

**ОТЗЫВ**  
официального оппонента  
на диссертационную работу Шишкова Глеба Сергеевича  
**«ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ВОЛНЫ В**  
**ТВЕРДОМ ТЕЛЕ»,**  
представленную к защите на соискание учёной степени  
кандидата физико-математических наук по специальности  
**01.04.07 – Физика конденсированного состояния**

Основное содержание диссертационной работы Глеба Сергеевича Шишкова включает в себя исследование условий прохождения температурных волн через конденсированную среду. В диссертационной работе использован подход, основанный на анализе количественных характеристик, описывающих процесс распространения тепла таких как скорость тепловой волны и ее дисперсия. Данный подход дает возможность проводить анализ воздействия оптического и инфракрасного излучения на вещество с возможностью анализа локального по времени нагреву поверхности с дальнейшим распространением температурной волны вглубь материала. Данные исследования становятся особенно актуальными в случае учета поверхностных контактов, поверхностных нарушенных слоев массивного материала и анализа наноматериалов.

Диссертация состоит из введения и трех глав, включает обзор литературы; содержит подробное описание методики исследования и теоретических основ анализа и обработки результатов (глава 1); проведенный автором анализ распространения температурных волн в твердом теле на основе классического подхода Фурье (глава 2); изложение основных экспериментальных результатов исследования и их анализ (глава 3); заключение (выводы) и список цитируемой литературы, включающий 90 наименования. Диссертация изложена на 97 страницах, включает 33 рисунка и 8 таблиц.

Во введении автором обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи работы, описаны научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, выносимые на защиту научные достижения, перечислены объекты и методы исследования, выделен личный вклад автора. Сформулированные цель и задачи работы отвечают критериям новизны, важны для понимания механизмов процесса распространения температурной волны в веществе.

Первая глава содержит литературный обзор со ссылками на литературу вплоть до работ 2018 года. Обзор отражает основные идеи и тенденции, имеющие непосредственное отношение к работе. Особое место в обзоре занимает рассмотрение математических

аспектов решения уравнения теплопроводности Фурье при периодическом изменении температуры поверхности и методики определения тепловых характеристик материалов пироэлектрическим методом, используемые автором в основной части диссертации для анализа и обработки своих результатов.

Основные результаты работы и их обсуждение представлены во второй и третьей главах диссертации.

Вторая глава диссертации Г.С.Шишкова содержит анализ прохождения температурных волн через структуры с различными термодинамическими характеристиками. Проведен сравнительный анализ распространения температурных волн в твердом теле при различных способах модуляции теплового потока – синусоидальной и прямоугольной (в форме меандра). Для дальнейших исследований была выбрана прямоугольная модуляция теплового потока. Результаты компьютерного моделирования подтверждают данные проведенных автором диссертации экспериментов. Основным итогом второй главы следует считать подтверждение того факта, что при динамическом режиме прохождения температурной волны через вещество характер температурного поля в образце определяется, в первую очередь, частотой модуляции теплового потока.

Для проверки ряда особенностей в распределении температурных полей, выявленных на основе компьютерного моделирования, Г.С. Шишковым были поставлены специальные эксперименты, которым посвящена третья глава диссертации.

Для экспериментального изучения зависимости коэффициентов температуропроводности и теплопроводности материалов от режима нагрева поверхности – динамический или статический, автором были выбраны сплавы меди и стали для которых в литературе имеются значения тепловых характеристик, измеренных в статическом режиме. Действительно, оказалось, что существует различие в величине коэффициента температуропроводности стали и меди от характера прохождения тепла через образец – динамический (нагрев поверхности модулированным тепловым потоком) и статический (при распространении в веществе одиночного теплового фронта) режимы.

Автором была разработана методика и поставлены два независимых по физической природе эксперимента, результаты которых согласуются с выводами моделирования. Стоит отметить, что в диссертации экспериментальные результаты сочетаются с результатами моделирования. Кроме этого в третьей главе представлены результаты решения задачи прохождения температурной волны через систему трех слоев:

несегнетоэлектрический материал – сегнетоэлектрик – металл, актуальной при исследовании материалов с малым значением коэффициента теплопроводности ( $< 1$  Вт/м·К). Апробация проведена на кристаллах парателлурида, получено согласие с литературными данными. В этой же главе представлены результаты по исследованию тепловых характеристик графита, позволившие подтвердить существующую в литературе информацию о взаимодействии температурной волны, проходящей через материал с колебаниями кристаллической решетки (фононами).

Качественно интересным результатом в этой главе следует признать обнаруженное Г.С. Шишковым влияние магнитного упорядочения (т.е. предварительной намагниченности) на характер распространения температурной волны в керамике феррита бария, проявляющееся в том, что такие тепловые характеристики, как теплопроводность и температуропроводность зависят от направления распространения теплового потока в образце.

К замечаниям по работе следует отнести

1. Некоторая небрежность в использовании записях математических формул в литературном обзоре (формула 1.5, например, а также 1.8 и 1.9).
2. Часть экспериментальных данных и возникающих при их анализе результатов носит несколько незаконченный характер. Поставлено проблем больше, чем объяснено, что, по моему мнению, требует дополнительных исследований. Хотя они и будут выходить за рамки кандидатской диссертации.

Отмечу, что указанные замечания не снижают положительную оценку диссертации.

Таким образом представленная диссертационная работа является завершённой научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задач, имеющих важное значение для физики конденсированного состояния. В работе получены новые в научном и прикладном отношении результаты, по которым сделаны вполне обоснованные выводы.

Основные результаты работы опубликованы в 4 статьях, в том числе в 3-х статьях в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК. Имеется 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ. Результаты работы доложены на 3 всероссийских и международных научных конференциях.

Автореферат и публикации достаточно полно отражают содержание диссертации, которая по объему решенных задач, актуальности, достоверности, научной новизне и практической значимости отвечает критериям «Положения о присуждении ученых степеней» (п.9 – п.14) утвержденного постановлением Российской Федерации № 842 от 24.09. 2013г., соответствует паспорту специальности научных работников «Физика конденсированного состояния», а ее автор, Шишков Глеб Сергеевич, заслуживает присуждения искомой учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент  
Главный научный сотрудник,  
начальник отдела Научно-технического обеспечения  
Федерального государственного бюджетного  
учреждения науки «Институт нанотехнологий  
микроэлектроники РАН»  
д.ф.-м.н., профессор, профессор РАН

+ В.Б.Яковлев/

Адрес: г. Москва, Ленинский проспект, д.32а,  
ФГБУН «Институт нанотехнологий  
микроэлектроники РАН»

e-mail: [yakvb@mail.ru](mailto:yakvb@mail.ru)  
телефон: +7 916 1288169

Подпись В.Б. Яковлева заверяю

Заместитель директора ИНМЭ РАН по научно работе

А.А.Павлов