

«Утверждаю»

Первый проректор ФГБОУ ВО



В.Л. Панков

«15» мая 2018 г.

Отзыв ведущей организации

на диссертационную работу **Та Тху Чанг**

**«ИССЛЕДОВАНИЕ ВКЛАДА ТЕРМОСТИМИЛИРОВАННЫХ
ПОВЕРХНОСТНЫХ ПЛАЗМОН-ПОЛЯРИТОНОВ В
ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ПЛОСКОЙ ГРАНИ
МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ТЕЛА»,**

представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 (Радиофизика) в диссертационный совет Д 212.038.10 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Воронежский государственный университет».

Поверхностные плазмон-поляритоны (ППП) – разновидность поверхностных электромагнитных волн, направляемых границей раздела «металл-диэлектрик», - активно исследуются в последние десятилетия во многих ведущих научных лабораториях России и других технологически развитых стран. Эти исследования сформировали новое направления в физике и оптике поверхности, называемое «плазмоникой». Исследования имеют большие технологические перспективы, связываемые, в частности, с созданием новых поколений оптических сенсоров, инфракрасной спектроскопией тонкослойных объектов, квантовыми компьютерами и фотонными линиями связи.

Недавно было установлено, что ППП могут быть генерированы не только излучением внешнего источника, но и вследствие тепловых флюктуаций плотности электронов проводимости; такие ППП называют термостимулированными (ТППП). По своей природе ТППП (как и ППП) являются неизлучающими волнами; однако, рассеиваясь на неоднородностях и других дефектах поверхности, ТППП могут преобразовываться в объёмное излучение и, таким образом, давать вклад в тепловое излучение металлических объектов. Этот факт необходимо учитывать при пирометрических измерениях, в тепловидении, при расчёте теплового баланса металлических изделий, при конструировании планарных электронных и оптических схем, содержащих металлические структуры (возможно установление паразитной оптической связи между ними вследствие конверсии ТППП, возникающих при прохождении сигналов); с другой стороны, ТППП можно использовать для пассивной спектроскопии проводящей поверхности и контроля её качества, для создания узконаправленных источников ИК излучения, для организации радиационного энергообмена между теплоизолированными металлическими телами.

Конверсия ТППП в объёмное излучение особенно интенсивна на рёбрах плоских граней металлических изделий. Это явление было открыто в России в последнее десятилетие, однако убедительных доказательств плазмонной природы повышенной яркостной температуры рёбер металлических тел в ИК диапазоне до сих пор получено не было. Не был изучен спектр ТППП, генерируемых в данной точке поверхности и поступающих со всех точек грани на её ребро; а также – температурные зависимости этих спектров.

Именно этим проблемам и посвящена диссертация Та Тху Чанг. Структурно диссертация состоит из введения, трёх глав и списка использованной литературы из 64 наименований. Общий объём рукописи составляет 92 страницы машинописного текста. Работа содержит 34 рисунка и 1 таблицу.

Во **Введении** обоснована актуальность темы исследований, сформулированы цели и задачи работы, приводится обзор литературы по теме диссертационной работы, краткое описание её содержания, перечислены положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена описанию природы ТПП, их особенностей, дисперсии и способам генерации. Изложены известные к моменту начала подготовки диссертации сведения о наблюдении возможного вклада ТППП в тепловое излучение металлических тел.

Во **Второй главе** рассмотрены аналитические модели спектров ТППП на «элементарной» площадке и крае линейного образца, их температурные зависимости; на примере алюминиевого образца дана численная оценка вклада ТППП в тепловое излучение его плоской грани и ребра.

Третья глава посвящена экспериментальным исследованиям вклада ТППП в тепловое излучение граней металлических тел. Измерения выполнялись с применением углового и линейного сканирования приёмника излучения за торцом дюралюминиевого образца, снабжённого нагревателем и термопарой. Установленные соискателем факты не только подтверждают плазмонную природу повышенной светимости рёбер металлических тел, но и позволяют утверждать, что это явление не может быть объяснено существованием на поверхности металла радиационных мод Брюстера.

В **Заключении** обоснованно перечислены возможные практические применения результатов выполненных исследований в оптических методах контроля проводящей поверхности и в радиационном энергообмене между металлическими объектами. Особым достоинством применения ТППП в оптической спектрометрии и тепловидении является исключение необходимости использования внешнего источника излучения, что позволяет создавать компактные контрольно-измерительные приборы, функционирующие на принципе зондирования поверхности высокочувствительным полем поверхностных электромагнитных волн.

Отметим **главные достижения** автора: 1) убедительно подтверждена плазмонная природа повышенной излучательной способности рёбер граней металлических тел; 2) показано, что интенсивностью плазмонного приращения к тепловому излучению грани можно управлять как температурой тела, так и размером грани; 3) установлено, что энергия всей совокупности ТППП пропорциональна кубу температуры тела, а спектр ТППП смешён относительно спектра теплового излучения в низкочастотную область; 4) разработана аналитическая модель спектра ТППП, поступающих на ребро грани из других её точек, которая учитывает диэлектрическую проницаемость металла и её зависимость от температуры; 5) измерена диаграмма направленности излучения, порождаемого дифрагирующими на ребре грани ИК ТППП, что позволило автору разработать принципиально новый источник узконаправленного широкополосного ИК излучения.

Достоверность полученных результатов обусловлена использованием автором при разработке аналитических моделей спектра ТППП известной квантово-механической модели генерации ППП оптическими фононами металлического образца с учётом электромагнитных свойств ИК ТППП (поляризации их поля, слабого затухания, близости фазовой и групповой скорости к скорости света в окружающей среде), а также качественной корреляцией результатов выполненных измерений с численным моделированием по разработанным моделям и экспериментальными данными, полученными ранее иными исследователями.

Результаты, полученные в диссертации, могут быть использованы в оптико-механической промышленности при разработке и производстве тепловизоров специального назначения, плазмонных пирометров и источников широкополосного инфракрасного излучения, а также – в исследованиях, выполняемых в Институте общей физике РАН, Институте спектроскопии РАН, Институте ядерной физики СО РАН, в конструкторских бюро оптико-механической и микроэлектронной промышленности и других учреждениях, занимающихся проблемами взаимодействия ИК излучения с металлами.

По рецензируемой диссертации имеются **следующие замечания:**

- 1) несмотря на акцентированное внимание в аналитической части работы к спектральному составу ТППП, при выполнении экспериментов спектральный анализ исходящего от ребра образца теплового излучения не производился, что не позволило автору убедиться в адекватности разработанных аналитических моделей спектра ТППП;
- 2) измерение температурной зависимости интегральной интенсивности теплового излучения, испускаемого ребром образца в направлении близком к плоскости грани, производилось без термостатирования образца, что, вследствие продолжительности скана фотоприёмника, отрицательно сказалось на корректности и точности измерений;
- 3) при измерении диаграммы направленности p -составляющей теплового излучения от ребра образца не была учтена её зависимость от частоты дифрагирующих на нём ТППП, в результате спектральный состав излучения изменился в зависимости от угла наблюдения.

Эти замечания не влияют на общую положительную оценку диссертации. Автореферат правильно и достаточно полно отражает содержание диссертации, даёт чёткое представление о предмете и методах исследования. Основные результаты своевременно опубликованы в ведущих физических журналах и в трудах международных конференций.

Считаем, что диссертация Та Тху Чанг «Исследование вклада термостимулированных поверхностных плазмон-поляритонов в тепловое излучение плоской грани металлического тела» представляет собой выполненное на высоком уровне законченное научное исследование, вносящее существенный вклад в разработку теории ТППП и понимание их роли во взаимодействии электромагнитного излучения с проводящей поверхностью.

Диссертация удовлетворяет всем требованиям ВАК России, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 01.04.03 – радиофизика, а её автор, Та Тху Чанг, заслуживает присуждения ей учёной степени кандидата физико-математических наук по этой специальности.

Отзыв подготовлен доцентом А.А. Сафоновым, заслушан, обсужден и одобрен на заседании кафедры физики Физико-технологического института федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технологический университет» (МИРЭА) 15 мая 2018 года, протокол № 3

Заведующий кафедрой физики МИРЭА,
доктор физико-математических наук,
профессор

Задерновский А.А.

Доцент кафедры физики МИРЭА,
кандидат физико-математических наук

Сафонов А.А.

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технологический университет» (МИРЭА).

Адрес: 119454, ЦФО, г. Москва, Проспект Вернадского, д. 78

Тел.: 8 499 215-65-65; e-mail: rector@mirea.ru; веб сайт: <https://www.mirea.ru/>

