

ОТЗЫВ

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

Диссертационная работа И.М. Сопко посвящена исследованию оптоэлектронных устройств, принцип функционирования которых основан на изменении свойств системы под воздействием акустической волны, работающих в тепловом и среднем инфракрасном диапазоне.

На сегодняшний день спектральный диапазон оптического излучения, хорошо освоенный акустооптикой (АО) располагается в интервале длин волн от, примерно, 350 нм до 4.5 мкм, что можно объяснить наличием АО материалов, в первую очередь кристалла диоксида теллура, не только прозрачных в этом диапазоне, но и обладающих прекрасными акустооптическими свойствами.

Актуальной является задача создания АО приборов, способных управлять излучением больших длин волн – теплового и среднего ИК диапазона, однако, решение данной проблемы требует преодоления определенных трудностей, в первую очередь связанных с поиском материалов не только прозрачных в этой спектральной области, но и обладающих высоким акустооптическим качеством. Высокое АО качество необходимо вследствие снижения эффективности АО взаимодействия по квадратичному закону с ростом длины волны излучения. В ином случае материал должен быть устойчивым к нагреву, поскольку при малой величине АО качества достижение больших значений эффективности АО дифракции потребует приложения чрезвычайно больших величин мощности ультразвука. Например, некоторые устройства на основе германия требуют приложения до 200 Вт акустической мощности.

Надо отметить, что на сегодняшний момент поиск таких материалов не увенчался успехом. Существующие кристаллы, прозрачные для ИК излучения в области около 10.5 мкм, либо не обладают большой величиной АО качества, либо являются оптически изотропными, либо, как например теллур, для наиболее интересных направлений имеют различные величины оптического поглощения и сложны в обработке.

Поэтому представляется интересным рассмотреть другие варианты управления оптическим излучением, например, как сделано в представленной работе, применение металл-диэлектрических структур с параметрами, управляемыми при помощи возбуждения поверхностных или объемных акустических волн. Подобные системы в современной литературе также называются акустооптическими, хотя, в отличие от классической акустооптики, для их работы не требуется выполнения условия брэгговского синхронизма, достаточно лишь изменения каких-либо параметров за счет акустических деформаций.

Полученные диссертантом результаты не только углубляют понимание особенностей воздействия акустических волн на параметры акустооптического и оптоакустического взаимодействия в ИК диапазоне оптического излучения в многослойных диэлектрических и металл-диэлектрических структурах, но также важны для разработки и совершенствования такого типа оптоэлектронных

устройств. Поэтому актуальность исследований, выполненных И.М. Сопко, и их практическая значимость не вызывают сомнений.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и заключения. Список литературы включает в себя 81 работу. Объем диссертации составляет 109 страниц и включает в себя 31 рисунок и 4 таблицы.

Во **введении** рассматриваются актуальность, её новизна, а также научная и практическая значимость, обозначены цели и задачи проводимого исследования, определяются объект, предмет и методология исследования.

Первая глава диссертации носит целиком обзорный характер. Приведенный обзор разделен на три части. В первой части приведены основные понятия акустооптики. Вторая часть посвящена методам возбуждения и исследованиям поверхностных плазмон-поляритонов на границе раздела металл-диэлектрик. В третьей части приведен обзор использования методов плазмоники в акустооптике.

Во **второй главе** диссертации проведен анализ свойств поверхностных плазмон-поляритонов инфракрасного диапазона. Анализируется влияние призмы при возбуждении поверхностного плазмона в геометрии Отто при угле падения, превышающем критический угол полного отражения в случаях применения металлической подложки и подложки из поглощающего полупроводника. Рассматривается также возможность использования полностью диэлектрических многослойных структур с использованием различных поляризаций падающего излучения.

В **третьей главе** диссертации рассматривается конструкция акустоплазмонного модулятора инфракрасного излучения. Рассмотрена возможность управления возбуждением волноводной моды в планарной полупроводниковой структуре призмным методом с помощью поверхностной акустической волны, распространяющейся по нижней грани призмы и объемной акустической волны распространяющейся от вершины призмы в нижней грани. Показано, что модуляция излучения в геометрии Отто с помощью акустической волны реализуется либо посредством фотоупругого эффекта, либо по причине изменения величины зазора между структурой и призмой. Проведен анализ условий с целью определения условий, при которых главенствующим является один из двух этих механизмов. Изучены структуры на основе полупроводников с отрицательной и положительной диэлектрической проницаемостью. Проведен анализ пределов частот работы модулятора, вызванных различными факторами, определены материалы, наиболее подходящие для изготовления призмы.

В **четвертой главе** диссертации рассматривается вопрос об использовании механизма электрострикции в слоистых средах для усиления оптоакустического взаимодействия. В работе впервые предложены слоистые диэлектрические структуры, в которых эффект электрострикции возникает за счёт возбуждения волноводных мод. Продемонстрирована возможность усиления акустической волны за счет возбуждения волноводных мод, сосредоточенных в узком 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. Показано, что вклад электрострикции существенно слабее, если используется однородная среда.

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

Апробация диссертационной работы проведена посредством публикаций в авторитетных научных журналах и выступления с докладами на международных и всероссийских конференциях. В качестве основных **достоинств работы** можно выделить следующие:

— Подробное рассмотрение применения эванесцентных волн в многослойных диэлектрических структурах и поверхностных плазмон-поляритонов в металл-диэлектрических структурах при наличии акустической волны, изменяющей параметры структуры, как метода управления оптическим излучением в инфракрасной области спектра.

— Сравнительный анализ двух различных механизмов модуляции, возникающих при возбуждении акустической волны в призме в геометрии Отто – изменения показателя преломления материала призмы за счет фотоупругого эффекта и управление эффективностью возбуждения плазмона за счет вариаций величины зазора между призмой и подложкой.

Результаты диссертации обладают **новизной**. Так, впервые рассмотрено использование многослойных структур для возбуждения в геометрии Отто эванесцентных волн с целью реализации акустооптического взаимодействия в среднем ИК диапазоне длин волн оптического излучения. Определены и изучены ключевые особенности поверхностных поляритонов инфракрасного диапазона с точки зрения их использования практических в устройствах: отношение волновых чисел поверхностного поляритона и свободного излучения, длина пробега, величины локализации в различных средах, изучено влияние материала призмы.

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.

При всех достоинствах диссертационной работы необходимо отметить, что она не лишена недостатков.

По Главе 1:

1. Несмотря на то, что тематика диссертационной работы связана с акустооптикой, обзор работ, посвященных изучению АО взаимодействия в среднем и дальнем ИК диапазонах, не является достаточно подробным.

2. Про исследования, проведенные в некоторых из работ, попавших в литературный обзор по поверхностным плазмон-поляритонам и плазмоники, написано очень подробно и в таком ключе, как будто эти работы выполнены самим автором и только в конце данной части текста становится понятно, что это не так. Представляется более правильными сделать менее подробный обзор по большему количеству источников.

3. Достоинства геометрии Кречмана описаны достаточно подробно, в то время как про геометрию Отто не говорится почти ничего, хотя именно она используется в работе.

4. Введение термина акуstofотоника представляется излишним, так как в современной литературе устройства, подобные описанным в диссертационной

работе называют акустооптическими.

По Главе 2:

1. На рис.4. приведены зависимости мнимой и действительной частей величины k_{spp}/k_0 . Не понятно зависимости от чего и что такое k_{spp} и k_0 . В тексте работы есть k_{spp} , а про k_0 вообще ничего не говорится.

2. Автор неоднократно упоминает про наложение мод резонатора Фабри-Перо и поляритона, но не дает объяснения, является ли это положительным моментом или нет.

3. При исследовании многослойных диэлектрических структур изучена система призма-воздух-Ge-CdTe-подложка с определенными параметрами, но из текста не понятно, почему выбрана именно такая структура и именно с такими параметрами.

По Главе 3:

1. В теоретической части работы обосновано и рассмотрено использование арсенида галлия, как материала для изготовления призмы, а эксперимент проводился для призмы из германия. При этом, в теоретической части для германия подробные расчеты не приведены и не сказано какие изменения произойдут при замене арсенида галлия на германий.

2. В теоретической части рассмотрены варианты возбуждения поверхностной акустической волны на нижней грани призмы и объемной волны в призме, распространяющейся от вершины к нижней грани. В эксперименте же акустическая волна не возбуждалась, изменялась только толщина зазора посредством смещения призмы или подложки при помощи пьезотрансляторов. Таким образом приведенный эксперимент можно считать модельным по отношению к теоретическим расчетам.

3. Сравнение экспериментальных и теоретических зависимостей коэффициента отражения для ТЕ и ТМ поляризаций показывает, что период изменения коэффициента отражения от величины зазора полученный в эксперименте, примерно в полтора раза больше, чем в теории. При этом в тексте отсутствуют пояснения на этот счет.

4. Экспериментальные значения глубины модуляции необходимо сравнить с другими способами модуляции, например, с теми, что имеют место в классических АО устройствах.

По работе в целом:

1. В тексте работы и в выводах слабо выделена ее новизна, хотя она, несомненно присутствует.

2. Текст работы содержит большое количество лексических ошибок, что часто затрудняет восприятие материала.

Тем не менее, 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, имеют значимость для развития приборов управления излучением среднего ИК-диапазона.

Автореферат соответствует тексту диссертационной работы.

Общее впечатление о диссертационной работе И.М. Сопко положительное. Автор работы продемонстрировал понимание изучаемых явлений и знание темы исследования. 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,
профессор кафедры физики колебаний физического факультета
Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

Манцевич Сергей Николаевич

«25» октября 2022 г.

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

Телефон: +7 (495) 939-46-97

E-mail: info@physics.msu.ru

Подпись Манцевича С.Н. заверяю:

Учёный секретарь учёного совета

физического факультета

МГУ имени М.В. Ломоносова,

доктор физико-математических наук, профессор

В.А. Карavaев