

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 23.09.2021 № \_\_\_\_\_

О присуждении Некрасову Сергею Васильевичу  
гражданину Российской Федерации,  
ученой степени кандидата физико-математических наук

Диссертация «Оптическая ориентация спинов в полупроводниковых квантовых точках InP/(In,Ga)P и (In,Al)As/AlAs» по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния» принята к защите 1 июля 2021 г., протокол №9, 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. и Приказом Директора ФТИ от 19.01.2021 об изменении состава диссертационного совета ФТИ 34.01.01.

Соискатель Некрасов Сергей Васильевич, 1989 г.р., в 2013 году окончил магистратуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» по направлению подготовки «Физика». В 2017 году окончил аспирантуру Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе по направлению 03.06.01 - «Физика и астрономия». Экзамены по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния» успешно сданы соискателем в Физико-техническом институте им. А. Ф. Иоффе. В настоящее время работает в должности исполняющего обязанности младшего научного сотрудника в лаборатории спиновых и оптических явлений в полупроводниках Федерального бюджетного учреждения науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук.

Диссертация выполнена в лаборатории спиновых и оптических явлений в полупроводниках Федерального государственного бюджетного учреждения

науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук.

Научный руководитель – Кусраев Юрий Георгиевич, доктор физико-математических наук, руководитель отделения Физики твердого тела, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией спиновых и оптических явлений в полупроводниках Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

1. Манцевич Владимир Николаевич, д.ф.-м.н., доцент Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, дал положительный отзыв на диссертацию, содержащий 8 замечаний.
2. Югова Ирина Анатольевна, д.ф.-м.н., профессор Санкт-Петербургского государственного университета, дала положительный отзыв на диссертацию, содержащий 2 замечания.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Физический институт им. П.Н. Лебедева» Российской академии наук (ФИАН) предоставила положительное заключение на диссертацию, содержащее 3 замечания. Заключение подписано старшим научным сотрудником, и.о. заведующего лабораторий спиновой физики двумерных материалов ОФТТ ФИАН к.ф.м.н, Белых Василием Валерьевичем, главным научным сотрудником и и.о. руководителя ОФТТ ФИАН д.ф.м.н. Демиховым Евгением Ивановичем и утверждено Директором ФИАН членом-корреспондентом РАН, д.ф.м.н. Колачевским Н. Н. В заключении указано, что содержание диссертации Некрасова С. В. соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния», а соискатель Некрасов С. В. заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что оба имеют ученые степени докторов наук, работают в различных организациях, не имеют других ограничений, накладываемых п. 3.7 действующего Положения о присуждении ученых степеней. Выбранные оппоненты являются широко 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 Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Физический институт им. П.Н. Лебедева» Российской академии наук (ФИАН) ведет активные исследования в области физики конденсированного состояния, физики оптических и спиновых явлений. В составе отделения физики твердого тела ФИАН существует отдел физики полупроводников и структур, в котором работает ряд ведущих специалистов по тематике диссертационной работы, создана по программе “Мегагранты” лаборатория спиновой физики двумерных материалов. К.ф.-м.н., В. В. Белых является специалистом в области экситонных и спиновых процессов в полупроводниковых наноструктурах, автор более 30 работ по данным тематикам в высокорейтинговых научных журналах. Д.ф.м.н. Е. И. Демихов является признанным специалистом в области низкотемпературных исследований и исследований в высоких магнитных полях в том числе в полупроводниковых материалах и структурах, автор более 50 работ по данным тематикам в высокорейтинговых научных журналах. В Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН имеется диссертационный совет Д 002.023.03 по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния».

Основное содержание диссертации представлено в 4 научных статьях, опубликованных в журналах, индексируемых в международной системе цитирования Web of Science:

1. Nekrasov S. V., Kusrayev Yu. G., Akimov I. A., Korenev V. L., Langer L., Salewski M. Negative circular polarization dynamics in InP/InGaP quantum dots // J. Phys.: Conf. Ser. – 2016. – Vol. 741. – P. 012189.
2. Некрасов С. В., Кусраев Ю. Г., Акимов И. А., Langer L., Kotur M., Яковлев Д. Р., Bayer M. Спиновая динамика отрицательно заряженных экситонов в квантовых точках InP/(In,Ga)P в магнитном поле // ФТТ. – 2020. – Т. 62, В. 11. – С. 1816.
3. Nekrasov S. V., Akimov I. A., Kusrayev Yu. G., Yakovlev D. R., Bayer M. Effect of nuclear quadrupole interaction on spin beats in photoluminescence polarization dynamics of charged excitons in InP/(In,Ga)P quantum dots // Phys. Rev. B. – 2019. – Vol. 100, no. 23. – P. 235415.
4. Rautert J., Shamirzaev T. S., Nekrasov S. V., Yakovlev D. R., Klenovský P., Kusrayev Yu. G., Bayer M. Optical orientation and alignment of excitons in direct and indirect band gap (In,Al)As/AlAs quantum dots with type-I band alignment // Phys. Rev. B. – 2019. – Vol. 99, no. 19. – P. 195411.

На автореферат поступило 3 отзыва.

1. Отзыв д.ф.-м.н. Вербина Сергея Юрьевича, профессора кафедры физики твердого тела Санкт-Петербургского государственного университета, положительный, замечаний не содержит.
2. Отзыв д.ф.м.н. Дорохина Михаила Владимировича, заведующего лабораторией Научно-исследовательского физико-технического института ФГАОУВО “Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского” положительный, содержит 1 замечание:
  - В разделе “Актуальность темы” следует описание истории вопроса, начиная с 1920-х годов, которое для автореферата выглядит избыточным.
3. Отзыв д.ф.м.н., профессора, член-корр. РАН Двуреченского Анатолия Васильевича, заведующего лабораторией Института физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН, и к.ф.м.н., доцента Ненашева Алексея Владимировича, старшего научного сотрудника того же института положительный, содержит 2 замечания:
  - В автореферате отсутствует информация о составе  $(\text{In},\text{Al})\text{As}/\text{AlAs}$  квантовых точек, т.е. о доле  $\text{InAs}$  в них.
  - При перечислении результатов работы автор пишет (стр. 24): “Обнаружено, что смешивание  $\Gamma$ - $X$ -состояний в зоне проводимости оказывает существенное влияние на поляризационные свойства ФЛ”. Однако из текста автореферата не ясно, в чём именно заключается это влияние, и как вообще смешивание состояний  $\Gamma$ - и  $X$ -долин связано с поляризацией фотолюминесценции.

Диссертационный совет отмечает, что в рамках выполненных соискателем экспериментальных исследований поляризованной фотолюминесценции с временным и спектральным разрешением в ансамблях квантовых точек  $\text{InP}/(\text{In},\text{Ga})\text{P}$  и  $(\text{In},\text{Al})\text{As}/\text{AlAs}$  во внешних магнитных полях получен ряд результатов, важных для развития физики спин-зависимых явлений в полупроводниковых наноструктурах:

1. В ансамбле квантовых точек  $\text{InP}/(\text{In},\text{Ga})\text{P}$  отсутствуют биения в спиновой динамике  $X$ - трионов, детектируемой по поляризации фотолюминесценции, в магнитном поле в геометрии Фойхта. Отсутствие биений обусловлено тем, что: (i) спин триона в основном состоянии определяется тяжелой дыркой; (ii) ларморовская прецессия электронных спинов в магнитном поле,

происходящая до формирования основного состояния комплекса, приводит исключительно к деполяризации триона.

2. В ансамбле квантовых точек  $\text{InP}/(\text{In,Ga})\text{P}$  сосуществуют фотовозбужденные  $X^-$  и  $X^+$  трионы. В результате наблюдается сложная спиновая динамика в магнитном поле в геометрии Фойхта: биения происходят на фоне монотонно затухающего во времени вклада. Динамическая поляризация ядер имеет место лишь при наличии в квантовых точках резидентных электронов, в результате чего ядерное квадрупольное взаимодействие позволяет разделить вклады  $X^-$  и  $X^+$  трионов.
3. В ансамбле квантовых точек  $(\text{In,Al})\text{As}/\text{AlAs}$  сосуществуют прямозонные и непрямозонные в  $k$ -пространстве квантовые точки, к которым можно обращаться независимо, используя селективное оптическое возбуждение. В прямозонных квантовых точках анизотропное обменное расщепление состояний оптически активных экситонов величиной 260 мкэВ приводит к отсутствию оптической ориентации спинов и способствует выстраиванию экситонов.
4. В непрямозонных в  $k$ -пространстве квантовых точках  $(\text{In,Al})\text{As}/\text{AlAs}$  наблюдается длинное время спиновой релаксации электронов ( $>10$  мкс). Эффект обусловлен малостью изотропного обменного расщепления и анизотропного обменного расщепления состояний оптически активных экситонов, не превосходящих расщепления электронных состояний флуктуациями сверхтонкого ядерного поля.

Научная новизна и практическая значимость обусловлена тем, что в работе получены сведения о процессах возбуждения и релаксации спиновой динамики в квантовых точках, являющихся перспективными объектами для спинтроники, продемонстрировано селективное оптическое возбуждение такой динамики, установлены физические причины ряда особенностей фотолюминесценции изученных ансамблей квантовых точек.

Достоверность представленных в диссертации результатов подтверждена применением современных экспериментальных спектроскопических методов, воспроизводимостью и согласованностью полученных результатов, а также системностью проводимых исследований. Полученные результаты прошли апробацию на 5 международных и российских конференциях, неоднократно представлялись на институтских семинарах, опубликованы в 4 статьях в рецензируемых журналах по физике конденсированного состояния.

Все представленные в диссертации результаты получены непосредственно автором или при его активном участии. Постановка задач и анализ полученных результатов осуществлялись автором совместно с научным руководителем.

Диссертация Некрасова С. В. является законченным научным исследованием, вносящим существенный вклад в развитие такого актуального направления современной физики конденсированного состояния, как оптическая спектроскопия спиновых явлений в полупроводниковых наноструктурах

На заседании 23 сентября 2021 года диссертационный совет принял решение присудить Некрасову С. В. ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «физика конденсированного состояния».

При проведении открытого голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 12 докторов по специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния», участвовавших в заседании, из 18 человек, входящих в состав совета, проголосовали за – 13, против – 0, воздержались – 0.

Заместитель председателя  
диссертационного совета  
доктор физ.-мат. наук

Соколов Игорь Александрович

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
PhD

Калашникова Александра Михайловна

23 сентября 2021 г.