

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Зайцева Кирилла Игоревича «Импульсная спектроскопия и микроскопия биологических тканей в терагерцовом диапазоне», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.6. Оптика

В диссертации К.И. Зайцева разработаны новые инструменты и методы терагерцовой импульсной спектроскопии и сверхразрешающей микроскопии объектов различной природы, включая биологические ткани. С их помощью получены новые знания о взаимодействии терагерцового излучения с такими объектами. Ввиду растущего интереса к терагерцовой оптике и, в частности, к биомедицинским приложениям терагерцовых технологий, выбранная тема диссертационного исследования представляется весьма актуальной.

Во введении приведена вся необходимая ключевая информация по работе: актуальность, цель, задачи, научная новизна, выносимые на защиту положения и результаты и др. В первой главе проведен обзор современного состояния исследований в области терагерцовой оптики и биофотоники, сформулированы цель и задачи работы. Во второй главе описаны оригинальные терагерцовые импульсные спектрометры, применяемые в диссертационном исследовании. Разработаны новые методы решения обратной задачи терагерцовой импульсной спектроскопии, связанной с изучением оптических характеристик биологических объектов при различной геометрии эксперимента. Проведена апробация новых методов на различных объектах, включая здоровые ткани, обыкновенные и диспластические невусы кожи человека *in vivo*. В третьей главе разработан метод сверхразрешающей терагерцовой микроскопии на основе эффекта твердотельной иммерсии. Этот метод адаптирован для визуализации тканей за счет оригинальной составной конструкции иммерсионной оптики. Он обеспечивает разрешение до $0,15\lambda$, где λ – длина волны излучения в свободном пространстве. Проведена его апробация на объектах различной природы, выявившая оптическую неоднородность ряда тканей в масштабе терагерцовой длины волны. В четвертой главе разработан метод решения обратной задачи сверхразрешающей терагерцовой микроскопии – оценки локальных оптических характеристик гетерогенных сред по наблюдаемым изображениям, а также проведена его апробация. В пятой главе методы терагерцовой спектроскопии и микроскопии применены для исследования свежееисеченных интактных тканей, доброкачественных и злокачественных глиом головного мозга человека и крыс *ex vivo*. В заключении приведены основные результаты диссертации, в полной мере отражающие объем проделанных теоретических исследований, вычислительных и натурных экспериментов. Обсуждаются перспективы дальнейшего развития тематики.

Для диссертации характерна высокая научная новизна. Новизной обладают разработанные методы терагерцовой спектроскопии и микроскопии, а также полученных с их помощью результаты исследования эффектов взаимодействия терагерцового излучения с тканями. Практическая значимость диссертации обусловлена наглядной демонстрацией возможности применения методов терагерцовой оптики в диагностике социально значимых заболеваний, новообразований кожи и головного мозга. В пользу

высокой научной новизны и практической значимости свидетельствует хорошее опубликование результатов диссертации в ведущих рецензируемых научных журналах Q1-Q2, а также высокая цитируемость работ соискателя по тематике диссертации.

Диссертация «Импульсная спектроскопия и микроскопия биологических тканей в терагерцовом диапазоне» является законченным научно-исследовательским трудом, соответствующий всем требованиям к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. Ее автор – Зайцев Кирилл Игоревич – заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.6. Оптика.

Вакс Владимир Лейбович,

кандидат физико-математических наук,

заведующий Отделом терагерцовой спектроскопии

Института физики микроструктур РАН – филиала

Федерального государственного бюджетного научного учреждения

«Федеральный исследовательский центр

Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова–Грехова

Российской академии наук»

(ИФМ РАН),

ул. Академическая, д. 7, д. Афонино, Нижегородская обл., Кстовский район, 603087, РФ,

Телефон: +7(951)908 89 41,

E-mail: vax@ipmras.ru.

Даю согласие на обработку моих персональных данных и их включение в материалы диссертационного дела (Приказ Минобрнауки РФ № 662 от 01.07.2015 г.).

Владимир Лейбович Вакс

«15» сентября 2023 г.

Подпись Владимира Лейбовича Вакса заверяю

Ученый секретарь Института физики микроструктур РАН

– филиала Федерального государственного

бюджетного научного учреждения

«Федеральный исследовательский центр

Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова–Грехова

Российской академии наук» (ИФМ РАН),

кандидат физ.-мат. наук



Гапонова Дария Михайловна