

ЗАКЛЮЧЕНИЯ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
Д 212.173.06 НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от «21» апреля 2016г., протокол №6

О присуждении Митину Константину Александровичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Численное моделирование радиационно-конвективной теплоотдачи от кристаллов в методах выращивания поли- и монокристаллов» по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» принята к защите «21» января 2016 года, протокол №1, диссертационным советом Д 212.173.06 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Минобрнауки РФ, 630073, Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, создан на основании приказа № 105/нк от 11.04.2012г.

Соискатель Митин Константин Александрович 1986 года рождения, в 2009 г. Окончил магистратуру по направлению «Прикладная математика и информатика» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет». В 2012г. окончил обучение в аспирантуре Новосибирского государственного технического университета. Работает ассистентом на кафедре Прикладной математики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет». Диссертация выполнена на кафедре прикладной математики Новосибирского государственного технического университета, Минобрнауки РФ.

Научный руководитель – Бердников Владимир Степанович, доктор физико-математических наук, Новосибирский государственный технический университет, кафедра прикладной математики, профессор.

Официальные оппоненты:

1. Черных Геннадий Георгиевич, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт вычислительных технологий» СО РАН, главный научный сотрудник лаборатории математического моделирования;
2. Зудов Владимир Николаевич, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича» СО РАН, ведущий научный сотрудник лаборатории физики быстропротекающих процессов

дали положительный отзыв на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского» РАН, г. Москва, в своем положительном заключении, подписанном Простомолотовым Анатолием Ивановичем, доктором технических наук, доцентом, ведущим научным сотрудником лаборатории механики прочности и разрушения материалов и конструкций, указала, что диссертация К.А. Митина «...является законченной научно-квалификационной работой. По своей актуальности, научной новизне, объёму выполненных исследований и практической значимости полученных результатов представленная работа соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук, а её автор достоин присуждения искомой степени по специальности: 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»...».

Соискатель имеет 25 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 25, из которых 6 статей в ведущих научных журналах, входящих в перечень,

рекомендованный ВАК РФ; 7 статей в сборниках научных трудов, 12 публикаций в материалах и докладах Международных и Российских конференций.

Наиболее значимые работы:

1. Бердников В.С., Митин К.А. Сопряженный конвективный теплообмен в вертикальном слое жидкости // Журнал "Вестник НГУ: Серия Физика", 2012, т.7, вып.1, с. 70-79.
2. Бердников В.С., Митин К.А., Митина А.В. Сопряженный теплообмен U-образного кремниевого стержня с окружающей средой в режиме термогравитационной конвекции газа // Вестник НГУ. Серия физика. – 2014. – Т. 9, вып. 3. С. 63 - 74.
3. Бердников В.С., Митин К.А., Кислицын С.А. Влияние нестационарной гравитационно-капиллярной конвекции на поля температуры в тонкой стенке // Научный вестник НГТУ. – 2014. – Т. 57, № 4. С. 131 – 146.
4. Бердников В.С., Митин К.А., Митина А.В. Влияние конвективной теплоотдачи на поле температуры в низкотеплопроводной вертикальной стенке // Тепловые процессы в технике – 2015. – Т. 7, № 3. – С. 103-108.
5. Бердников В. С., Митин К. А., Митина А. В. Влияние относительного размера U-образного кремниевого стержня на сопряженный теплообмен в режиме термогравитационной конвекции газа // Вестн. Новосиб. гос. ун-та. Серия: Физика. 2015. Т. 10, вып. 3. С. 76–88.
6. Бердников В.С., Митин К.А. Влияние режимов теплоотдачи на поля температуры и термических напряжений в монокристаллах // Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2016. Т. 80, № 1. С.75-80
7. Бердников В. С., Митин К. А., Митина А. В. Сопряженный теплообмен разогреваемого электрическим током U-образного кремниевого стержня с окружающей средой в режиме термогравитационной конвекции // Труды XII Международной конференции “Актуальные проблемы электронного приборостроения” (АПЭП - 2014). Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет. – 2014. – Т.6. – С. 189-193.

8. Бердников В.С., Митин К.А., Клещенок М.С. Влияние геометрии на поля температуры и термических напряжений в кристаллах кремния в режимах радиационно-конвективной теплоотдачи // Труды XII Международной конференции “Актуальные проблемы электронного приборостроения” (АПЭП - 2014). Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет. – 2014. – Т.6. – С. 194-198.
9. Бердников В.С., Митин К.А., Митина А.В. Влияние конвективной теплоотдачи на поле температуры в низкотеплопроводной вертикальной стенке // Шестая российская национальная конференция по теплообмену (РНКТ-6) 27-31 октября 2014 года, Москва. Секция 2. Свободная конвекция. 07pdf. - 4 стр.
10. Бердников В.С., Митин К.А. Радиационно-конвективная теплоотдача от кристалла низкой теплопроводности в окружающую среду в методе Чохральского // Шестая российская национальная конференция по теплообмену (РНКТ-6) 27-31 октября 2014 года, Москва. Секция 2. Свободная конвекция. 06pdf. – 5 стр.

На диссертацию и автореферат поступили следующие отзывы (все положительные):

1. ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», д.ф.-м.н., заведующий кафедрой теоритической физики Демин В.А., к.ф.-м.н. декан физического факультета Гаврилов К.А.

Замечания. К сожалению, при прочтении автореферата остались без ответа некоторые вопросы. Проводилось ли количественное сравнение разработанного автором комплекса программ с известными пакетами по точности расчета и временным затратам? Из каких соображений ставится условие равенства нулю потенциала на диэлектрической поверхности (стр. 13)? Вроде бы более обоснованным для границ, соприкасающихся с проводящей областью, является равенство нулю нормальной компоненты объемной плотности тока. Очевидно, что все полученные результаты требуют значительных вычислительных ресурсов. Почему не используются

возможности параллельных вычислений. По крайней мере, в автореферате это никак не упоминается.

2. ФГБУН ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», д.т.н., профессор, зав. каф. Общей физики факультета Прикладной математики и механики Цаплин А.И., к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры Общей физики факультета Прикладной математики и механики Перминов А.В.

Замечания. В реферате второй главы диссертации, которая содержит описание математических моделей решаемых задач, нет четкой структуры, позволяющей читателю без труда отделить описание одной математической модели от другой. Диссертация представлена к защите по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», однако в автореферате уделено мало внимания описанию используемых численных методов и созданных на их основе программных комплексов.

3. ФГБУН ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева», д.ф.-м.н., профессор, заведующей кафедрой Высшей математики Игнатъев В.Н., к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры Высшей математики Анисимова И.В.

Замечания. К недостатку можно отнести очень длинное название диссертационной работы.

4. ФГБУН «Институт геохимии им. А.П. Виноградова» СО РАН, д.ф.-м.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ, заместитель директора по научной работе Непомнящих А.И., к.ф.-м.н., научный сотрудник Пресняков Р.В.

Замечания. В названии работы вместо «...в методах...» напрашивается «...в процессах...». В численную модель заложены размерные коэффициенты кинематической и динамической вязкости, теплопроводности и температуропроводности. Однако при этом используется безразмерная система координат расчетной области для всех случаев: вертикального слоя

жидкости и монокристалла в процессе Чохральского и U-образного поликристаллического стержня в Сименс-процессе (по крайней мере, по тексту физические размеры расчетной области понять затруднительно). На расчетной области с монокристаллом (метод Чохральского), видно, что диаметр охлаждаемого верхнего штока всего в 2 раза меньше диаметра кристалла. Производители современных установок выращивания отказываются от использования штока. По нескольким причинам вместо него применяется гибкая подвеска (стальной трос толщиной 2-3 мм). Не понятно, как бы изменилась физическая картина, если охлаждаемый верхний шток с затравкой из расчетной области убрать вообще?

5. ФГБУН «Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе» РАН, д.ф.-м.н. Юферев В.С.

Замечания. Во-первых, неоднократно подчеркивается, что в работе рассматриваются все виды теплообмена, включая радиационно-кондуктивный. В действительности же, судя по автореферату и списку публикаций, этот вид теплообмена в работе не учитывается. Уравнение теплообмена, приведенные в автореферате, не содержат членов, связанных с поглощением и испусканием излучения элементарным объемом среды. Отсутствует уравнение переноса излучения в поглощающей и излучающей среде. Поэтому расчеты для кристаллов с малой теплопроводностью (оксиды) имеют отдаленное отношение к реальности, поскольку в этих кристаллах радиационно-кондуктивный теплообмен зачастую играет решающую роль. Во-вторых, подчеркивание в названии работы радиационно-конвективного характера теплообмена создает более широкое представление о содержании работы, чем это есть на самом деле, поскольку в диссертации рассматривается только частный случай переноса излучения между твердыми границами, а сама жидкость (газ) являются прозрачными для излучения. В результате влияние радиации на конвекцию оказывается только косвенным, через граничные условия.

6. ФГБУН ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», профессор кафедры общей физики Зюзгин А.В.

Замечания. На мой взгляд, задача о вертикальном слое подразумевает исследование встречных потоков жидкости с развитыми в них до состояния взаимодействия возмущениями. Оценки показывают, что для этого относительная высота слоя использованной в модели рабочей жидкости, выраженная в калибрах, должна достигать $\sim 10^3$. Тогда как в данном случае она не превышает 13. При этом можно ожидать, что структура течения будет представлять из себя два развитых, но слабо взаимодействующих между собой пограничных слоя, что и показывают результаты, представленные в главе 4 автореферата.

7. ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», д.ф.-м.н., доцент, профессор кафедры теоритической механики Шеремет М.А.

Замечания. В автореферате не указаны граничные условия для функции тока и завихренности в двухмерном случае, а так же для компонент векторного потенциала и вектора завихренности в трехмерном случае, хотя эти параметры во многом определяют и корректность задачи, и сходимость численного метода. Стоило подробней описать разработанную численную методику, применяемую для реализации сформулированных математических моделей (используемые разностные схемы, порядок точности этих схем, метод аппроксимации на криволинейных границах).

8. ФГБУН «Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова» СО РАН, д.ф.-м.н. Кидяров Б.И.

Замечания. Учитывалась ли прозрачность кристаллов в проведенных расчетах? К каким кристаллам относятся расчеты? В тексте автореферата диссертации и в подписях к его рисункам полностью отсутствуют ссылки на литературу, имея в виду его собственные работы. В список использованных источников диссертации включены только две его работы из основных публикаций, отмеченных в автореферате под №1 и № 4. При этом ссылка

[13] почему то цитируется в обзорной первой главе, но ее нет в подобающем месте 2 или 4-й главы. Ссылка [14] относится только к В.С. Бердникову, а сам диссертант обозначен как “другие“. В автореферате указаны пять глав диссертации, 6 статей автора в ведущих научных журналах, 25 печатных работ, и 171 страница диссертации, а сама диссертация содержит 6 глав, и 168 страниц, включая приложение, не отмеченное в автореферате. Кроме того на 16-й странице диссертации утверждается, что опубликованы 24 печатные работы, 5 статей в ведущих научных журналах, 7 статей в сборниках научных трудов, 12 публикаций в материалах и докладах Международных и Российских конференций. Страницы 21 и 37 диссертации содержат фрагменты взаимных повторов. На страницах 5-6 и 23 автореферата (с.11-12, 154 диссертации) не расшифрована аббревиатура DNS.

9. ФГБОУ ВО «Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет», д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой общей и экспериментальной физики Козлов В.Г.

Замечаний нет.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их широкой известностью в области численного моделирования и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

Д.ф.-м.н., профессор Черных Г.Г., главный научный сотрудник лаборатории математического моделирования Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт вычислительных технологий» СО РАН и д.ф.-м.н. Зудов В.Н. ведущий научный сотрудник лаборатории физики быстропротекающих процессов Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт теоритической и прикладной механики им. С.А. Христиановича» СО РАН являются компетентными в области численного моделирования, имеющими соответствующие публикации в высокорейтинговых научных журналах (см. http://www.nstu.ru/science/dissertation_sov/dissertations/view?id=15421).

Коллектив лаборатории механики прочности и разрушения материалов и конструкций Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского» РАН, г. Москва, так же хорошо известен в научном сообществе своими научными и практическими результатами в области численного моделирования процессов выращивания кристаллов (перечень последних публикаций см. http://www.nstu.ru/files/dissertations/spisok_publicaciiy_veduschaya_146034604728.pdf).

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработано алгоритмическое и программное обеспечение, позволяющее проводить численные исследования в двухмерных и трехмерных областях стационарных и нестационарных конвективных течений, сложного сопряженного теплообмена в кондуктивном, радиационно-кондуктивном, конвективном, радиационно-конвективном режимах;

предложен новый метод аппроксимации вихря скорости на жестких криволинейных границах, основанный на применении согласованных результатов, подходящий для 2D и 3D-моделирования и не налагающий дополнительных ограничений на сетку;

показано, что поля температуры и термических напряжений в кристаллах в методе Чохральского существенно зависят от режимов теплоотдачи с образующих кристалла;

показано что при разогреве электрическим током U-образного кремниевого стержня, помещенного в корпус с изотермическими холодными стенками, поле температуры внутри U-образного тела распределено неравномерно, следствием чего является неравномерное распределение термических напряжений;

воспроизведена наблюдаемая экспериментально в вертикальных слоях жидкости смена режимов течения и структура вторичных вихрей, характерная для начальной стадии ламинарно-турбулентного перехода в свободноконвективном пограничном слое, показано, что внутри твердых стенок конечной теплопроводности формируется нестационарное неоднородное поле температуры, и распределение температуры на рабочих поверхностях стенок становится выражено нелинейным.

Теоритическая значимость исследований обоснована тем, что: применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) проведены численные исследования сопряженного свободноконвективного теплообмена в ограниченном вертикальном слое, свободноконвективной теплоотдачи от разогреваемого электрическим током U-образного тела, различных режимов теплоотдачи от кристалла в верхней части ростового узла в методе Чохральского; показана применимость метода конечных элементов, при использовании подхода с фиктивным временем, к решению задач сопряженного конвективного теплообмена без специального выбора базисных функций либо введения искусственной вязкости.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что: разработанный пакет программ используется в практической деятельности ФГБУН «Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе» СО РАН при проведении исследований в области сопряженного свободноконвективного теплообмена; модули разработанного пакета программ нашли применение в учебном процессе на факультете прикладной математики и информатики ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет».

Полученные в работе численные результаты имеют важное значение для понимания процессов теплоотдачи от кристаллов в технологических системах, подобных методу Чохральского и методу Сименса, представленные результаты позволяют на качественном и количественном уровне увидеть основные тенденции перестройки взаимосвязанных полей температуры в газе и в составном твердом теле «кристалл – затравка – шток» в широком диапазоне характерных перепадов температуры, определить тенденции в изменениях полей температуры, градиентов и термических напряжениях при увеличении длины кристалла.

Оценка достоверности результатов исследования выявила: решены тестовые задачи, проведено сравнение с известными аналитическими решениями и результатами расчетов известными из литературы, результаты, полученные по ламинарно-турбулентному переходу в вертикальном слое жидкости,

сравнивались с экспериментальными данными (полученными в ИТ СО РАН), использованы соответствующие разделы и современные методы численного моделирования;

установлено хорошее совпадение авторских результатов с аналитическими решениями и результатами расчетов известными из литературы, а так же результатами физических экспериментов.

Личный вклад соискателя состоит в разработке и тестировании всех алгоритмов и моделей, предложенных в диссертации; программной реализации, отладке пакета программ и проведения численных исследований теплоотдачи от кристалла в методе Чохральского и численного моделирования начального этапа ламинарно-турбулентного перехода в вертикальном слое; активном участии в анализе и графическом оформлении полученных результатов; в формулировке выводов и заключения по диссертации; в разработке пакета программ для численного моделирования свободноконвективного теплообмена U-образного тела. Анализ полученных результатов и подготовка публикаций осуществлялись совместно с соавторами и научным руководителем. Постановка задачи выполнена совместно с научным руководителем.

На заседании «21» апреля 2016г. диссертационный совет принял решение присудить Митину К.А. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 21 человек, из них 7 докторов наук по специальности 05.13.18, участвовавших в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - 21, против - 0, недействительных бюллетеней - 0.

Председатель

диссертацион



Денисов Владимир Иванович

Ученый секре

диссертацион

Раддеенков Андрей Владимирович