

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Чучупала Сергея Вячеславовича «Поглощение волн терагерцового диапазона в нелинейно-оптических кристаллах ZnGeP_2 », представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 — радиофизика.

Диссертационная работа Чучупала С.В. посвящена исследованию механизмов, ответственных за поглощение терагерцового (ТГц) излучения в тройных нелинейно-оптических кристаллах ZnGeP_2 . В работе представлены экспериментальные результаты по измерению спектров пропускания и отражения облучённого и необлучённого электронами кристаллов ZnGeP_2 в широких частотном и температурном диапазонах, модельный расчёт и подробный анализ полученных данных. Это позволило сделать однозначный вывод о природе поглощения ТГц-волн в исследуемом материале и о влиянии облучения ZnGeP_2 высокоэнергетическими электронами на поглощение ТГц-излучения.

Исследование механизмов дипольного поглощения электромагнитных волн ТГц-диапазона в монокристалле ZnGeP_2 выполнено методами ТГц- и ИК-спектроскопии в широкой частотно-температурной области путём изучения резонансных и нерезонансных полос, наблюдаемых в спектрах. В работе были получены спектры отражения и пропускания облучённого и необлучённого образцов монокристалла ZnGeP_2 в диапазоне $5 - 5\,000\text{ см}^{-1}$ и температурном интервале $10 - 300\text{ К}$; проведены модельные расчёты диэлектрических параметров монокристалла ZnGeP_2 в соответствии с известными теоретическими концепциями и исследована их температурная эволюция; изучено влияние облучения монокристалла ZnGeP_2 электронами с энергией 4 МэВ и дозой $1,8 \cdot 10^{17}\text{ см}^{-2}$ на коэффициент поглощения и диэлектрическую проницаемость данного материала.

Актуальность диссертационной работы обусловлена дефицитом информации о диэлектрических параметрах монокристалла ZnGeP_2 , определяющих поглощение излучения в ТГц-диапазоне, что существенно затрудняет практическое применение данного материала.

Диссертационная работа представлена на 98 страницах машинописного текста и содержит 39 рисунков и 6 таблиц. Список литературы включает 97 ссылок. Структура рукописи состоит из введения, трёх глав, заключения, содержащего основные результаты и выводы, списка публикаций по теме работы и списка цитируемых источников.

Во введении достаточно подробно излагаются цели и задачи диссертационной работы и обосновывается их актуальность.

В первой главе приведён подробный обзор литературы, содержащий 55 ссылок на первоисточники, посвящённый исследованию механизмов поглощения электромагнитных волн ТГц-диапазона в полупроводниковых кристаллах. Рассмотрена применимость расчётных моделей для определения вкладов резонансных и нерезонансных полос поглощения ТГц-излучения. Показано, что, исходя из поведения вклада мод и их затухания при охлаждении, можно разделить однофононные и разностные двухфононные процессы поглощения.

Вторая глава посвящена методикам эксперимента и первичному анализу экспериментальных данных. С помощью методов ИК-Фурье-спектроскопии и уникальной субмиллиметровой ЛОВ-спектроскопии (ЛОВ — лампа обратной волны) получены широкодиапазонные спектры электродинамических характеристик ZnGeP_2 . Были проанализированы с применением теоретических концепций, приведённых в главе 1, спектры пропускания и отражения облучённого и необлучённого образцов ZnGeP_2 для двух поляризаций. Для обоих образцов было обнаружено, что помимо фононного вклада присутствует дополнительное поглощение ТГц-волн, величина которого зависит от температуры.

В третьей главе рассмотрены результаты дисперсионного анализа экспериментальных данных и их обсуждение. Было изучено влияние проводимости друдевского типа, облучения и двухфононных разностных процессов на поглощение электромагнитных волн ТГц-диапазона.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

Представленная диссертационная работа оформлена в соответствии с требованиями, написана грамотно и ясно, подтверждает высокий уровень квалификации, интерес к актуальным задачам физики и способность получать значимые научные результаты.

Достоверность представленных экспериментальных результатов обеспечивается тем, что в работе использованы известные физические модели и математические методы, геометрические характеристики образца соотносятся с применёнными моделями, результаты воспроизводимы в различных условиях и соответствуют, там где возможно провести сопоставление, литературным данным.

Представленные результаты являются новыми. В работе впервые доказано, что поглощение электромагнитных волн ТГц-диапазона в монокристалле ZnGeP_2 определено однофононными и в значительной степени двухфононными разностными процессами; показано, что статическая проводимость на уровне 10^{-6} – $10^{-8} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ даёт вклад в поглощение ТГц-излучения на 2–4 порядка меньше вкладов однофононных и многофононных процессов; определено, что облучение монокристалла ZnGeP_2 электронами с энергией 4 МэВ и дозой $1,8 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$ приводит к понижению диэлектрической проницаемости на 3%, не меняя при этом величину поглощения ТГц-излучения.

Практическая значимость работы состоит в том, что результаты являются основой для расчёта параметров нелинейно-оптического кристалла ZnGeP_2 , необходимых при создании эффективных источников ТГц-излучения.

При оценке диссертационной работы следует отметить некоторые недостатки как общего так и частного значения. Из недостатков общего плана нужно отметить отсутствие глобального вывода по результатам работы: можно ли что-то сделать для уменьшения потерь в исследованном кристалле, какие характеристики могут быть получены у генераторов терагерцового излучения на основе кристаллов ZnGeP_2 . Из недостатков частного характера можно отметить совсем необязательное наличие англоязычного текста на рисунке 5.

В целом, несмотря на сделанные замечания, диссертация Чучупала С.В. оформлена аккуратно, написана грамотным языком, представляет собой законченное исследование, научная значимость и оригинальность которого не вызывают сомнения. Работа выполнена на высоком профессиональном уровне. Автор демонстрирует высокую квалификацию как на этапе проведения эксперимента, так и на этапах обработки и интерпретации экспериментальных данных и представления полученных результатов. Сделанные в диссертации выводы являются обоснованными и имеют высокую практическую значимость.

Аннотация работы Чучупала С.В. соответствует содержанию и достаточно полно отражает структуру диссертации и даёт возможность судить о том, что диссертация выполнена на высоком научном уровне. Диссертационная работа в целом представляет собой законченный научный труд, основные положения диссертации в достаточной мере нашли отражение в 10 научных работах, в том числе 4 статьях российских и зарубежных журналов из списка ВАК. Работа прошла апробацию на российских и международных конференциях. Таким образом, диссертация соответствует п. 9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней» постановления Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемых к диссертационным работам на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук.

4