

УТВЕРЖДАЮ  
Первый проректор РТУ МИРЭА  
Н.И. Прокопов  
«08» 03 2024 г.



## ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Забегаева Дмитрия Николаевича  
«Информационно-аналитическая система для экспериментальных  
исследований сверхбыстрых оптоэлектронных процессов в арсениде галлия»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата  
физико-математических наук по специальности 1.3.4. Радиофизика

**Актуальность темы диссертационной работы.** Представленная работа посвящена созданию системы управления лазерным измерительным комплексом для проведения исследований сверхбыстрых оптоэлектронных процессов, происходящих в тонком слое полупроводника под воздействием пикосекундной оптической накачки. Появление лазеров в оптоэлектронике, способных генерировать мощные сверхкороткие (пико- и фемтосекундные) инфракрасные импульсы, инициировало развитие новых областей исследования, связанных с возможностью применения сверхкоротких импульсов для прямых измерений характеристик быстропротекающих радиофизических процессов. В основе таких измерений лежит быстрое оптическое возбуждение среды с помощью мощного сверхкороткого импульса, приводящее к отклонению системы от состояния равновесия, а затем прямое наблюдение ее временной эволюции. Такие наблюдения потребовали значительных преобразований в технике сверхбыстродействующих оптических и электронных регистрирующих устройств.

Развитие информационных технологий и микропроцессорной техники на сегодняшний день позволяет реализовать эффективное управление сложными измерительными устройствами как автономно, так и в составе сложных вычислительных комплексов.

Применение сверхкоротких оптических импульсов для изучения быстрых радиофизических процессов в полупроводниках без сомнения является перспективным направлением исследований современной науки. Это связано

с возможностью их использования в устройствах сверхбыстродействующей оптоэлектроники, что уже подтверждено на примере создания оптических процессоров, детекторов сверхкоротких оптических импульсов, оптоэлектронных ключей, полупроводниковых лазеров и т.д. Поэтому тема диссертационной работы является актуальной и направлена на решение важных современных научно-практических задач.

**Оценка содержания и оформления.** Работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка цитируемой литературы и списка трудов автора. Диссертация содержит 140 страниц, 56 рисунков. Список литературы включает 109 источников.

Во **введении** дается обоснование актуальности выбранной темы работы, формулируются цели и задачи диссертации, показывается научная новизна исследования, а также практическая ценность полученных результатов, приводятся положения, выносимые на защиту, раскрывается личный вклад автора, демонстрируется апробация результатов, представляется описание объема и структуры диссертационной работы по главам.

В **первой главе** приводится обзор наиболее важных теоретических и экспериментальных работ, выполненных к моменту начала диссертационных исследований, посвященных изучению динамики неравновесной электронно-дырочной плазмы (ЭДП) GaAs при межзонном поглощении интенсивного сверхкороткого светового импульса. В цикле обзора работ обнаружено, что при накачке в GaAs под влиянием собственного стимулированного излучения возникает коллективное возбуждение носителей заряда – автоколебания обеднения заселенностей зоны проводимости.

**Вторая глава** посвящена описанию лазерного пикосекундного спектрофотохронметрического комплекса АК-1, на котором были выполнены экспериментальные исследования. Рассматривается структура комплекса. Дается подробное описание его отдельных компонент.

В **третьей главе** приведено описание системы автоматизации лазерного комплекса, созданной для обеспечения его эффективного функционирования после проведенной глубокой научно обоснованной модернизации аппаратной части. В основе создания системы лежит разработка и оптимизация численных алгоритмов программного обеспечения для лазерного комплекса.

В **четвертой главе** экспериментально показано возникновение стимулированного излучения в GaAs. Установлено, что его интенсивность возрастает с пикосекундной задержкой относительно фронта мощной пикосекундной оптической накачки, создававшей плотную

электроннодырочную плазму. При спаде накачки интенсивность излучения релаксирует с характерным временем порядка 10 пс.

**В пятой главе** проводилось исследование эволюции спектра пикосекундного излучения до достижения им торцов образца. Обнаружилось, что в спектре излучения образуется модовая структура, создающая бистабильную модуляцию. Бистабильная модуляция позволила объяснить физическую природу состояний обеднения заселенностей, вызванного излучением, между которыми в поле этого излучения возникали обнаруженные ранее субтерагерцовые автоколебания.

**Заключение** содержит основные результаты научной работы.

**Новизна исследования и полученных результатов.** В диссертации соискателя Забегаева Д.Н. присутствует ряд принципиально новых научных результатов. С использованием разработанной автором вычислительной системы для управления ходом эксперимента на лазерном пикосекундном комплексе были впервые проведены прямые исследования собственного стимулированного пикосекундного излучения в GaAs под действием мощной оптической накачки. Обнаружено, что интенсивность излучения возрастает с пикосекундной задержкой относительно фронта пикосекундной накачки. Получены зависимости времени задержки, времени релаксации, длительности пикосекундного импульса излучения от энергии его фотона.

Кроме того, обнаружена бистабильность автомодуляции спектра стимулированного пикосекундного излучения, возникающая при пикосекундной оптической накачке GaAs. На фронте импульса излучения в его спектре выделился один набор эквидистантных мод. На спаде излучения его заменил набор мод, расположенных в спектре посередине между первым.

При разработке вычислительной системы автором предложены и реализованы собственные алгоритмы компенсации эффекта джиттера при временных измерениях и определения наличия космических лучей на изображениях спектров при спектральных измерениях.

**Степень обоснованности и достоверности сформулированных положений.** Достоверность выносимых на защиту положений и предоставленных результатов обеспечивается применением надежных методик проведения эксперимента в совокупности с обоснованным анализом данных, полученных в эксперименте. Результаты исследований докладывались на профильных российских и международных конференциях, а основные результаты диссертации опубликованы в 34 научных статьях ВАК, Scopus/WoS, а также других рецензируемых изданиях.

**Научная и практическая значимость работы.** Результаты, полученные в работе, имеют важное теоретическое значение в области исследования характеристик интенсивного стимулированного пикосекундного излучения, возникающего под действием мощной пикосекундной оптической накачки в тонком слое GaAs.

Представленные результаты могут быть полезны при разработке новых устройств сверхбыстродействующей полупроводниковой оптоэлектроники, для которых характерна высокая интенсивность стимулированного излучения. К числу таких устройств можно отнести мощные полупроводниковые лазеры и суперлюминесцентные диоды, оптически управляемые пикосекундные модуляторы прозрачности.

Оригинальные алгоритмы компенсации эффекта джиттера при измерениях временных зависимостей исследуемого излучения и определения наличия космических лучей на спектрах импульсов, основанные на математической обработке экспериментальных данных, могут быть успешно применены для решения других научных задач, в которых встречаются аналогичные проблемы.

Результаты и выводы диссертации могут быть также использованы на предприятиях: ЗАО «РЛС» Российские Лазерные Системы, АО «Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов», АО «ПРОТОН».

**Соответствие работы требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.** Диссертация Забегаева Д.Н. «Информационно-аналитическая система для экспериментальных исследований сверхбыстрых оптоэлектронных процессов в арсениде галлия» удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении ученых степеней». Содержание диссертационной работы соответствует паспорту специальности 1.3.4. Радиофизика: п.2 – Разработка новых приборов и методов для изучения линейных и нелинейных процессов излучения, распространения, дифракции, рассеяния, взаимодействия и трансформации волн в естественных и искусственных средах; п.3 – Разработка и создание новых электродинамических систем и устройств формирования и передачи радиосигналов: резонаторов, волноводов, фильтров и антенных систем в радио, оптическом и ИК – диапазоне.

**Соответствие содержания автореферата содержанию диссертации.** Автореферат соответствует требованиям, предусмотренным п.25 «Положения о присуждении ученых степеней». Его содержание полностью отражает содержание диссертации, полученные результаты и выводы.

**По результатам диссертационного исследования опубликовано 34 печатных работы, включая 27 статей в рецензируемых журналах, входящих в**

перечень изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, а также 7 публикаций в сборниках трудов и тезисов конференций. Основные результаты представлены в виде докладов на 7 международных и российских конференциях.

В работе можно выделить следующие **недостатки**:

1. Третья глава непропорциональна остальным главам по объему и по содержанию, перенасыщена описанием режимов настроек и работы интерфейсов программы, что несколько затрудняет ее содержательное восприятие.

2. В формате данных, передаваемых между устройством сопряжения и персональным компьютером присутствует контрольное число, не несущее существенной нагрузки, однако отсутствует контрольная сумма, что не дает представления о целостности передаваемых пакетов данных.

**Общая оценка работы.** Несмотря на указанные недостатки диссертационная работа Дмитрия Николаевича Забегаева заслуживает положительной оценки, ее тема и цель актуальны, научные положения, выносимые на публичную защиту, и выводы носят обоснованный характер. Применение собственных оригинальных способов решения задач, возникших при разработке системы управления лазерным измерительным комплексом, позволило получить новые достоверные результаты, касающиеся процессов, происходящих в тонком слое гетероструктуры GaAs под действием мощной пикосекундной оптической накачки. Поставленные в работе задачи решены на достойном теоретическом и экспериментальном научном уровне. Цели диссертационного исследования достигнуты. Основные положения работы и выводы сформулированы ясно и аргументированно. Полученные результаты без сомнения обладают научной значимостью и новизной.

Диссертация и автореферат оформлены в соответствии с предъявляемыми требованиями. Стиль изложения материала соответствует научным нормам.

**Заключение.** Исходя из содержания диссертационного исследования и автореферата, диссертация Д.Н. Забегаева «Информационно-аналитическая система для экспериментальных исследований сверхбыстрых оптоэлектронных процессов в арсениде галлия» представляет собой завершенную научную работу, в которой решена важная научная задача по исследованию сверхбыстрых оптоэлектронных процессов, происходящих в тонком слое GaAs, накачиваемом мощным пикосекундным импульсом света.

Диссертация удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, согласно п.п. 9 – 14 «Положения о присуждении

ученых степеней», а Забегаев Дмитрий Николаевич достоин присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.3.4. Радиофизика.

Отзыв составлен по результатам обсуждения диссертационной работы Забегаева Д.Н. на расширенном заседании кафедры радиоволновых процессов и технологий Института радиоэлектроники и информатики РТУ МИРЭА, протокол №56-05-24 от 08.05.2024 г.

Заведующий кафедрой радиоволновых процессов и технологий РТУ МИРЭА, доктор технических наук, доцент

М.С. Костин

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет», просп. Вернадского, д.78, Москва, 119454  
Телефон: +7 (499) 600-80-80, доб. 20514  
E-mail: kostin\_m@mirea.ru

Подпись руки М.С. Костина

удостоверяю Начальник Управления кадров Визикова

