

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО «Карачаево-Черкесский
государственный университет
им. У.Д. Алиева»



к.ф.н, проф.
Пазов С.У.

« 15 » Сентябрь 2019 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Карачаево-Черкесский государственный университет им. У.Д. Алиева»

Диссертация «Контактное плавление и фазообразование макро-, микроразмерных систем медь-алюминий, никель-алюминий, никель-олово» выполнена на кафедре физики ФГБОУ ВО «Карачаево-Черкесский государственный университет им. У.Д. Алиева»

В период подготовки диссертации соискатель Лайпанов Мурат Занарустумович работал старшим преподавателем кафедры физики ФГБОУ ВО «Карачаево-Черкесский государственный университет им. У.Д. Алиева».

В 2001 г. окончил физико-математический факультет Карачаево-Черкесского государственного педагогического университета по специальности «Учитель физики и вычислительной техники». В 2004 г. окончил аспирантуру этого же ВУЗа по специальности «Физика конденсированного состояния».

Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор Созаев Виктор Адыгеевич (ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)»).

На заседании кафедры присутствовали: зав. каф. Урусова Б.И. (д.ф.-м.н., проф.), Лайпанов Х.С. (к.ф.-м.н., доц.), Бостанов Р.А. (к.ф.-м.н., доц.), Батчаев З.Ю. (ст. преп.), Гербеков Х.А. (к.ф.-м.н., доц.), Шунгаров Х.Д. (к.ф.-м.н., доц.), Мамчуев А.М. (к.ф.-м.н., доц.), Лайпанова З.М. (к.ф.-м.н., доц.), Узденова Ф.А. (ст. преп.), Лайпанов У.М. (ст. преп.), Чотчаев А.М. (ст. лаборант), Салпагарова Л. (учебный мастер).

Всего присутствовало 12 человек.

Лайпанов М.З. сделал десятиминутный доклад, в котором изложил результаты диссертационной работы.

Соискателю были заданы следующие вопросы:

1. *Д.ф.-м.н., проф.* Урусова Б.И.: Что такое МФЭП и какова роль данного метода в объяснении механизма контактного плавления?
2. *К.ф.-м.н., доцент* Лайпанов Х.С.: Какова методика получения тонких пленок и какой минимальной толщины пленки вами изучались?

На заданные вопросы соискатель дал обстоятельные и исчерпывающие ответы.

С положительной оценкой работы выступили рецензенты:

Д.ф.-м.н., проф. Урусова Б.И.

Диссертационная работа Лайпанова М.З. представляет собой целенаправленное законченное исследование, выполненное на интересных и сложных объектах, имеющее практическую ценность и содержащее новые результаты, достоверность которых не вызывает сомнений. Автором использован комплекс методов атомно-силовой и растровой микроскопии. Замечания по работе малочисленны. Диссертация может быть представлена к защите на соискание степени кандидата физико-математических наук.

К.ф.-м.н., доцент Лайпанов Х.С.

Работа Лайпанов М.З. многогранна, логична, может быть признана научно-исследовательской. Одно из несомненных достоинств работы – авторские разработки. В целом работа может быть представлена к защите по специальности «Физика конденсированного состояния».

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Личный вклад автора

Диссертация в целом является итогом самостоятельной работы автора. Цель и задачи были поставлены научным руководителем Созаевым В.А. Эксперименты проводились с участием сотрудников лаборатории физики межфазных границ и наноматериалов ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет).

Достоверность результатов работы: результаты диссертации физически обоснованы и согласуются с современными представлениями в области физики контактного плавления.

Применение современных методов анализа поверхности растровой электронной и атомно-силовой микроскопии, рентгенофазового анализа позволяют повысить надежность исследований фазообразования в контактных прослойках по сравнению с ранее известными методами.

Выносимые на защиту положения диссертации опубликованы в рецензируемых журналах, относящихся к списку ВАК, доложены на семинарах, всероссийских и международных конференциях.

Научная новизна полученных автором результатов заключается в:

1. Впервые с использованием растровой электронной микроскопии изучены сколы контактной прослойки, полученной при КП в нестационарно-диффузионном режиме меди с алюминием при температуре 570°C. Обнаружены фрагменты фазы CuAl_2 размером 10-15 мкм и пластинчатые фазы длиной 70-200 мкм и шириной 10 мкм.
2. В нестационарно-диффузионном режиме, в вакууме 10^{-2} Па при температуре 556°C в течении 26 мин осуществлялось КП меди с алюминием (образцы располагались следующим образом: снизу медь, сверху алюминий с заостренным концом). Скорость КП $\langle v_{\text{КП}} \rangle \sim 1.42 \cdot 10^{-8}$ м/с выше, чем у образцов с плоскими торцами, что объясняется более интенсивным взаимодействием в начальный момент времени, когда может проявляться размерный эффект КП.
3. Впервые осуществлено КП меди с алюминием марки АМГ-2, содержащей от 1.8 до 2.8 масс% Mg-(щелочноземельной добавки) и меди с литий содержащим сплавом Al-0.4 атм.% Li. Показано, что добавки щелочных и щелочноземельных элементов повышают скорость КП. На шлифах контактных прослоек наблюдаются эвтектические структуры и интерметаллиды.
4. Показано, что причиной охрупчивания спая меди с алюминием являются интерметаллиды, образовавшиеся на межфазной границе.
5. Впервые получена зависимость средней скорости $\langle v \rangle$ контактного плавления металлов с твердыми растворами от радиуса ячеек Вигнера-Зейтца r_s атомов примеси. Показано, что эта зависимость близка к линейной и по ней можно предсказывать скорости КП в том числе и при КП нанокластеров.
6. Изучена морфология поверхности двухслойной пленки Cu/Al при контактном плавлении, с использованием растровой электронной и атомно-силовой микроскопии. Обнаружены эвтектики и интерметаллиды кубической формы AlCu_4 на поверхности бинарных пленок Cu-Al, которые подтверждаются рентгенофазовым анализом.
7. Изучена морфология поверхности двухслойной пленки Ni/Al обнаружено, что после отжига при 650°C появляются эвтектические структуры.
8. Изучена морфология поверхности пленки олова, напыленной на никелевую фольгу марки НП-2. Обнаружено, что при напылении пленок на подложки НП-2, нагретые до 200°C, на пленках образуются сферические фазы.

Дополнительный отжиг биметаллических композиций Ni/Sn при 200°C в вакууме в течение одного часа приводил к образованию эвтектических фаз Ni_m/Sn_n , что указывает на контактное плавление при диффузионном взаимодействии олова и никеля.

Практическая ценность работы: новые экспериментальные данные о КП меди с алюминием и фазообразовании в контактных прослойках могут быть использованы для развития теории высокотемпературного КП и оптимизации технологии контактно-реактивной пайки меди и алюминия.

Материалы диссертации используются при чтении спецкурса «Фазовые переходы в наноматериалах» для студентов по направлениям 03.02.03 - физика, бакалавр, 03.04.03 - физика, магистр.

Актуальность темы исследования.

Знание закономерностей диффузионного взаимодействия металлов позволяет управлять процессом контактного плавления, что имеет, большое значение, для получения биметаллов и получения новых композиционных материалов методом жидкофазного спекания, а так же для совершенствования технологий металлизации керамик, полупроводников и контактно-реактивной пайки. Хотя и имеется довольно весомый объем исследований по фазовым превращениям меди с разнородными высокотемпературными металлами, приводящим к контактному плавлению, но все же пока недостаточно данных по высокотемпературному контактному плавлению металлов.

На данном этапе развития нанотехнологий открываются возможности получения совершенно новых, высокодисперсных, наноструктурированных и наноконпозиционных припоев, а так же систем металлизации полупроводников и изделий из керамик.

Использование микро- и нанокристаллических порошков тугоплавких металлов и их оксидов в системах металлизации, а так же, для армирования припоев приводит к повышению капиллярных сил, увеличению массопереноса на межфазной границе припой – твердое тело, усилению растворимости и эффектов смачивания.

Всего по теме диссертации М.З. Лайпанов опубликовано 16 печатных работ, из них 7 статей в журналах, входящим в перечень ВАК РФ.

1. Коротков П. К., Лайпанов М.З., Манукянц А. Р., Понежев М. Х., Созаев В. А., Мусуков Р.А. Микроструктура межфазных границ в контакте меди с алюминием // Физика поверхностных явлений, межфазных границ и фазовые переходы, 2013, с. 154-157.
2. Ахкубеков А.А., Елекоева К.М., Коротков П.К., Лайпанов М.З., Созаев В.А. Зависимость скорости контактного плавления металлов с твердыми растворами от радиуса ячейки Вигнера-Зейтца примеси // Материалы

- международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспектива-2013», Нальчик, КБГУ 2013 Т.4, с. 126-129.
3. Korotkov P.K., Manukyants A.R., Sozaev V.A., Ponezhev M.K., Laypanov M.Z. Microstructure of contact layers formed by the contact melting of copper and aluminum. // *Journal of Surface Investigation: X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques*. 2014. Т. 8. № 4. С. 722-725
 4. Коротков П. К., Лайпанов М. З., Манукянц А. Р., Понежев М. Х., Созаев В. А. Микроструктура контактных прослоек, образовавшихся при контактном плавлении меди с алюминием // *Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования*, 2014, № 7, с. 109–112 (из списка ВАК).
 5. Ахкубеков А.А., Коротков П. К., Лайпанов М. З., Манукянц А. Р., Понежев М. Х., Созаев В.А. Структура контактной прослойки в системе медь-алюминий // *Труды 17 международного симпозиума «Порядок, беспорядок и свойства оксидов»*, 5-10 сентября 2014, г. Ростов –на-Дону- п. Южный, с. 376-379.
 6. Ахкубеков А.А., Ахкубекова С.Н., Багов А.М., Зубхаджиев М.-А.В., Коротков П.К., Лайпанов М.З., Понежев М.Х., Созаев В.А. Влияние геометрии образцов на кинетику и структуру контактных прослоек // *Известия РАН. Серия физическая*, 2015, том 79, №11, с. 1548-1552.
 7. Ahkubekov A.A., Korotkov P.K., Laipanov M.Z., Manukyants A.R., Ponezhev M.Kh., Sozaev V.A. Contact melting of copper with aluminium (тезис) // *Abstract of International Conference High Temperature Capillarity HTC-2015*, 2015.p.32.
 8. Ахкубеков А.А., Коротков П.К., Лайпанов М.З., Манукянц А.Р., Понежев М.Х., Созаев В.А. Скорость контактного плавления и фазообразование в системе медь/алюминий амг-2 // *Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов*. 2016. № 8. С. 32-35.
 9. Ахкубеков А.А., Коротков П.К., Лайпанов М.З., Манукянц А.Р., Понежев М.Х., Созаев В.А. Контактное плавление и фазообразование в системе медь/алюминий марки амг-2. // В сборнике: *Физика поверхностных явлений, межфазных границ и фазовые переходы* Труды Международного междисциплинарного симпозиума. 2016. С. 85-88.
 10. Ahkubekov A.A., Korotkov P.K., Laypanov M.Z., Manukyants A.R., Ponegev M.Kh., Sozaev V.A., Khubolov B.M. The phase transformation in process of contact melting in copper-aluminum system // *XV international conference on intergranular and interphase boundaries in materials (iib-2016) book of abstracts*. 2016. с. 137.
 11. Ахкубекова С.Н., Кумыков В.К., Лайпанов М.З., Манукянц А.Р., Созаев В.А., Хуболов Б.М. Диффузионное взаимодействие и фазообразование в

- пленках никель-алюминий // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. 2017. № 9. С. 45-48.
12. Елекоева К.М., Коротков П.К., Лайпанов М.З., Манукянц А.Р., Созаев В.А., Хуболов Б.М. Фазообразование на границе двухслойной пленки медь-алюминий // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. 2017. № 9. С. 182-188.
 13. Кумыков В.К., Лайпанов М.З., Манукянц А.Р., Созаев В.А., Хуболов Б.М. Контактное плавление в системе никель-алюминий // Труды Международного симпозиума «Упорядочение в минералах и сплавах (ОМА-20)», 2017, Вып.20, Т.1. – С.213-216.
 14. Ахкубеков А.А., Далакова Н.В., Лайпанов М.З., Манукянц А.Р., Созаев В.А., Хуболов Б.М. Диффузионное взаимодействие двухслойных пленок медь-алюминий // В трудах Международного симпозиума «Физика поверхностных явлений, межфазных границ и фазовые переходы» (PSP & PT) (Нальчик – Туапсе, 2017.)
 15. Лайпанов М.З., Манукянц А.Р., Созаев В.А., Хуболов Б.М. Диффузионное взаимодействие в системе пленка олова-никель // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. 2018. № 10. С. 427-433.
 16. Далакова Н.В., Кумыков В.К., Лайпанов М.З., Манукянц А.Р., Созаев В.А., Хуболов Б.М. Диффузионное взаимодействие в системы никель-алюминий // В сборнике: Порядок, беспорядок и свойства оксидов Материалы 21-й Международного междисциплинарного симпозиума. 2018. С. 132-135.

Основные научные результаты диссертационной работы опубликованы в рецензируемых научных изданиях.

Результаты работы докладывались на: 15 международном, междисциплинарном симпозиуме «Упорядочение в минералах и сплавах» (ОМА-15)(Лоо, 2012), Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспектива -2013» (Нальчик 2013), 17 международном, междисциплинарном симпозиуме «Порядок, беспорядок и свойства оксидов» (ODPO) (Туапсе, 2014), 16 международном, междисциплинарном симпозиуме «Физика поверхностных явлений, межфазных границ и фазовые переходы» (PSP PT) (Нальчик-Туапсе, 2015), на международной конференции «Высокотемпературная капиллярность» (НТС-2015) (Карлсруэ, Германия, 2015), на международных симпозиумах «Физика поверхностных явлений, межфазных границ и фазовые переходы» (PSP & PT) (Нальчик – Туапсе, 2017), «Упорядочение в минералах и сплавах» (ОМА) (Нальчик – Туапсе, 2017), 21 международном симпозиуме «Порядок,

беспорядок и свойства оксидов» (ОДРО) (г. Москва – г. Ростов-на-Дону – пос. Шепси, 2018).

ПОСТАНОВИЛИ

Диссертация «Контактное плавление и фазообразование макро-, микроразмерных систем медь-алюминий, никель-алюминий, никель-олово» Лайпанова Мурата Занарустумовича **рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния».**

Заключение принято на заседании кафедры физики ФГБОУ ВО «Карачаево-Черкесский государственный университет им. У.Д. Алиева»

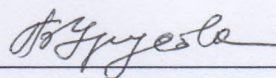
Присутствовало на заседании 12 чел. Результаты голосования: «за» - 12 чел., «против» - нет, «воздержалось» - нет, протокол № 8 от 25 июня 2019 г.

Председатель заседания

зав. кафедрой физики

ФГБОУ ВО «Карачаево-Черкесский государственный университет им. У.Д. Алиева»,

профессор, д.ф.-м.н.



Б.И. Урусова

