

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ФТИ 34.01.01

на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе

Российской академии наук

по диссертации

НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 02.11.2023 № 10

О присуждении Косареву Александру Николаевичу

Гражданину Российской Федерации,

ученой степени кандидата физико-математических наук

Диссертация «Электронно-дырочные пары, локализованные в системах квантовых точек InGaAs» по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния» принята к защите 29 июня 2023 г., протокол № 6, диссертационным советом ФТИ 34.01.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе Российской академии наук, расположенном по адресу: 194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул. д.26. Диссертационный совет утвержден приказом директора ФТИ им. А.Ф. Иоффе № 75, прил. 1 от 12 июля 2019 г., приказами Директора ФТИ им. А.Ф. Иоффе от № 15 от 19.01.2021 г. и № 13 от 21.01.2022 г. об изменении состава диссертационного совета ФТИ 34.01.01 и приказом Директора ФТИ им. А.Ф. Иоффе № 160 от 21.12.2021 г. о внесении изменений в шифры специальностей диссертационных советов.

Соискатель Косарев Александр Николаевич, дата рождения – 30 сентября 1992 г., в 2017 году с отличием окончил программу магистратуры по направлению подготовки 03.04.02 «физика» в СПбПУ Петра Великого, в 2021 году успешно окончил аспирантуру в СПбПУ Петра Великого по специальности 03.06.01 «физика и астрономия» и там же сдал экзамен по

специальности 1.3.8 – «физика конденсированного состояния». В настоящее время соискатель работает в должности и.о. младшего научного сотрудника лаборатории физики аморфных полупроводников Федерального бюджетного учреждения науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук.

Диссертация выполнена на кафедре физики Физико-механического института Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

Научный руководитель – Чалдышев Владимир Викторович, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории физики аморфных полупроводников Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

1. Шамирзаев Тимур Сезгирович, д.ф.-м.н, доцент по специальности физика полупроводников, ведущий научный сотрудник лаборатории молекулярно-лучевой эпитаксии соединений АЗВ5 Института физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН дал положительный отзыв на диссертацию, содержащий 3 замечания и вопроса.

2. Родина Анна Валерьевна, д.ф.-м.н., профессор РАН, главный научный сотрудник лаборатории спиновых и оптических явлений в полупроводниках ФТИ им. А. Ф. Иоффе, дала положительный отзыв на диссертацию, содержащий 3 замечания.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования и науки «Санкт-Петербургский национальный исследовательский академический университет им. Ж.И. Алфёрова Российской академии наук» (СПбАУ РАН им. Ж.И. Алфёрова) предоставила положительное заключение на диссертацию, содержащее 7 замечаний. Заключение подготовлено заведующим лабораторией Нанوفотоники, д.ф.-м.н. по специальности 01.04.10 – физика полупроводников, Максимовым Михаилом Викторовичем и научным сотрудником лаборатории Нанوفотоники, к.ф.-м.н. по специальности 01.04.10 – физика полупроводников, Зубовым Федором Ивановичем, утверждено проректором по науке СПбАУ РАН им. Ж.И. Алфёрова,

Егоровым Антоном Юрьевичем. В заключении указано, что содержание диссертации Косарева А.Н. соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 1.3.8 – «физика конденсированного состояния», а соискатель Косарев А.Н. заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что оба оппонента имеют ученую степень доктора наук, работают в различных организациях, не имеют ограничений, накладываемых п. 3.7 действующего Положения о присуждении ученых степеней. Выбранные оппоненты являются известными специалистами и обладают высоким уровнем компетентности в научной области, в которой выполнена диссертационная работа, что подтверждается их публикациями в рецензируемых научных журналах.

Выбор ведущей организации обосновывается тем, что СПбАУ РАН им. Ж.И. Алферова ведет активные исследования в различных областях физики конденсированного состояния, в т.ч. в области оптических явлений и технологии структур с квантовыми эффектами, в частности, квантовых ям и точек. Отзыв подписан заведующим лабораторией д.ф.-м.н. Максимовым Михаилом Викторовичем и к.ф.-м.н. Zubovым Федором Ивановичем – специалистами в области оптических явлений в наноструктурах, в т.ч. квантовых точках и квантовых ямах.

Основные результаты работы изложены в 10 статьях, опубликованных в научных изданиях, индексируемых Scopus, Web of Science и РИНЦ:

1. Experimentally-Verified Modeling of InGaAs Quantum Dots / A. Kosarev, V. V. Chaldyshev, N. Cherkashin //Nanomaterials. – 2022. – Т. 12. – №. 12. – С. 1967. DOI: 10.3390/nano12121967
2. Carrier Localization by a Quantum Dot in a Quantum Well / A.N. Kosarev, V.V. Chaldyshev //Physical Review Applied. – 2021. – Т. 16. – №. 4. – С. 044046. DOI: 10.1103/PhysRevApplied.16.044046
3. Charge carrier localization in InAs self-organized quantum dots /A. N. Kosarev, V.V. Chaldyshev //Pisma v Zhurnal Tekhnicheskoi Fiziki. – 2021. – Т. 47. – №. 23. – С. 51-54. DOI: 10.21883/PJTF.2021.23.51786.19006
4. Carrier localization in self-organized quantum dots: An interplay between quantum and solid mechanics / A. Kosarev, V.V. Chaldyshev//Applied Physics Letters. – 2020. – Т. 117. – №. 20. – С. 202103. DOI: 10.1063/5.0032110
5. Accurate photon echo timing by optical freezing of exciton dephasing and rephasing in quantum dots / A.N. Kosarev, H. Rose, S.V. Poltavtsev, M. Reichelt, C. Schneider, M. Kamp, S. Höfling, M. Bayer, T. Meier & I. A. Akimov

//Communications Physics. – 2020. – Т. 3. – №. 1. – С. 1-9. DOI: 10.1038/s42005-020-00491-2

6. Photoluminescence from InAs Quantum Dots Buried Under Low-Temperature-Grown GaAs /A. Kosarev, N. Bert, V. Nevedomskii, V. Chaldyshev, V. Preobrazhenskii, M. Putyato, B. Semyagin //Physica Status Solidi (b). – 2019. – Т. 256. – №. 5. – С. 1800479. DOI: 10.1002/pssb.201800479

7. Fabrication and characterization of coupled ensembles of epitaxial quantum dots and metal nanoparticles supporting localized surface plasmons /A. Kosarev, V. Chaldyshev, N. Toropov, I. Gladskikh, P. Gladskikh, K. Baryshnikova, V. Preobrazhenskiy, M. Putyato, B. Semyagin, T. Vartanyan //Plasmonics: Design, Materials, Fabrication, Characterization, and Applications XV. – SPIE, 2017. – Т. 10346. – С. 48-53. DOI: 10.1117/12.2272994

8. Absorption and photoluminescence of epitaxial quantum dots in the near field of silver nanostructures/ N. A. Toropov, I. A. Gladskikh, P. V. Gladskikh, A. N. Kosarev, V. V. Preobrazhenskii, M. A. Putyato, B. R. Semyagin, V. V. Chaldyshev, and T. A. Vartanyan //Journal of Optical Technology. – 2017. – Т. 84. – №. 7. – С. 459-461. DOI: 10.1364/JOT.84.000459

9. Effect of silver nanoparticles on excitons in InAs epitaxial quantum dots/ Toropov N.A., Gladskikh P.V., Gladskikh I.A., Preobrazhenskiy V.V., Putyato M.A., Semyagin B.R., Kosarev A., Kondikov A.A., Chaldyshev V.V., Vartanyan T.A. //Журнал прикладной спектроскопии. – 2016. – Т. 83. – №. 6-16. – С. 170-171.

10. Effect of a low-temperature-grown GaAs layer on InAs quantum-dot photoluminescence / A.N. Kosarev, V. V. Chaldyshev, V. V. Preobrazhenskii, M. A. Putyato & B. R. Semyagin //Semiconductors. – 2016. – Т. 50. – №. 11. – С. 1499-1505. DOI: 10.1134/S1063782616110154

На автореферат поступило 3 отзыва.

1. Отзыв доктора физико-математических наук, старшего научного сотрудника руководителя лабораторией Фотофизики поверхности Университета ИТМО, профессора международного образовательного Центра физики наноструктур Вартаняна Тиграна Арменаковича, положительный, замечаний и вопросов не содержит.

2. Отзыв доктора физико-математических наук, приват-доцента Технического Университета Дортмунда, Германия Алекса Грайлиха положительный, замечаний и вопросов не содержит.

3. Отзыв кандидата физико-математических наук, старшего научного сотрудника – заведующего лабораторией полупроводниковых гетероструктур Института физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО

РАН Валерия Владимировича Преображенского положительный, замечаний и вопросов не содержит.

Диссертационный совет отмечает, что в рамках выполненных соискателем теоретического анализа в рамках теории упругости, численного моделирования поведения носителей в квантовых точках (КТ) и структурах “квантовая точка в яме (DWELL)”, а также экспериментального исследования оптических свойств КТ InAs и InGaAs в матрице GaAs были получены следующие основные результаты:

1. Показано, что для самоорганизованной пирамидальной КТ InAs существует оптимальное отношение высоты пирамиды к ее основанию, обеспечивающее наибольшую глубину локализации носителей заряда и наиболее сильный красный сдвиг излучения экситонов из КТ.
2. Показано, что усиление локализации носителей заряда в DWELL InGaAs происходит в результате совместного действия трех механизмов: увеличения объема КТ, изменения ее формы и перераспределения компонент тензора деформаций. Получены предельные параметры локализации носителей заряда в таких DWELL, при которых обеспечивается когерентность эпитаксиальных интерфейсов.
3. Проведено успешное моделирование КТ InGaAs для которой, размер, форма и пространственное распределение индия определены экспериментально с высоким разрешением, показано хорошее согласие рассчитанных и экспериментальных спектров фотолюминесценции.
4. Впервые проведены исследования оптических свойств гибридных структур, в которых КТ InGaAs отделены туннельно-тонким барьером от эпитаксиального слоя нестехиометрического GaAs, содержащего плазмонные наночастицы As, и структур, в которых КТ InGaAs находятся вблизи поверхности, на которой сформирован слой плазмонных наночастиц Ag.

Все научные результаты являются новыми и имеют фундаментальную значимость для развития физики конденсированного состояния, в частности полупроводниковой фотоники. Практическая значимость полученных результатов обусловлена перспективами широкого применения структур с КТ в оптоэлектронике, квантовой оптике, солнечной энергетике.

Полученные результаты позволили соискателю сформулировать и защитить следующие положения:

1. В пирамидальных квантовых точках зависимость глубины локализации носителей заряда от отношения высоты к основанию имеет экстремум, обусловленный влиянием на локализирующий потенциал гидростатической, девиаторной и сдвиговой компоненты тензора упругой деформации, а также эффектом размерного квантования. В системе пирамидальных квантовых точек InAs в GaAs минимальная энергия электронно-дырочных пар достигается при отношении высоты к основанию ≈ 0.2 .
2. Квантовые точки InAs, помещённые в квантовую яму InGaAs, обладают большей глубиной локализации носителей по сравнению с аналогичными квантовыми точками в объеме GaAs благодаря совместному действию трёх механизмов: увеличению объема квантовой точки, перераспределению упругих деформаций, и изменению отношения длины основания пирамидальной квантовой точки к её высоте. Требование когерентности интерфейсов ограничивает предельную глубину локализации.
3. В гибридных структурах, содержащих квантовые точки InGaAs и металлические наночастицы, время жизни локализованных в квантовой точке электронов и дырок определяется структурой разделительного барьера и разностью потенциалов между элементами структуры. В структурах с разделительным барьером GaAs толщиной около 5 нм основным механизмом передачи энергии между квантовыми точками и наночастицами является туннелирование.

Достоверность представленных в диссертации результатов и обоснованность положений основываются на хорошем согласии между результатами теоретического анализа, численных расчётов и оптических экспериментов, а также на соответствии выводов и заключений, сделанных в работе, с современными представлениями в данной области физики конденсированного состояния.

Основные результаты работы были доложены на 26 российских и международных конференциях:

ФизикаА (Санкт-Петербург, 2015); Симпозиум “Наука и инновации в технических университетах” (Санкт-Петербург, 2015); Неделя науки СПбПУ (Санкт-Петербург, 2015); XX симпозиум «Нанопфизика и наноэлектроника» (Нижний Новгород, 2016); Materials Research Society Fall Meeting (Boston, Massachusetts, USA, 2016); 4th International Symposium «Optics & its Applications» (Yerevan-Ashtarak, Armenia, 2016); ФизикаА (Санкт-Петербург, 2016); 3th International School and Conference "Saint-Petersburg OPEN 2016” (Санкт-Петербург, 2016); Неделя науки СПбПУ (Санкт-Петербург, 2016); Международная зимняя школа по физике полупроводников (Санкт-Петербург, 2017); 4th International School and Conference "Saint-Petersburg OPEN 2017” (Санкт-Петербург, 2017); XIII Российская конференция по физике полупроводников (Екатеринбург, 2017); Всероссийский форум студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и инновации в технических университетах» (Санкт-Петербург, 2017); Неделя науки СПбПУ (Санкт-Петербург, 2017); Зимняя школа по физике полупроводников (Санкт-Петербург, 2017); The 38th PIERS in St Petersburg (Санкт-Петербург, 2017); MRS Fall Meeting & Exhibit (Boston, Massachusetts, USA, 2017); SPIE Photonics West (San-Francisco, USA, 2018); Nonlinear Optics and Excitation Kinetics in Semiconductors – NOEKS 14 (Berlin, Germany, 2018); Фундаментальные проблемы оптики (Санкт-Петербург, 2018); Наука и инновации в технических университетах (Санкт-Петербург, 2018); Неделя науки СПбПУ (Санкт-Петербург, 2018); Deutsche Physikalische Gesellschaft 2019 (Regensburg, Germany, 2019); The 11th International Conference on Quantum Dots (Munich, Germany, 2020); Симпозиум «Нанопфизика и наноэлектроника» (Нижний Новгород, 2021); Низкоразмерный семинар, ФТИ им. А.Ф.Иоффе (Санкт-Петербург, 2021).

Выбор и постановка задач, получение представленных в диссертации экспериментальных результатов, моделирование процессов осуществлены непосредственно автором или при его определяющем участии, что отмечено в тексте автореферата.

Диссертация Косарева А.Н. является законченным научным исследованием, вносящим существенный вклад в развитие таких актуальных направлений современной физики как квантовая оптика, оптоэлектроника, солнечная энергетика.

На заседании 2 ноября 2023 года диссертационный совет принял решение присудить Косареву А.Н. ученую степень кандидата физико-

математических наук по специальности 1.3.8 – «физика конденсированного состояния».

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 15 докторов наук по специальности 1.3.8 - «физика конденсированного состояния», участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, проголосовали за – 14, против – 1, недействительных бюллетеней – 1.

Председатель

диссертационного совета

доктор физ.-мат. наук

Кусраев Юрий Георгиевич

Ученый секретарь

диссертационного совета

PhD

Калашникова Александра Михайловна

2 ноября 2023 г.