

ОТЗЫВ

официального оппонента

Волкова Николая Борисовича на диссертацию Котова Артёма Николаевича «Методы и средства исследования тепловой релаксации конденсированных сред при локальном импульсном воздействии с микросекундным разрешением», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.2. Приборы и методы экспериментальной физики

Актуальность работы. Тема диссертационной работы Котова А.Н. представляет собой экспериментально-методическое исследование, направленное на совершенствование и разработку «средств физического эксперимента для исследования импульсных тепловых процессов в малоразмерных образцах на микро- и субмикросекундных интервалах времени по принципу накачка-зондирование». Её актуальность, несомненно, актуальна и связана, прежде всего, с возрастающими практическими потребностями в разработке новых экспериментальных методов и приборов для исследования теплофизических свойств вещества в различных фазовых состояниях и экстремальных условиях.

Выше сказанное позволяет сделать также вывод о полном соответствии темы диссертации Котова А.Н. паспорту специальности 1.3.2 – Приборы и методы экспериментальной физики в области физико-математических наук.

Содержание работы. Диссертация Котова А.Н., объемом 133 страниц текста, состоит из введения; пяти глав, первая из которых - обзор; заключения; списка, принятых в тексте диссертации сокращений, и библиографического списка из 93 наименований. Ознакомление с диссертацией позволяет утверждать, что сформулированные Котовым А.Н. положения, выносимые на защиту, раскрыты и подробно обоснованы в 2 - 5 главах диссертации. Ниже, по ходу анализа их основного содержания, мы выделяем наиболее значимые, на наш взгляд, результаты диссертанта.

Во введении обоснована *актуальность* темы диссертационной работы; сформулированы *цели и задачи*; показаны *научная новизна, достоверность полученных результатов, их научная и практическая значимость*, а также приведены *научные положения*, выносимые автором на защиту, и информация о *личном вкладе диссертанта и апробации* результатов работы.

Первая глава, объемом 25 с. посвящена достаточно, по моему мнению, подробному обзору развития и анализа экспериментальных методов исследования динамики тепловых процессов по принципу «накачка-зондирование» с временным разрешением в суб- и микросекундном диапазоне времени. В заключении к главе автор формулирует постановку задач диссертационной работы.

Глава 2, объемом 28 с., содержит подробное описание исследований, выполненных автором при разработке экспериментального устройства для управляемого двух импульсного нагрева проволочного зонда по принципу «накачка-зондирование». Достоинством выполненных автором исследований является не только их объём, но и достижение высокой степени точности измерений температуры и их чувствительности к изменениям условий теплообмена. Последнее, а также публикации автора по материалам исследований данной главы, позволяют, по моему мнению, считать *первое положение, выносимое на защиту, полностью обоснованным*.

Глава 3, объемом 18 с., посвящена детальному описанию выполненных автором исследований, направленным на разработку оптоволоконной системы для воздействия на образец лазерным импульсом накачки и измерения интенсивности отраженного зондирующего излучения. Достоинством разработанной оптоволоконной системы является объединение в одном устройстве излучение накачки и зондирования в один волоконный зонд, позволяющего регистрировать возмущения параметров среды после воздействия с временной синхронизацией высокого разрешения.

В **главе 4**, объемом 17 с., разработанная в главе 3 оптоволоконная система использована для проведения исследований активации вскипания и определения скорости переходных процессов на торце световода в перегретой жидкости по принципу «накачка-зондирование». Для этого была модернизирована миниатюрная пузырьковая камера, в капилляр которой было введено три

оптоволоконных зонда. В эксперименте в перегретой жидкости в результате воздействия импульса активации на торце оптоволоконного зонда возникал растущий паровой пузырек. Установлен ярко выраженный пороговый характер лазерной активации вскипания перегретого *n*-пентана в зависимости от мощности излучения, причем это пороговое значение для каждого из световодов различно. При уменьшении мощности активирующего импульса на 2-3 % ниже порогового значения характер вскипания перегретого *n*-пентана становится случайным. Реализован метод доплеровской велосиметрии измерения скорости границы растущего на торце оптоволоконного зонда пузырька в результате лазерной активации. Большой объём полученной автором информации о скорости микропузырьков, растущих на торце оптоволоконного зонда при различных перегревах *n*-пентана, убедительно показывает, что метод доплеровской велосиметрии позволяет исследовать процессы вскипания перегретых жидкостей на начальных стадиях фазового перехода, недоступных для других методов, например, стробоскопической фотографии. Это и публикации автора по данной теме позволяют сделать вывод об обоснованности второго защищаемого положения.

Глава 5, объёмом 17 с., посвящена детальному описанию экспериментальных исследований процессов тепловой релаксации на поверхности металлов и полупроводников с её нагревом расходящимся от оптоволоконного зонда и одновременным измерением отраженного от поверхности излучения. Для выполнения этих исследований создана экспериментальная установка, в которой для объединения нагревающего и зондирующих лучей используется спектральный сумматор-делитель, а для выделения отраженного зондирующего луча – оптоволоконный циркулятор. Достоинством разработанной автором установки является использование интерферометра Фабри-Перо, основной элемент которого – зазор между торцом оптоволоконного зонда и исследуемой поверхностью, для изменения площади пятна нагрева и усиления сигнала термоотражения. В модели гауссова лазерного пучка автором проведено моделирование процесса генерации сигнала термоотражения при импульсном нагреве поверхности. Для проведения исследований полупроводников при азотных и гелиевых температурах автором разработана специализированная измерительная ячейка с откачкой воздуха, герметичным вводом оптоволоконного зонда и электрических линий. В эксперименте измерительная ячейка помещалась в криостат. Полученные автором экспериментальные результаты, их объём и статистическая погрешность, а также – сравнение с результатами моделирования позволяют сделать вывод об обоснованности третьего и четвертого защищаемых автором положений.

В **Заключении** формулируются основные результаты диссертационной работы.

Автореферат включает необходимые сведения о диссертации Котова А.Н. и в полной мере отражает её содержание. Сама диссертационная работа структурирована, содержит требуемые формальные разделы, в достаточной степени иллюстрирована и дает полное представление о проведенных исследованиях и полученных результатах.

Научная новизна диссертации Котова А.Н. заключается в разработке и применении новых методов измерения, экспериментальных устройств и «установок для исследования импульсных тепловых процессов в малоразмерных образцах на микро- и субмикросекундных интервалах времени, позволяющих проводить измерения в ранее недоступных условиях» для короткоживущих неравновесных состояний вещества. В качестве подтверждения последнего следует привести значения скорости движения паровой фазы на границе световод-перегретая жидкость при разных температурах перегрева *n*-пентана на начальной стадии фазового перехода, впервые полученные с помощью метода доплеровской велосиметрии, и информацию о тепловой релаксации при криогенных температурах полупроводников Ge, ZnSe:Ni и InSb, также впервые полученную с помощью установки импульсного лазерного нагрева поверхности твердых образцов.

Теоретическая значимость диссертации Котова А.Н. обусловлена разработанными методами измерения скорости фазовой границы жидкость-пар с использованием принципа лазерной доплеровской велосиметрии при вынужденном вскипании жидкости в широком диапазоне значений перегрева и регистрации тепловой релаксации микрометрического участка поверхности твердого тела

после нагрева его лазерным импульсом. Установлена определяющая роль эффекта термодформации поверхности непрозрачных твердых образцов в формировании ею сигнала термоотражения.

Практическая значимость работы Котова А.Н. обусловлена применимостью разработанных устройств и методов для экспресс-диагностики технологических жидкостей и конструкционных материалов в экстремальных условиях. Так устройства с проволочным нагревателем позволяет регистрировать микроскопические содержания влаги в энергетических маслах на производственных установках, а также контролировать фазовый состав многокомпонентных жидкостей в установках химического синтеза. Метод импульсного лазерного нагрева позволяет измерять температуропроводность приповерхностных слоев и прозрачных твердых тел с локализацией области измерения ~10-100 мкм.

Достоверность полученных результатов хорошо обоснована тщательностью выбора используемых экспериментальных методик, а также расчета погрешностей измерений. Следует, также, отметить, что личный вклад автора диссертации в проделанную работу не вызывает сомнения.

Апробация работы. Основные результаты диссертации докладывались, обсуждались и получили положительную оценку на 13 научных конференциях, среди которых: Российская конференция по теплофизическим свойствам вещества, РКТС-16, 2023; Всероссийская конференция по волоконной оптике, ВКВО-2023, 2023; VIII Российская конференция по теплообмену 2022; Международно-техническая конференция по современным методам и средствам теплофизических исследований, Санкт-Петербург, 2015, 2017, 2019, 2021, 2023.

Публикации. Научные результаты диссертационной работы, опубликованные в 28 статьях, из них 14 в журналах, цитируемых международными базами данных, и 1 патент РФ, полностью отражают её содержание, а также достаточно полно апробированы на международных и российских научных конференциях.

По диссертационной работе Котова А.Н. можно сделать следующие **замечания**:

1. В названии главы 3 (с. 3) в слове «импульсном» буквы «н» не должно быть, т.к. при её наличии фраза в целом не согласуется с грамматикой русского языка.
2. В последней фразе на с. 15 написано: « Авторами [2] реализовано...». Однако у цитированной работы один автор, т.к. это докторская диссертация. Аналогичная ситуация повторяется и со ссылкой (с. 65) на работу [53], являющейся кандидатской диссертацией.
3. В подписи к рис. 1.5 (с. 24) и тексте не объяснено термин «ФС» .
4. На с. 25 в первой фразе после рис. 1.6 пропущена ссылка на работу [35].
5. В описании рис. 1.7 в тексте диссертации отсутствует пояснение основных элементов «установки чистой пузырьковой камеры».
6. Рис. 2.4 в приведенном на с. 45 виде не понятен для читателей диссертации. По моему мнению, его следовало бы повернуть на 90°.

Сделанные замечания, носящие редакционный характер, не снижают общее положительное впечатление о работе Котова А.Н. и не затрагивают содержание научных положений, выносимых на защиту.

Общее заключение. Диссертационная работа Котова А.Н. «Методы и средства исследования тепловой релаксации конденсированных сред при локальном импульсном воздействии с микросекундным разрешением» соответствует паспорту специальности 1.3.2. Приборы и методы экспериментальной физики. Представленный в диссертационной работе объем выполненных автором экспериментально-методических исследований позволяет сделать вывод, что она является завершённой научно-квалификационной работой, в которой решена важная научно-техническая проблема.

Считаю, что диссертационная работа соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, а её автор Котов Артём Николаевич заслуживает присуждения

ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.2. Приборы и методы экспериментальной физики.

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт электрофизики Уральского отделения Российской академии наук (ИЭФ УрО РАН), главный научный сотрудник лаборатории нелинейной динамики Волков Николай Борисович.

Официальный оппонент,
доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник
(01.04.13 – физико-математические науки),
главный научный сотрудник
лаборатории нелинейной динамики ИЭФ УрО РАН
620016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, д. 106
8-(343)-267-86-60, nbv@iep.uran.ru

Н.Б. Волков

Подпись д.ф.-м.н. Н.Б. Волкова заверяю:

Ученый секретарь ИЭФ УрО РАН,
кандидат физико-математических наук
620016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, д. 106
8-(343)- 267-88-18, ss@iep.uran.ru

Е.Е. Кокорина

15 мая 2024 г.