

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Паулиша Андрея Георгиевича

на тему «Специализированные оптико-электронные систем приема, обработки и отображения информации», представленную на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 05.11.07 – Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы

1. Актуальность избранной темы

Диссертационная работа А. Г. Паулиша «Специализированные оптико-электронные системы приема, обработки и отображения информации» направлена на создание устройств нового типа для регистрации электромагнитного излучения в дальнем оптическом диапазоне ($\lambda \geq 300$ мкм), а также пьезооптических датчиков механических напряжений с высокой чувствительностью и большим динамическим диапазоном. Устройства данного типа применяются для решения научных и технологических задач, а также для решения проблем обеспечения безопасности жизнедеятельности человека, противодействия терроризму. Данные направления являются на сегодня актуальными и входят в «Перечень приоритетных направлений развития науки, технологий и техники Российской Федерации», утвержденному Указом Президента Российской Федерации от 7 июля 2011 г. №899.

В диссертации в конечном счете представлены результаты исследований, направленных на разработку новых специализированных оптико-электронных систем и комплексов приема, обработки и отображения информации, предназначенных для детектирования электромагнитного излучения в широком спектральном диапазоне, и измерения величин механических напряжений конструкций различных классов.

В условиях интенсивного всеобщего технологического развития разработка систем противодействия терроризму с использованием терагерцового излучения, обладающего рядом достоинств, является актуальной задачей. Особенности ТГц-излучения: высокая проникающая способность по сравнению с видимым и ближним ИК-диапазонами и отсутствие ионизирующего воздействия, в отличие от рентгеновских лучей, делает данное излучение перспективным для дистанционного негласного исследования объемных свойств объектов, включая системы безопасности (обнаружение скрытого, замаскированного оружия, взрывчатки и др.). Проблемой регистрации ТГц-излучения остаётся отсутствие матричных детекторов, простых в использовании, обладающих достаточной чувствительностью и быстродействием без глубокого охлаждения и позволяющих регистрировать ТГц-излучение с высоким пространственным разрешением и чувствительностью, в реальном масштабе времени и без

использования систем сканирования. В спектрорадиометрических приложениях, например в квазиоптических спектрометрах, по-прежнему представляют интерес одиночные широкополосные неохлаждаемые детекторы.

Быстрое техническое развитие приводит к усложнению технологического оборудования, систем и механизмов, применяемых в промышленности, на транспорте, в повседневной жизни людей. Это требует развития современных систем измерений и контроля, отвечающих условиям и особенностям промышленной эксплуатации. Измерение механических напряжений является основным методом изучения напряженных состояний в различных конструкциях. Современные и перспективные датчики напряжений должны обладать малым весом, небольшими размерами, малой мощностью, устойчивостью к воздействиям внешней среды и электромагнитной помехозащищенностью, стабильностью параметров при эксплуатации, низкой стоимостью. Датчики на основе пьезооптического эффекта обладают значительно более высокой чувствительностью, чем другие. Высокая чувствительность подобных датчиков позволит открыть новые, ранее недоступные, методы контроля напряженных состояний, что должно снизить риски техногенных катастроф.

Таким образом, избранная диссертантом тема исследований является актуальной.

2. Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Достоверность и обоснованность результатов диссертационной работы обеспечена согласованием результатов, полученных теоретически и с помощью методов численного моделирования, с результатами экспериментов, в том числе при натуральных испытаниях экспериментальных и опытных образцов, выполненных на сертифицированном оборудовании.

Автор диссертации сравнивает свои результаты с литературными данными.

Научные положения, выводы и предложения по использованию результатов работы являются вполне обоснованными.

3. Новизна тематики исследований, полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научная новизна исследований и полученных выводов заключается в том, что впервые:

- реализована методика регистрации ТГц-излучения без использования криогенных систем и систем сканирования с пространственным разрешением,

спектральной и поляризационной чувствительностью на основе ТГц–ИК конвертера;

- разработана методика создания эмиссионного слоя с обратной стороны ТГц-поглотителя, обеспечивающая конверсию энергии ТГц-излучения в энергию теплового излучения эмиссионного слоя, которое может быть зарегистрировано существующими ИК-камерами;
- разработана методика лазерной резки структуры ТГц-ИК-конвертера, позволяющая изготавливать сквозные разрезы, не нарушающие целостность структуры конвертера, и, практически, исключить блюминг, эффект расплывания изображения за счёт латеральной теплопроводности вдоль структуры конвертера;
- экспериментально показано, что пьезоэлектрические плёнки тетрааминодифенила толщиной 1 мкм обладают широким спектральным диапазоном чувствительности от ультрафиолета до миллиметровых длин волн.
- предложено использование крестообразной формы фотоупругого элемента в пьезооптических преобразователях.

Впервые создано семейство оптико-электронных систем нового типа для регистрации ТГц-излучения, механических напряжений, обладающие высокими параметрами и эксплуатационными характеристиками по сравнению с существующими аналогами.

Оригинальность и новизна выполненных исследований и полученных результатов подтверждаются 72 печатными работами по материалам диссертации, в том числе 16 статьями в российских журналах из перечня ВАК и в зарубежных изданиях, индексируемых в SCOPUS и Web-of-Science, а также 19-ю российскими и зарубежными патентами.

Уровень новизны можно оценить, как «результаты являются новыми».

4. Значимость для науки и практики полученных автором результатов

Практическая значимость результатов работы заключается в следующем.

Разработанные детекторы на основе ТГц-ИК-конвертера и высокочувствительной ИК-камеры открывают новые возможности для решения научных задач в области исследования свойств материалов в ТГц-части спектра, а также в прикладных задачах неразрушающего контроля конструкций, строительных материалов, интроскопии в биомедицине, контроле качества продукции в фармацевтической и пищевой промышленности, в создании дистанционных систем контроля скрытых опасных объектов (оружие, взрывчатка, отравляющие вещества). Рабочий спектральный диапазон таких детекторов ограничивается только технологиями изготовления

метапоглозителей, которые на данный момент охватывают интервал длин волн от 1,6 мкм до 10 мм.

Созданные дискретные пирозлектрические детекторы на основе тонких плёнок тетрааминодифенила с широким диапазоном спектральной чувствительности являются полностью отечественной разработкой на отечественной элементной базе и являются достойной альтернативой зарубежных аналогов и не имеют аналогов в России.

Разработанные пьезооптические датчики механических напряжений открывают новые возможности в задачах измерения силовых нагрузок, в частности – дистанционный контроль деформаций, когда датчик размещается на некотором расстоянии от зоны измеряемых деформаций, например, в задачах весового контроля движущихся автомобилей и вагонов, в лифтах, в механизмах, где установка датчика деформаций в измеряемой зоне недопустима.

Разработанный способ контроля параметров движения подъемников с использованием пьезооптического датчика позволяет отслеживать в реальном времени полную динамику процесса (сила трения, рывки, ускорение, вибрации, наступление предаварийных ситуаций), что невозможно сделать с другими имеющимися на сегодняшний день системами. Способ и датчики могут быть применены во всех случаях, когда используются лебедочные механизмы, например, в лифтах в горной промышленности, в эскалаторах, движущихся дорожках, транспортерах, подъемных кранах и т. п.

Диссертация прошла достаточную апробацию на многочисленных российских и международных научных конференциях и выставках.

Внедрение результатов работы

Разработанные образцы пирозлектрических детекторов используются в МГУ им. М.В. Ломоносова, ООО «Специальные технологии», а также в ИЯФ СО РАН.

Разработки пьезооптических преобразователей прошли стадию ОКР по договорам для ООО «Фирма Подий» и налажен выпуск семейства приборов, которые используются в лифтах ОАО «Могилевлифтмаш» и в жилых домах г. Москвы.

Личный вклад автора

Представленные в диссертации результаты получены в составе коллектива исполнителей, о чем свидетельствует состав авторов в публикациях и патентах. Автор диссертации в совместных работах либо непосредственно участвовал в них, либо руководил проводимыми исследованиями. При этом его вклад состоял в обосновании целей, постановке задач, разработке методик и постановке экспериментов, обсуждении результатов и выводов. В тексте диссертации подробно указаны вклады основных соисполнителей.

5. Оценка содержания диссертации, ее завершенность, качество оформления, научная работа соискателя в целом

Диссертация достаточно объёмна: изложена на 450 страницах и состоит из введения, восьми разделов, заключения, списка использованных источников, приложения, содержит множество поясняющих иллюстраций и таблиц с измеренными характеристиками созданных образцов опико-электронных систем и приборов.

Во введении обоснован выбор направлений научных исследований, показана актуальность разработки новых опико-электронных методов и устройств регистрации дальнего ИК-излучения (включая его ТГц-составляющую) с пространственным разрешением, новых конструкций и методов создания пьезооптических преобразователей для высокочувствительных датчиков механических напряжений. Определены цель и задачи исследований.

В первой главе рассмотрены общие вопросы взаимодействия световой волны с веществом и опико-электронные методы измерения некоторых физических величин. Проанализированы способы регистрации изображения ИК- и ТГц-излучения. Описаны современные средства исследования механических напряжений. Отмечены их положительные стороны и недостатки.

Во второй главе представлены устройство и методика изготовления конвертера ТГц-излучения в ИК-излучение для детектирования изображения ТГц- и субТГц-излучения. В данной главе изложена методика создания эмиссионного слоя малой толщины и коэффициентом черноты не хуже 0,9, а также представлены варианты построения ТГц-детекторов на основе различных конструкций ТГц-ИК-конвертера.

В третьей главе приведены результаты численного моделирования теплофизических процессов в структуре ТГц-ИК-конвертера. Проведенное моделирование позволило оценить ряд параметров ТГц-детектора. Получено значение минимальной обнаруживаемой плотности мощности, которое составляет $2,5 \times 10^{-5}$ Вт/см². Эффективность конверсии ТГц-излучения в тепловое излучения в результате расчета оказалась достаточно высокой, вплоть до 80 %.

В четвёртой главе изложен новый метод изготовления сквозных разрезов в структуре ТГц-ИК-конвертера с помощью лазерного излучения для уменьшения эффекта расплывания теплового изображения (блюминга) конвертера и повышения чувствительности ТГц-детектора.

В пятой главе приведено устройство ТГц-детектора на основе ТГц-ИК-конвертера с использованием охлаждаемых матричных фотоприёмных устройств на основе твёрдых растворов кадмий–ртуть–теллур, а также с использованием неохлаждаемых фотоприёмных устройств на основе микроболометрических матричных структур.

В шестой главе приводятся результаты исследований пироэлектрических детекторов на основе слоёв тетрааминодигенила, толщиной 0,6–1,0 мкм.

Измерения показали, что такой датчик обладает спектральным диапазоном чувствительности от 0,4 до 2500 мкм, при этом вольт-ваттная чувствительность превосходит по величине все известные аналоги.

Седьмая глава посвящена разработке и исследованию пьезооптических преобразователей новой конструкции для высокочувствительных датчиков деформации. Проведен детальный анализ датчиков деформаций на различных физических принципах. Показано, что пьезооптические датчики имеют чувствительность выше, чем датчики других типов. На основе предложенных технических решений создано и выпускается семейство промышленных датчиков деформации.

В восьмой главе приводятся результаты испытаний на сертифицированном оборудовании и анализируются перспективы практических применений разработанных специализированных оптико-электронных устройств регистрации электромагнитного излучения с длиной волн $\lambda \geq 300$ мкм, а также пьезооптических датчиков деформации.

В заключении приведены основные выводы и результаты работы.

В Приложении приводятся протоколы испытаний созданных образцов оптико-электронных измерительных устройств, акты практического использования полученных автором диссертации научных результатов, полученные патенты.

Диссертационная работа Паулиша Андрея Георгиевича «Специализированные оптико-электронные системы приема, обработки и отображения информации» написана на актуальную тему, является самостоятельной законченной научно-квалификационной работой, содержащей решения существенных научно-технических задач народнохозяйственного и оборонного назначения. Диссертация написана хорошим доходчивым языком. Литературный обзор и список цитируемой литературы является вполне достаточным. Автореферат соответствует тексту диссертации и отражает её основное содержание. Основные результаты опубликованы и доложены на конференциях различного уровня.

Следует отметить нацеленность автора на доведение результатов научных исследований до создания макетных, экспериментальных и опытных образцов, определения их характеристик, проведения натурных испытаний и формирование предложений по их практическому использованию.

К замечаниям по диссертационной работе можно отнести следующие.

1. Диссертация состоит из 2-х частей, касающихся создания ТГц-детекторов и пьезооптических датчиков, которые не являются однородными объектами исследований и не предполагают общий характер их рассмотрения. Также следует отметить различный уровень разработки и внедрения детекторов на основе ТГц – ИК конверторов и пьезоэлектрических датчиков, а также пьезооптических преобразователей.

2. Не рассмотрены конструкции и не проанализированы характеристики неохлаждаемого варианта ТГц-детектора на основе легированных полупроводниковых соединений $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$, которые могут быть использованы для реализации заявленных в диссертации целей.
3. Не проведено прямого экспериментального подтверждения расчетных значений коэффициента преобразования ТГц-излучения в ИК-излучение, что необходимо для описания предлагаемого типа детектора.
4. Некоторые утверждения автора по поводу недостатков охлаждаемых ТГц-детекторов довольно спорны, т.к. многое определяется задачами по их применению.
5. Некоторые термины и определения в тексте диссертации, например «поляризационное разрешение», не являются общепринятыми и нормативно закреплёнными, поэтому требуется более подробное описание терминов, либо применять общеизвестные термины. Автор использует термин NEP в единицах измерения Вт, Вт/Гц^{1/2} и Вт/см².
6. В список цитируемой литературы можно было добавить ряд последних обзоров и монографий, касающихся темы диссертации, например, глава по ТГц-приемникам в монографии А. Рогальского «ИК и ТГц детекторы», 2019.
7. В тексте не указано, сколько же было изготовлено образцов каждого типа оптико-электронных устройств, в чём их отличия.
8. В тексте встречаются немногочисленные стилистические ошибки, несогласованность окончаний, которые, скорее всего, являются результатом многочисленных редакций текста и носят чисто технический характер, не влияющий на смысл изложения.

Отмеченные в отзыве замечания носят уточняющий, рекомендательный характер и не снижают общего высокого уровня и ценности выполненной работы.

6. Заключение о соответствии диссертации паспорту специальности

Диссертация соответствует паспорту научной специальности 05.11.07 – Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы, а именно ее формуле «... специальность в области науки и техники, занимающаяся использованием оптического диапазона электромагнитных волн для создания исследовательских, измерительных, ... и технологических приборов, систем ..., а также разработкой способов применения таких приборов, систем Значение решения научных и технических проблем в данной области состоит в создании новых методов и аппаратуры для физических исследований с использованием оптического излучения, высокоточных измерений, ... и решения других задач народнохозяйственного и оборонного назначения, требующих использования оптической и оптико-электронной техники» и областям исследований, обозначенных в пунктах за номерами 1 и 2.

7. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней

Таким образом, диссертационная работа Паулиша Андрея Георгиевича «Специализированные оптико-электронные системы приема, обработки и отображения информации», представленная на соискание ученой степени доктора технических наук, является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены научно-обоснованные технические, экономические, технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны, что соответствует требованиям пп. 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней», утверждённом Постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 05.11.07 – Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы.

Официальный оппонент

Заведующий кафедрой квантовой электроники и фотоники

Национального исследовательского Томского государственного университета,

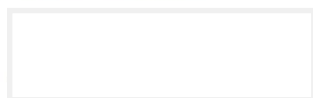
доктор физико-математических наук,

профессор, 01.04.04 – физическая электроника.

634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.

Мобильный телефон +7-913-101-00-77,

E- mail vav43@mail.tsu.ru

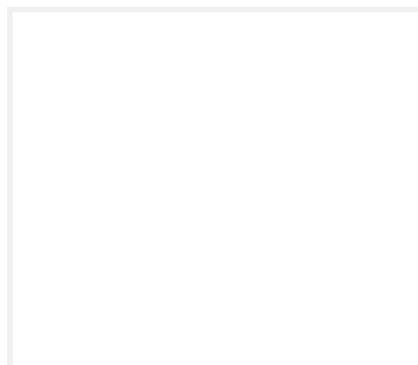


Войцеховский Александр Васильевич

16.11.2020г.

С отзывом ознакомлен Паулиш А.Г. Паулиш /
20.11.2020

Отзыв получен 20.11.2020
А. Степанов М.А.



1 КАТЕГОРИИ
В. АНДРИЕНКО
2020 г.