

О Т З Ы В

официального оппонента на диссертационную работу Та Тху Чанг «Исследование вклада термостимулированных 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»

Диссертация Та Тху Чанг посвящена проблеме исследования термостимулированных поверхностных плазмон-поляритонов (ТППП), генерируемых фононами кристаллической решётки проводника, и изучения их вклада в тепловое излучение плоских граней металлических тел. Перед Та Тху Чанг была поставлена задача экспериментального исследования предположения о плазмонной природе повышенной яркостной температуры рёбер граней металлических тел в среднем инфракрасном (ИК) диапазоне. В случае подтверждения этой гипотезы, открывается перспектива создания нового направления пассивных методов контроля проводящей поверхности, поскольку для генерации ТППП нет необходимости в зондирующем излучении внешнего источника, а феноменологические характеристики ТППП определяются исключительно свойствами поверхности, её размерами и температурой.

Актуальность проблемы, рассмотренной в диссертации, не вызывает сомнений, поскольку современные технологии и научные исследования нуждаются во всём более информационно ёмких бесконтактных аналитических методах с малыми энергетическими и временными затратами. Контроль поверхности посредством анализа излучения, порождаемого ТППП, в полной мере отвечает этим требованиям. Кроме того, ТППП играют важную роль в радиационном теплообмене металлических тел и могут быть эффективно использованы в тепловидении, для создания широкополосных источников ИК излучения, контроля качества поверхности металлических изделий и зеркал, их пиromетрии и рефрактометрии.

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации **обоснованы** аналитическими моделями спектров ТППП как на

«элементарной площадке» поверхности металлического тела, так и на ребре его грани, а также - результатами экспериментов по детектированию вклада ТППП в тепловое излучение алюминиевого образца в зависимости от его температуры и размера грани. Упомянутые модели и результаты экспериментов опубликованы в трёх статьях в рецензируемых отечественных и зарубежных журналах, обсуждены в докладах на шести научно-технических международных конференциях; по результатам исследований, выполненных соискателем, получено три патента Российской Федерации на изобретение.

Достоверность полученных результатов основывается на согласованности данных экспериментов и расчётов, выполненных с использованием разработанных диссертантом моделей спектра ТППП, полученных с использованием квантово-механического подхода, в котором вся совокупность ТППП рассматривается как идеальный двумерный “газ”, подчиняющийся статистике Бозе-Эйнштейна, и с учётом электромагнитной природы ТППП, как слабо затухающих неизлучающих поверхностных электромагнитных волн.

Научная новизна и практическая ценность выполненных соискателем исследований и полученных результатов не вызывает сомнений, что подтверждается не только публикациями автора в известных физических журналах и патентами на изобретения, но и обширным перечнем потенциальных применений результатов диссертационной работы, таких как пассивное тепловидение, ИК-спектроскопия металлических тел, пиromетрия и радиационный теплообмен между изолированными проводящими изделиями. В диссертации впервые: 1) разработана модель спектра ТППП, генерируемых на “элементарной” площадке; 2) установлено, что энергия ансамбля ТППП пропорциональна кубу температуры тела; 3) показано, что спектр ТППП подчиняется закону Вина с константой, отличной от классической; 4) разработана модель спектра ТППП, поступающих на край линейного образца; 5) экспериментально подтверждена плазмонная природа приращения интенсивности теплового излучения от ребра грани металлического образца.

Диссертация состоит из введения, трёх глав, списков использованной литературы и публикаций соискателя по теме диссертации. Во введении раскрываются цели и задачи работы, ее актуальность, степень разработанности проблемы, описываются основные результаты, полученные в диссертации.

Первая глава - обзорная; в ней приведены используемая в диссертации терминология, описана природа поверхностных плазмон-поляритонов (ППП), способов их генерации и детектирования. Получены дисперсионные уравнения ППП на границе раздела «металл-окружающая среда» и при наличии на поверхности тонкого слоя диэлектрика. Особое внимание уделено явлению генерации ТППП оптическими фононами проводящего тела и публикациям иных авторов о возможном вкладе ТППП и мод Брюстера в тепловое излучение металлических тел.

Во второй главе разработаны аналитические модели спектров ТППП на «элементарной» площадке, на крае линейного образца и в произвольной точке ребра плоской грани. При этом, ТППП правомерно рассматриваются как идеальный двумерный «газ», подчиняющийся статистике Бозе-Эйнштейна, поскольку они порождаются относящимися к классу бозонов фононами, к которым применима эта статистика. В то же время, при выводе моделей учтён и электромагнитный аспект ТППП: неизлучающий характер их поля, малое затухание на ИК частотах, небольшое отличие фазовой скорости от скорости света в окружающей среде, когерентность их гармонических составляющих в пределах «элементарной» площадки поверхности металла. Исследована температурная зависимость спектра ТППП, учитываемая зависимостью столкновительной частоты электронов проводимости от температуры. Выполнено всестороннее численное моделирование спектра ТППП.

В третьей главе описаны эксперименты по измерению теплового излучения, испускаемого полированной гранью и ребром алюминиевого образца в зависимости от угла наблюдения, протяжённости грани и её температуры. Приведена схема экспериментальной установки и характеристики использованной в измерениях аппаратуры. Результаты измерений позволяют обосно-

ванно утверждать, что ТППП дают значительный вклад (до 30%) в тепловое излучение металлических тел, особенно – в излучение, испускаемое с рёбер плоских граней таких тел. Назван ряд возможных практических применений ИК излучения ТППП в радиационных методах контроля, обнаружения и диагностики металлических изделий.

Основным достоинством диссертации является гармоничное сочетание теоретических разработок в области спектрального состава ТППП и его зависимости от протяжённости грани металлического тела и температуры с результатами выполненных экспериментов. В основном, материал, изложенный в диссертации, носит достаточно завершённый характер.

Замечания по содержанию диссертации. В первой главе большое внимание уделено описанию распространения ППП в структуре, содержащей слой диэлектрика на металле; однако этот материал практически не использован в последующих главах, хотя на поверхности алюминия в воздухе быстро образуется слой окисла, влияющий, по-видимому, как на характеристики, так и на эффективность генерации ТППП. К недостаткам разработанных моделей спектра ТППП на линейном и полосовом излучателе можно отнести тот факт, что они не учитывают наличие неоднородностей и шероховатости на поверхности образца; поэтому модели не являются исчерпывающими.

Отмеченные недостатки не являются принципиальными и не влияют на общую высокую оценку диссертации. Автором выполнена большая работа по разработке теории ТППП, основные результаты которой прошли апробацию на всероссийских и международных конференциях и опубликованы в ведущих отечественных и зарубежных журналах. Автoreферат и опубликованные статьи достаточно полно и адекватно отражают содержание диссертации.

Диссертация Та Тху Чанг является научно-квалификационной работой, в которой содержится теоретический анализ спектра термостимулированных поверхностных плазмон-поляритонов (ТППП) и приведены результаты экспериментов, объясняющие причину повышенной излучательной способности

рёбер граней металлических тел дифракцией ТППП, генерируемых фононами на этих гранях.

Рецензируемая диссертационная работа отвечает критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор Та Тху Чанг заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – «Радиофизика».

Официальный оппонент

доктор технических наук, профессор
кафедры радиоэлектронных устройств и систем
ФГБОУ ВО Воронежский государственный
технический университет, профессор

Пастернак Юрий Геннадьевич

«25» мая 2018 г.

Ю.Пастернак

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»
394026, г. Воронеж, Московский проспект, 14
Сайт: <http://cchgeu.ru>
Телефон: +7 (4732) 43-77-29
Электронная почта: pasternakyg@mail.ru

Подпись официального оппонента Пастернака Юрия Геннадьевича заверяю:
первый проректор ФГБОУ ВО ВГТУ

Сафонов С.В.

«25» 05

