

УТВЕРЖДАЮ:

И. о. заместителя декана  
Физического факультета СПбГУ

М.Г.Шеляпина

«*22*» *августа* 2023 г.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»

Диссертационная работа **«Когерентная оптическая динамика экситонов и трионов в полупроводниковых квантовых ямах»** выполнена Соловьевым Иваном Александровичем в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет». Научный руководитель – Югова Ирина Анатольевна, доктор физико-математических наук, профессор СПбГУ.

Актуальность и новизна диссертационного исследования подтверждается выбором в качестве объекта исследований полупроводниковых гетероструктур, использованием современных методов исследований когерентных оптических явлений, экспериментальным и теоретическим исследованием когерентной динамики оптических возбуждений, представляющим собой важный раздел современной квантовой оптики. Основная цель работы заключается в развитии возможностей когерентного оптического управления экситонами и трионами в полупроводниковых гетероструктурах с квантовыми ямами. Такие структуры являются особо привлекательными для исследователей благодаря возможности создавать их с желаемыми физическими свойствами. Экситонные эффекты определяют фундаментальное взаимодействие подобных структур со светом. Управление экситонным состоянием когерентным образом с помощью лазерного излучения является актуальной задачей, так как при успешной реализации такой когерентный контроль может быть использован в прикладной области обработки информации чисто оптическим способом. Основным методом экспериментального исследования когерентной оптической динамики экситонов в диссертации был выбран метод вырожденного четырехволнового смешения с пикосекундным временным разрешением с использованием протоколов двух- и трехимпульсного фотонного эха. Метод является мощным инструментом исследования когерентных свойств экситонов, что было продемонстрировано в ряде работ последних лет различными научными группами по всему миру. Автором диссертационного исследования были получены следующие научные результаты:

1. Продемонстрирована возможность разделения вкладов различных механизмов в фазовую и энергетическую релаксацию ансамбля квазичастиц в структуре с

пятью квантовыми ямами ZnO/(Zn,Mg)O. Экспериментально была показана разница в характере динамики экситонов и трионов двух типов А и В. Сильное уменьшение скоростей энергетической и чистой фазовой релаксации с ростом степени локализации трионов  $T_d$  при низкой температуре связано с уменьшением влияния упругого рассеяния на неровностях интерфейса квантовой ямы и безызлучательной энергетической релаксацией внутри неоднородно уширенного трионного ансамбля.

2. Экситонная оптическая когерентность в структуре, содержащей сто квантовых ям (In,Ga)N/GaN сохраняется на временах сотен пикосекунд, а время энергетической релаксации  $T_1$  достигает 1 нс при увеличении локализации. Температурные исследования проявили нелинейный характер увеличения скорости дефазировки экситонов. Результаты указывают на сильную локализацию экситонов на флуктуациях потенциала квантовых ям, подобно потенциалу квантовых точек.

3. Было впервые продемонстрировано осциллирующее поведение сигнала спин-зависимого двухимпульсного фотонного эха от ансамбля экситонов в квантовой яме (In,Ga)As/GaAs при приложении внешнего магнитного поля в геометрии Фохта. Осцилляции обусловлены Ларморовской прецессией спина электрона и дырки в экситоне. Наличие долгоживущих темных экситонных состояний привело к наблюдению нового аperiодического режима спин-зависимого фотонного эха, при котором было достигнуто увеличение времени когерентности  $T_2$  с 30 до 250 пс за счет смешивания светлых и темных экситонов. Получен богатый набор информации о времени дефазировки светлых и темных экситонов, g-факторах электрона и дырки и константе обменного взаимодействия. Продемонстрирована принципиальная возможность управления оптической когерентностью с помощью внешнего магнитного поля.

Все результаты были получены автором самостоятельно, они являются новыми, а их научно-практическая значимость не вызывает сомнений. Все результаты диссертации опубликованы в ведущих международных рецензируемых физических журналах. Основные положения и выводы диссертации носят фундаментальный характер. Результаты исследования могут быть включены в специальные курсы, читаемые на кафедре Фотоники и кафедре Физики твердого тела СПбГУ.

Диссертационное исследование Соловьева Ивана Александровича «Когерентная оптическая динамика экситонов и трионов в полупроводниковых квантовых ямах» соответствует паспорту по научной специальности 1.3.8. «Физика конденсированного состояния» и рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

С. Ю. Вербин,

Доктор физ.-мат. наук, профессор,

Заведующий кафедрой Физики твердого тела СПбГУ

