаций по выполненной работе.

На заседании 14 мая 2026 г. диссертационный совет принял решение:

за решение комплексной научной задачи по разработке, созданию и исследованию инфракрасных фотодетекторов на основе гетероструктур нитевидных нанокристаллов InAs(P) на кремнии, имеющей значение для развития физики полупроводников, а также за новые научно обоснованные решения по формированию наноразмерных фоточувствительных структур присудить Голтаеву Александру Сергеевичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении электронного тайного голосования диссертационный совет в количестве 11 человек, из них 3 доктора наук по специальности 1.3.11. – Физика полупроводников, участвовавших в заседании, из 14 человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» – 11, «против» – 0, «не голосовали» – 0.

Председатель
диссертационного совета
АУ 02.01, д.т.н.

Гудовских Александр Сергеевич

Ученый секретарь
диссертационного совета
АУ 02.01, к.ф.-м.н.

Шубина Ксения Юрьевна

14.05.2026 г.