

Заключение

комиссии диссертационного совета 24.2.392.06 на базе ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» по диссертации Зайцева Кирилла Игоревича «Импульсная спектроскопия и микроскопия биологических тканей в терагерцовом диапазоне», представляемой на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.6 – Оптика.

Диссертационная работа «Импульсная спектроскопия и микроскопия биологических тканей в терагерцовом диапазоне», представленная на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.6 – Оптика, выполнена Зайцевым Кириллом Игоревичем в Отделе субмиллиметровой спектроскопии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук» (ИОФ РАН), г. Москва, Россия.

Диссертация К.И. Зайцева содержит решение крупной научной проблемы, связанной с разработкой новых методов спектроскопии и микроскопии биологических тканей в терагерцовом диапазоне шкалы электромагнитных волн, а также их применением для получения новых знаний о взаимодействии терагерцовых волн с такими объектами. Соискателем приложены новые подходы к решению данной проблемы, разработаны уникальные исследовательские лабораторные системы и методы, а также проведена их апробация на объектах различной природы, включая изучение биологических тканей в сотрудничестве с специалистами медицинских учреждений.

В диссертации разработана модель взаимодействия импульсного излучения с плоско-слоистыми средами в терагерцовой импульсной спектроскопии, а также метод оценки оптических характеристик объекта по наблюдаемым сигналам спектрометра для различных геометрий эксперимента. Разработанная модель и метод оценки оптических характеристик учитывают все ключевые эффекты взаимодействия терагерцового импульса с объектом в измерительном тракте спектрометра, включая деление амплитуды волны и фазовые набег на границах раздела, фазовые набег и поглощение в объеме вещества, конечный диапазон временного окна, в котором регистрируется сигнал, и, соответственно, конечное число резонансов в слое образца.

Разработан метод терагерцовой микроскопии субволнового разрешения на основе эффекта твердотельной иммерсии. Метод адаптирован для визуализации аморфных сред и биологических тканей. В этом методе преодолевается дифракционный предел Аббе (для фокусировки в свободном пространстве) и обеспечивает разрешение в диапазоне $0,15\lambda$ – $0,40\lambda$ в зависимости от оптических свойств объекта визуализации, где λ – длина волны в свободном пространстве. Для данного метода микроскопии предложена модель взаимодействия непрерывного терагерцового излучения с объектом исследования, учитывающая широкую апертуру и поляризацию пучка, возбуждение эванесцентных волн на границе раздела между иммерсионной линзой и образцом, а также стоячие волны в иммерсионной линзе. На основе этой модели разработан метод оценки пространственного распределения (с субволновым разрешением) терагерцовых оптических характеристик гетерогенных объектов, включая биологические ткани.

Разработанные методы терагерцовой импульсной спектроскопии и терагерцовой микроскопии субволнового разрешения применены для изучения оптических свойств в терагерцовом диапазоне и гетерогенности объектов различной природы, причем особое внимание уделялось биологическим тканям. В диссертации впервые экспериментально изучены терагерцовые оптические свойства водных растворов распространенных агентов для иммерсионного оптического просветления тканей: глицерина, полиэтиленгликоля 200, 300, 400 и 600, пропиленгликоля и диметилсульфоксида, сахарозы, фруктозы и глюкозы, декстрана 40 и 70. Впервые экспериментально изучен терагерцовый отклик обыкновенных и диспластических невусов кожи человека (в сравнении со здоровой кожей в различных областях организма), децеллюляризованного бычьего перикарда, интактных тканей головного мозга человека и глиом различной степени злокачественности, а также модели глиомы 101.8 в мозгу крысы. Впервые зарегистрированы терагерцовые микроскопические изображения клеточных сфероидов, тканей молочной железы и языка человека, децеллюляризованного бычьего перикарда, а также модели глиомы 101.8 *ex vivo*.

С одной стороны, анализ результатов терагерцовой импульсной спектроскопии и терагерцовой микроскопии позволил выявить статистические различия между откликом интактных тканей и новообразований. Это свидетельствует о перспективности применения в диагностике социально значимых заболеваний как разработанных методов, так и терагерцовых технологий в целом. Это позволило сформулировать проблему исследования эффектов рассеяния и построения теории переноса терагерцового излучения в таких средах.

Комиссия пришла к выводу, что диссертационная работа является законченной научно-квалификационной работой, совокупность представленных теоретических положений и экспериментальных результатов которой можно квалифицировать как научное достижение. Диссертация полностью соответствует специальности 1.3.6 – Оптика.

По результатам диссертации опубликованы 59 научных работ в журналах, включенных в перечень рекомендованных ВАК и входящих в международные реферативные базы данных Web of Science и Scopus, 3 главы в монографиях и 6 свидетельств о результатах интеллектуальной деятельности. Содержание опубликованных работ отражает содержание диссертации.

При использовании чужих материалов и результатов исследований соискатель ссылается на источник заимствований. В диссертации приведен список используемой литературы. В автореферате приведен список основных публикаций автора в изданиях, входящих в перечень ВАК и включенных в базы данных Scopus и Web of Science. Недостоверных сведений об опубликованных соискателем работах в диссертации не обнаружено. Результаты проверки в системе «РУКОНТЕКСТ» показали проценты оригинальности текста 97,7%.

На основе вышеизложенного комиссия заключает, что диссертационная работа удовлетворяет требованиям пп. 9–11, 13, 14 действующего «Положения о присуждении ученых степеней», а количество публикаций в рецензируемых изданиях достаточно для представления диссертации к защите на соискание учёной степени доктора физико-математических наук. Текст диссертации, представленной в диссертационный совет, идентичен тексту диссертации, размещенной на сайте организации.

Комиссия рекомендует:

1. Принять диссертацию Зайцева Кирилла Игоревича «Импульсная спектроскопия и микроскопия биологических тканей в терагерцовом диапазоне» к защите на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.6 – Оптика – в диссертационном совете 24.2.392.06 на базе ФГБОУ ВО «Саратовский

национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского».

2. В качестве официальных оппонентов рекомендуются:

Соколовский Григорий Семенович, доктор физико-математических наук, профессор РАН, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук», г. Санкт-Петербург, Россия;

Китаева Галия Хасановна, доктор физико-математических наук, доцент, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», г. Москва, Россия;

Попов Вячеслав Валентинович, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Саратовского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук, г. Саратов, Россия.

3. В качестве ведущей организации рекомендуется:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)», г. Долгопрудный, Московская обл., Россия.

Председатель комиссии:

д.ф.-м.н., профессор
(член диссертационного совета
по специальности 1.3.6. – Оптика)



Рябухо В.П.

д.ф.-м.н.,
(член диссертационного совета
по специальности 1.3.6. – Оптика)



Романова Е.А.

д.ф.-м.н., профессор
(член диссертационного совета
по специальности 1.3.6. – Оптика)



Зимняков Д.А.