

В диссертационный совет 24.1.111.02  
на базе ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН

## ОТЗЫВ

официального оппонента

Захарова Петра Николаевича

на диссертационную работу 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**

Главной задачей рассматриваемой диссертации является создание системы управления лазерным пикосекундным измерительным комплексом. Система представляет собой сочетание программных и аппаратных компонент, позволившее управлять проведением экспериментальных исследований сверхбыстрых оптоэлектронных процессов в полупроводниковой гетероструктуре при помощи управляющего компьютера. Применение вычислительной техники в задачах управления сложными комплексами – важнейшая черта технической инфраструктуры современной науки и производства. Задачи разработки и применения алгоритмов математической обработки экспериментальных данных продолжают оставаться на острие познавательной и производственной деятельности человечества на ближайшие десятилетия.

Вторая часть рассматриваемой работы посвящена экспериментальным исследованиям сверхбыстрых оптоэлектронных процессов, происходящих в слое арсенида галлия, являющегося одним из наиболее используемых в науке и промышленности полупроводников. Такие исследования играют серьезную роль как для развития фундаментальной науки, так и в прикладном отношении, в связи с возможностью использования сверхкоротких

интенсивных световых импульсов при разработке новых устройств сверхбыстродействующей оптоэлектроники, получающих все большее распространение в современном мире.

### **Научная новизна и практическая значимость исследований**

В диссертационной работе соискателя представлен ряд результатов исследований, являющихся принципиально новыми. А именно, использование системы, управляющей работой лазерного комплекса, позволило впервые экспериментально обнаружить возникновение стимулированного излучения, которое образуется в тонком слое арсенида галлия под действием мощной пикосекундной оптической накачки. Было установлено, что интенсивность этого излучения возрастает с пикосекундной задержкой относительно фронта импульса накачки, а релаксация происходит по экспоненциальному закону с характерным временем около 10 пс. Были получены зависимости других параметров этого излучения от энергии его фотона.

Также впервые было обнаружено, что возникающее излучение обладает бистабильной автомодуляцией: на фронте импульса в спектре излучения возникает один набор мод, расположенных на расстоянии 10 мЭВ друг от друга, на спаде – другой, находящийся между первыми. При этом интегральный по времени спектр излучения обладает гладкой формой, без выделения локальных максимумов. Автором выдвигается предположение о возможности рассмотрения слоя GaAs в качестве активного резонатора, в котором излучение распространяется под небольшим углом к границам раздела слоев гетероструктуры.

Полученные в работе новые знания о свойствах, проявляемых арсенидом галлия под действием мощного луча накачки, могут оказаться полезными при создании новых и оптимизации существующих полупроводниковых лазеров и других быстродействующих оптоэлектронных устройств. Разработанные и примененные в работе математические алгоритмы компенсации джиттера и

определения наличия на изображениях спектров космических лучей, могут иметь широкий спектр применения при решении аналогичных задач в различных областях науки.

### **Оценка содержания диссертации**

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка цитируемой литературы, включающего 109 источников. Полный объем диссертации составляет 140 страниц печатного текста и содержит 56 рисунков.

Во введении дается краткое описание работы: определяются актуальность выбранной темы, цели и задачи работы, научная новизна и практическая значимость исследования, положения, выносимые на защиту, личный вклад автора, апробация результатов.

В первой главе приводится обзор наиболее важных публикаций, выполненных к моменту начала работы над диссертационным исследованием. В них рассматриваются экспериментальные и теоретические результаты о динамике неравновесной электронно-дырочной плазмы в арсениде галлия при поглощении короткого интенсивного светового импульса. Основным предметом исследований в этих работах являлась величина просветления (увеличения оптической прозрачности) тонкого эпитаксиального слоя GaAs при его облучении мощным импульсом света с энергией фотона, близкой к ширине запрещенной зоны.

Вторая глава посвящена описанию лазерного комплекса, на котором проводятся экспериментальные исследования. Приводится структура комплекса, дается подробное описание его компонент до и после проведенной глубокой модернизации. Обосновывается необходимость создания информационно-аналитической системы для управления ходом эксперимента на комплексе после его модернизации.

В третьей главе дается подробное описание разработанного автором программно-аппаратного комплекса. Приводится иллюстрированное описание режимов его работы, выбора параметров для проведения измерений. Задачу создания системы можно условно разделить на три взаимосвязанные части: 1) программно-аппаратный комплекс, управляющий работой всех оптических и измерительных компонент лазерного комплекса, 2) программно-аппаратный комплекс, автоматизирующий работу источников питания оптических усилителей, 3) программу, измеряющую диаметр и другие параметры луча лазерного импульса при помощи анализа изображения с web-камеры. В главе описываются возникшие в процессе разработки комплекса проблемы и способы их решения. В том числе появление изображений космических лучей на спектрах измеряемых импульсов и наличие случайных отклонений положений фронтов измеряемых импульсов по оси времени (джиттера) при временных измерениях.

Четвертая и пятая главы посвящены результатам экспериментальных исследований, проводимых на лазерном комплексе, работающем под управлением представленной информационно-аналитической системы.

В четвертой главе изучается возникновение стимулированного излучения в GaAs. Обнаруживается, что излучение возникает с пикосекундной задержкой относительно фронта пикосекундной накачки, а длительность его импульса сравнима с длительностью импульса накачки. Задержка разгорания, длительность излучения и характерное время релаксации являются функцией энергии фотона.

В пятой главе исследуется эволюция спектра излучения. Обнаруживается, что в спектре образуется модовая структура, создающая бистабильную модуляцию. Делается заключение о том, что накачиваемая гетероструктура даже без участия отражения излучения от ее торцов может обладать в определенной степени качествами лазера.

Заключение содержит основные результаты выполненной диссертационной работы.

### **Обоснованность и достоверность научных положений и выводов**

Наблюдаемое в работе стимулированное излучение, возникающее в арсениде галлия под действием мощной оптической накачки, полностью соответствует представлению, созданному ранее на основании лишь косвенных признаков. Представленные экспериментальные и численные результаты не противоречат существующим научным представлениям и прошли апробацию на всероссийских и международных конференциях. Основные результаты диссертационной работы, полученные соискателем лично или в соавторстве, опубликованы в 34 научных публикациях, включая 27 статей в рецензируемых журналах, индексируемых Web of Science и Scopus, а также 7 публикаций в сборниках трудов и тезисов конференций.

### **Замечания**

В качестве замечаний можно отметить следующее.

1. В выводах к описаниям решаемых задач часто встречаются утверждения о том, что получен «хороший результат». Хотелось бы видеть конкретные численные оценки этих утверждений.
2. Описание функционирования лазерного измерительного комплекса перенасыщено изложением деталей и параметров проведения измерений, имеющих косвенное отношение к главной теме работы, что, на мой взгляд, несколько усложняет понимание текста в целом.
3. Хотелось бы увидеть в диссертации сравнение авторского решения задачи компенсации джиттера с решениями других исследователей, столкнувшихся ранее с аналогичной задачей.

Сделанные замечания носят характер пожеланий и не снижают значимость диссертационной работы и ее общей высокой оценки.

### Общее заключение

Диссертация Забегаева Д.Н. является завершённым научным исследованием, выполненным на актуальную тему, содержащим оригинальные экспериментальные результаты, представляющие существенный научный интерес и прикладное значение. Работа хорошо проиллюстрирована и оформлена в соответствии с требованиями ВАК РФ. Материалы автореферата полностью отражают результаты, представленные в диссертационной работе. Основные результаты опубликованы в печатных изданиях, входящих в перечень ВАК Минобрнауки РФ.

Представленная диссертационная работа «Информационно-аналитическая система для экспериментальных исследований сверхбыстрых оптоэлектронных процессов в арсениде галлия» полностью соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Забегаев Дмитрий Николаевич, заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 – «Радиофизика».

### Официальный оппонент

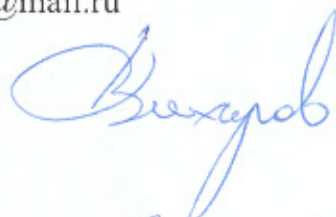
кандидат физико-математических наук по специальности 01.04.03 – Радиофизика,

доцент кафедры фотоники и физики микроволн Физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова

Адрес: 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские Горы, МГУ им. М.В. Ломоносова, д.1, стр.2, Физический факультет

Тел.: +7-495-9394209

E-mail: zakharov1@mail.ru



Подпись

Захаров П.Н.

УДОСТОВЕРЯЮ

Зав. канцелярией

В.В. Архангельская

Захаров Петр Николаевич

29 мая 2024 г.

