

## ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертационной работе  
Сопко Ивана Миклошовича «Акустооптическое взаимодействие  
инфракрасного излучения в металл-диэлектрических структурах»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата  
физико-математических наук по специальности 1.3.4. Радиофизика

Диссертационная работа И.М. Сопко посвящена рассмотрению вопросов повышения эффективности акустооптических устройств для работы в среднем и дальнем инфракрасном диапазоне. Актуальность представленных в работе исследований не вызывает сомнений, поскольку принципы управления свойствами электромагнитных волн среднего и дальнего ИК диапазона развита в настоящее время недостаточно, в отличие от видимого и ближнего инфракрасного диапазонов. Один из важных вопросов, рассмотренных в данном ключе в диссертации И.М. Сопко, состоит в поиске и рассмотрении эффективных акустооптических материалов, перспективных для использования в данных диапазонах и обладающих высоким акустооптическим качеством. Следует отметить, что в диссертационной работе приведены результаты как теоретических, так и экспериментальных исследований, находящихся в хорошем согласии друг с другом.

Диссертация И.М. Сопко состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Объем диссертации составляет 109 страниц, содержит 31 рисунок и 4 таблицы.

Во **введении** кратко рассмотрены актуальность и степень разработанности области акустооптики ИК диапазона, представлены постановка задачи исследования, новизна полученных результатов, их научная и практическая значимость, обоснована их достоверность.

**Первая глава** диссертации является обзором литературы по тематике работы. В ней рассмотрены основные сложности реализации эффективного акустооптического взаимодействия в среднем и дальнем ИК диапазонах. Приведен обзор применений плазмоники для акустооптики, описаны принципы работы соответствующих устройств.

Во **второй главе** проведен анализ свойств поверхностного плазмон-поляритона инфракрасного диапазона. Рассмотрено влияние призмы на возбуждение плазмон-поляритона на поверхности металла и поглощающего полупроводника в геометрии Отто при углах падения, превышающих критический угол полного отражения. Описана модификация свойства поверхностных электромагнитных волн при переходе из видимой в длинноволную часть спектра, продемонстрировано увеличение длины распространения поверхностных плазмонов, пространственная локализация в различных материалах. Приведено рассмотрение роли полностью диэлектриче-

ских многослойных структур для увеличения эффективности возбуждения поверхностных плазмонов.

**В третьей,** наиболее объемной главе диссертации рассмотрена схема акустоплазмонного модулятора ИК излучения. Рассмотрена возможность управления возбуждением волноводной моды в планарной полупроводниковой структуре призмным методом с помощью акустической волны, определены основные свойства поверхностных плазмонов. Предложен механизм модуляции излучения в геометрии Отто призмного метода ввода излучения с помощью акустической волны за счет упрогооптического эффекта и изменения глубины зазора между структурой и призмой, а также волноводных мод в планарной полупроводниковой структуре. Проведен анализ пределов частот работы модулятора, вызванных различными факторами. Особенностью данной главы является экспериментальное подтверждение модуляции ИК излучения (с длиной волны 10.6 мкм) посредством акустоптического взаимодействия структуре германий/воздух/алюминий.

**Четвертая глава** диссертации посвящена рассмотрению эффекта электрострикции в слоистых средах для усиления оптоакустического взаимодействия. Впервые предложены слоистые диэлектрические структуры, в которых эффект электрострикции возникает за счёт резонансного возбуждения волноводных мод в узком (200-400 нм) слое диэлектрика. Высокая локализация энергии электромагнитного поля в структуре позволяет увеличить локальные значения интенсивности более чем на два порядка по сравнению с интенсивностью падающего света, что позволяет на два порядка увеличить амплитуду давления относительно случая взаимодействия однородной среды. Проведено сравнение такого метода преобразования с широко используемым тепловым преобразованием на основе тонкой металлической пленки и показано, что вклад электрострикции существенно слабее, если используется однородная среда.

**В заключении** сформулированы результаты и выводы диссертационной работы.

Представленные в диссертационной работе результаты составили основу 5 статей в рецензируемых научных журналах, удовлетворяющих Положению о присуждении ученых степеней в МГУ имени М.В. Ломоносова (Physics of Wave Phenomena, Applied Optics, Proceedings of SPIE, Physical Review Applied, J. of Physics D: Applied Physics), многократно апробированы на международных конференциях.

Описанные в диссертации научные результаты несомненно обладают **новизной**. Так, впервые рассмотрено усиление акустоптического взаимодействия в дальней и средней инфракрасной области спектра за счет использования многослойных структур для возбуждения эванесцентных волн (плазмон- и фоннопляритонов) в схеме Отто. Впервые выявлены принципиальные особенности поверхностных поляритонов инфракрасного диапазона с точки зрения их использования в устройствах акустооптики, определены их основные параметры

(длина свободного пробега, локализация, частотно-угловые спектры и локализация в различных средах, отношение волновых чисел поверхностного поляритона и свободного излучения).

**Достоверность** представленных в работе результатов подтверждается логичностью и обоснованностью используемых математических выкладок и физических моделей, а также согласованностью результатов расчетов с результатами экспериментов и теоретических расчетами, полученными в работах других авторов.

В то же время, диссертационная работа не свободна от недостатков.

1. Представленный в диссертации обзор литературы представляется недостаточно подробным. Многие эффекты лишь названы, но не описаны. Хотелось бы более развернутой аргументации необходимости разработки акустооптических устройств дальнего ИК диапазона.

2. Изложение результатов исследования недостаточно подробно и последовательно, особенно это относится к Главам 2 и 4. Не всегда понятно, какие структуры и для какого спектрального диапазона анализируются (это относится в т.ч. к подписям к Рис. 5,7,10,12 и др., из которых сложно понять, что представлено на графиках). Можно было бы дополнить как рисунки, так и подписи необходимой информацией, важной для их восприятия. а также уделить необходимое внимание рассмотрению метода, с помощью которого проводилось моделирование.

3. Что является мерой локализации (даже коэффициент локализации) электромагнитного поля, обсуждаемой в главах 2 и 3? Как этот параметр рассчитывался в ходе моделирования?

4. В выводах по второй главе отмечено получение экспериментальных зависимостей угловых спектров коэффициента отражения от структуры призма-воздух-металл от величины зазора между призмой и металлом, однако в тексте работы эти результаты найти не удалось.

5. В Главе 4 использованный теоретический подход и изучаемая слоистая структуры представлены непоследовательно и излишне кратко, не описаны основные анализируемые эффекты (в т.ч. электрострикция). Не обоснована роль симметрии среды в проявлении оптоакустического взаимодействия и выбор материалов слоев рассматриваемой структуры, а также метод оптимизации параметров слоев и угла падения света (в главе рассмотрены 2 структуры с фиксированными параметрами). Некоторые из сделанных в тексте выводов лучше было бы наглядно проиллюстрировать и обосновать, не ограничиваясь кратким упоминанием в тексте (например, на стр. 95 отмечено, что акустический сигнал проникает в подложку арсенида галлия в виде серии затухающих импульсов – данный результат далее в тексте не рассмотрен). Выводы по главе не вполне коррелируют с ее основным текстом.

6. Наконец, в тексте диссертации имеются несогласованности и опечатки.

Указанные замечания не отражаются на общем восприятии диссертации и не снижают общей оценки проделанной работы.

На основании вышеизложенного можно заключить, что результаты, представленные в диссертации, перспективны для развития акустооптических приборов управления излучением среднего и дальнего ИК диапазонов.

Автореферат соответствует тексту диссертационной работы.

Диссертационная работа И.М. Сопко производит положительное впечатление, является самостоятельным законченным исследованием, содержащим новые научные результаты. Автор работы продемонстрировал глубокое понимание изучаемых явлений, знакомство с основными методами и подходами к разработке акустооптических устройств дальнего ИК диапазона. Считаю, что диссертация «Акустооптическое взаимодействие инфракрасного излучения в металл-диэлектрических структурах» соответствует специальности 1.3.4. «Радиофизика» и требованиям «Положения о присуждении учёных степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор — Сопко Иван Миклошович — заслуживает присуждения искомой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. «Радиофизика».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,  
доцент кафедры квантовой электроники физического факультета  
Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

Мурзина Татьяна Владимировна

18.10.2022

119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 2

Телефон: +7 (495) 939-36-69

E-mail: info@physics.msu.rup

Подпись Т.В. Мурзиной заверяю:

Учёный секретарь учёного совета  
физического факультета  
МГУ имени М.В. Ломоносова,  
доктор физико-математических наук, профессор

В.А. Караваев