

## ОТЗЫВ

научного руководителя на диссертационную работу Лаврухина Дениса Владимировича «Теоретические и экспериментальные исследования процессов генерации и детектирования терагерцового излучения фотопроводящими антеннами: физико-математическая модель и новые подходы к оптимизации», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19. – Лазерная физика.

Диссертация Лаврухина Д.В. посвящена решению важной научно-технической проблемы, связанной с созданием эффективных источников и детекторов терагерцового импульсного излучения (далее – ТГц) на основе полупроводниковых материалов. В работе теоретически предложена и экспериментально верифицирована физико-математическая модель процессов генерации и детектирования импульсного ТГц излучения фотопроводящими антеннами (далее – ФПА), возбуждаемыми ультракороткими лазерными импульсами. В диссертации получен ряд важных и новых результатов. В частности, впервые разработана новая комплексная физико-математическая модель, позволяющая рассмотреть процессы генерации и детектирования импульсного ТГц излучения с учетом частотной зависимости импеданса ФПА, параметров лазерного излучения, а также подвижности и времени жизни носителей заряда в фотопроводнике. В работе выявлен и явно учтен факт влияния соотношения импеданса ФПА-источника и сопротивления фотопроводника на регистрируемую форму ТГц спектра, предложен и экспериментально апробирован удобный и относительно простой подход для управления формой ТГц спектра на стадии проектирования топологии антенны.

В диссертационной работе предложен подход, позволяющий комплексно оценить влияние таких факторов, как длина зазора между электродами, размер фокального пятна лазерного излучения и транспортные характеристики фотопроводника, на мощность шума ФПА-детектора. Впервые изготовлены образцы ФПА-детекторов на основе упруго-напряженных многопериодных сверхрешеточных гетероструктур InGaAs/InAlAs на подложках GaAs, для которых проведено экспериментальное исследование зависимостей спектральной плотности мощности генерации ТГц излучения, и соотношения сигнал/шум от мощности зондирующего лазерного излучения. В целом, содержание диссертационной работы позволяет судить о большом объеме теоретических, технологических и экспериментальных исследований, которые проведены на высоком научно-техническом и инженерном уровне.

Полученные в работе фундаментальные результаты обладают как научной, так и практической значимостью. Результаты диссертационного исследования могут быть использованы при создании новых образцов ФПА с улучшенными характеристиками, а также образцов перспективных компактных лабораторных систем спектроскопии и визуализации в ТГц диапазоне частот на их основе.

За время выполнения работы Лаврухиным Д.В. освоены методы физико-математического моделирования мощностных, спектральных и шумовых характеристик ФПА, проектирования и изготовления образцов ФПА, экспериментальные методы ТГц импульсной спектроскопии во временной области. Диссертант активно участвовал в сборке и настройке лабораторного стенда ТГц импульсного спектрометра и разработке для него программного обеспечения.

Лаврухин Д.В. показал себя самостоятельным исследователем, способным к обучению и решению поставленных задач, в том числе при проведении сложных экспериментальных исследований, интерпретации и описания полученных результатов. За время выполнения диссертационной работы им был проанализирован большой объем отечественной и зарубежной литературы. В целом, в ходе работы Лаврухин Д.В. проявил себя как целеустремленный, ответственный и грамотный исследователь. В период выполнения диссертационной работы, Лаврухин Д.В. принимал непосредственное участие в выполнении НИР по государственному заданию ИСВЧПЭ РАН, проект «Поисковые исследования по созданию полупроводниковых источников на основе эффективных зонных дизайнов гетероструктур для систем спектроскопии, визуализации и связи в терагерцовом диапазоне частот (FNSR-2021-0002)» (сроки выполнения: 2019–2022 гг.; руководитель – Д.С. Пономарев), и гранта РФФИ 18-79-10195 «Терагерцовые фотопроводящие антенны на основе новых физических принципов для создания систем диагностики злокачественных новообразований: технология изготовления, теоретические и экспериментальные исследования» (сроки выполнения: 2018–2021, продление 2021–2023; руководитель – Д.С. Пономарев; организация для финансирования проекта: ИОФ РАН, отдел субмиллиметровой спектроскопии).

За время диссертационной работы Лаврухиным Д.В. в соавторстве опубликовано более 40 работ в периодических рецензируемых изданиях, входящих в перечень ВАК РФ, большинство из которых индексируются в первом/втором квартилях согласно базам данных Web of Science и Scopus; из них 10 работ и 2 патента на изобретение опубликовано по теме диссертации. Результаты диссертационной работы представлялись на многочисленных всероссийских и международных профильных конференциях, а том числе в качестве приглашенных докладов.

Диссертационная работа Лаврухина Д.В. соответствует специальности 1.3.19. – Лазерная физика и удовлетворяет всем требованиям, предъявляемых к кандидатским диссертационным работам ВАК РФ. Считаю, что Лаврухин Денис Владимирович заслуживает ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19. – Лазерная физика.

**Научный руководитель:**

Заместитель директора ИСВЧПЭ РАН по научной работе, к.ф.-м.н., доцент

 Д.С. Пономарев

Подпись Д.С. Пономарева заверяю:  
Начальник отдела кадров ИСВЧПЭ РАН



 Л.А. Мельничук

08.08.2023