

ОТЗЫВ

официального оппонента Селезнева Леонида Владимировича
на диссертационную работу
Степанова Евгения Александровича
**«Формирование предельно коротких импульсов среднего инфракрасного
диапазона и их применение для нелинейной спектроскопии полупроводников
на основе генерации высших оптических гармоник»**,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.21 – Лазерная физика.

Последние десятилетия развитие технологии и лазерной техники позволило создать и сделать коммерчески доступными лазерные системы, формирующие импульсы фемтосекундной длительности. Уникальные свойства таких импульсов позволяют реализовывать широкий круг нелинейно-оптических эффектов. При правильном подборе экспериментальных параметров в результате таких эффектов возможно существенное уширение спектра лазерных импульсов, что при определенных условиях позволяет получить импульсы, длительность которых оказывается сопоставима с одним периодом колебания поля. Именно на решение такой задачи направлена представленная диссертация. Помимо указанной задачи в диссертации рассматривается возможность получения информации о топологии зонной структуры полупроводника с помощью таких импульсов.

Актуальность выбранного направления исследований, а именно разработка и реализация методов генерации сверх коротких (вплоть до суб-периодных) импульсов сомнений не вызывает.

Новизна основных полученных результатов состоит в следующем.

1. При нелинейно-оптическом преобразовании лазерных импульсов в кристалле арсенида галлия вблизи нуля дисперсии групповых скоростей (длина волны около 6.8 мкм) возможно получение импульса длительностью менее одного периода поля.

2. При волноводном распространении лазерных импульсов среднего и ближнего инфракрасного диапазона в режиме солитонной самокомпрессии возможно обеспечение эффективной генерации мультиоктавного суперконтинуума, при этом осуществляется их сжатие до длительностей менее одного периода оптического поля.

3. Генерация высших оптических гармоник при воздействии сверхкоротких импульсов среднего инфракрасного диапазона позволяет оптическими методами получить информацию о топологии зонной структуры полупроводника.

Практическая значимость работы состоит в разработке и реализации новых методов получения ультракоротких (вплоть до длительности, соответствующей менее одного периода поля) импульсов среднего ИК диапазона.

Достоверность полученных результатов подтверждается обоснованной методикой экспериментов, большой статистической базой данных и их повторяемостью, использованием в качестве компонент регистрирующего оборудования – сертифицированных, метрологически поверенных приборов, а также разумным согласием результатов с результатами, полученным другими исследователями для частных случаев совпадения условий экспериментов.

Работа состоит из Введения, пяти глав, заключения и списка цитируемой литературы, включающего 168 источника. Объем диссертации составляет 135 страниц, содержит 51 рисунок.

Во **введении** к диссертации обоснована актуальность темы, сформулирована цель исследований и задачи, решение которых определяет достижение поставленной цели. Сформулированы научная новизна, практическая значимость, а также положения, выносимые на защиту.

Первая глава диссертации содержит обзор результатов экспериментальных и теоретических исследований, имеющихся в источниках. На основе проведенного анализа автор формулирует задачи по получению предельно коротких (порядка одного периода поля) лазерных импульсов в среднем инфракрасном диапазоне и их применению, в частности, для оптической спектроскопии зонной структуры полупроводников.

Вторая глава описывает источники лазерного излучения, применяемые в экспериментах, а также методики измерений. Описываются два перестраиваемых источника фемтосекундных лазерных импульсов среднего инфракрасного диапазона на основе титан-сапфирового лазерной системы и на основе иттербиевой лазерной системы, генерирующая сверхкороткие импульсы. Также рассматриваются экспериментальные методики характеристики импульсов среднего и ближнего инфракрасного диапазонов, применяющиеся для

восстановления параметров предельно коротких импульсов ближнего и среднего инфракрасного диапазона.

В третьей главе была показана разработка и реализация твердотельного источника субпериодных (менее двух периодов поля) импульсов среднего инфракрасного диапазона. Получение таких импульсов осуществлялось за счет компрессии в полупроводниковом кристалле арсенид галлия фемтосекундных импульсов. Показана возможность формирования импульсов длительностью менее одного периода поля на центральной длине волны 6.8 мкм.

Четвертая глава посвящена изучению возможности генерации мультиоктавного суперконтинуума в полном фотонно-кристаллическом волноводе, который заполнялся аргоном при высоком давлении (до пяти атмосфер). Применение методики прямого измерения светового поля X-SEA-F-SPIDER показала, что длительность полученных импульсов на центральной длине волны 2.1 мкм соответствует одному колебанию поля.

В пятой главе предложен и реализован оптический метод зондирования зонной структуры полупроводника, базирующийся на генерации высших оптических гармоник от лазерных импульсов среднего ИК диапазона. Продемонстрировано, что полученные поляризационные карты гармоник, генерируемых при воздействии сверхкоротких импульсов среднего инфракрасного диапазона, позволяют характеризовать анизотропию фотоиндуцированных токов, возникающих в полупроводнике.

В заключении сформулированы наиболее значимые результаты диссертации, которые полностью удовлетворяют критерию новизны.

Апробация результатов не вызывает сомнений. Результаты исследований опубликованы в 13 статьях индексируемых в WoS и Scopus, представлялись на 10 международных конференциях.

Несмотря на общее положительное мнение о диссертационной работе, хотелось бы сделать несколько замечаний:

1. На мой взгляд, цель работы сформулирована в весьма общих фразах, нет конкретики. В таком виде она больше похожа на цель диссертации на соискание докторской степени.
2. Научная новизна практически дословно совпадает с Заключением.

3. Местами есть не совсем корректные формулировки. Например, в четвертом защищаемом положении написано, что «методика генерации...гармоник...позволяет осуществить...зондирование...». Наверное, все же не «методика получения» позволяет, а наличие или генерация этих гармоник.

4. В работе представлен объемный литературный обзор, много экспериментально полученных результатов. По объему работа вполне соответствует объему кандидатской диссертации, т.е. увеличивать объем не следует. Тем не менее. Мне немного не хватило более подробного описания физических явлений, на основе которых работал диссертант. Например, физики нелинейно-оптических преобразований в полупроводниках, в полых световодах и др.

Отмеченные замечания не влияют на общую положительную оценку выполненной Е.А. Степановым работы. Диссертация является законченной научно-исследовательской работой и отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.04.21 – «лазерная физика» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также оформлена согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. Автореферат соответствует содержанию диссертации. Считаю, что Степанов Евгений Александрович, автор работы «Формирование предельно коротких импульсов среднего инфракрасного диапазона и их применение для нелинейной спектроскопии полупроводников на основе генерации высших оптических гармоник», заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – «лазерная физика».

Официальный оппонент:

Ио лаборатории фемтосекундной нелинейной оптики,
ведущий научный сотрудник
Отделения квантовой радиофизики

Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева
Российской академии наук (ФИАН)
Россия, 119991 ГСП-1 Москва,
Ленинский проспект, д.53
тел.: +7(499) 135-67-35, seleznev@sci.lebedev.ru

доктор физико-математических наук
по специальности 01.04.21 – лазерная физика,
доцент

Л.В. Селезнев

21 июня 2022 г.

Подпись Л.В. Селезнева заверяю:
Ученый секретарь
Физического института им. П.Н. Лебедева РАН
кандидат физико-математических наук

А.В. Колобов

