

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу  
Хубежова Сослана Арсеновича «Адсорбция и взаимодействие молекул  
кислорода и оксида углерода на поверхности металл-металлооксидных  
систем», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-  
математических наук по специальности 01.04.07 – «Физика  
конденсированного состояния» (физико-математические науки)

**Актуальность темы исследования.** В последнее время изучение свойств, процессов и закономерностей формирования низкоразмерных структур, в особенности металлооксидных систем вызывает все больший интерес у исследователей во всем мире, о чем свидетельствует рост публикационной активности. Такой интерес вызван возможностью получить материалы, обладающие принципиально новыми свойствами, что в свою очередь позволит создать более эффективные элементы микро- и нанoeлектроники, оптические и фотонные преобразователи, устройства хемосенсорики, гетерогенные катализаторы и т.д.

Учитывая повышенный интерес к данным системам и значительное количество исследований в области низкоразмерных структур, вопросы, связанные с морфологией, влиянием электронной конфигурации различных металлов на стехиометрию формируемого оксида, проявление каталитических свойств на межфазных границах металл-оксид, в зависимости от степени покрытия адсорбента, остаются открытыми. Данный факт подтверждает и обуславливает **актуальность** темы представленной Хубежовым С.А. диссертационной работы.

Работа состоит из введения, четырех глав, выводов и списка литературы из 118 наименований. Диссертационная работа изложена на 115 страницах, содержит 50 рисунков и 4 таблицы.

**Целью** представленной диссертационной работы являлось установление закономерностей формирования и свойств систем, образующихся при нанесении наноразмерных кластеров и тонких пленок металлов Ti, Cr, Fe, Ni, Cu на поверхность оксидов магния и алюминия, Au и Ag – на поверхность оксидов титана и молибдена, а также процессов адсорбции и взаимодействия на поверхности формируемых металлооксидных систем молекул кислорода, оксидов углерода (CO, CO<sub>2</sub>) и воды.

Во введении обоснована актуальность темы исследований, сформулированы цели и задачи, методы исследования, приводятся основные положения, выносимые на защиту, научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе приведен литературный обзор, посвященный современному состоянию и проблематике низкоразмерных металлооксидных систем. Автор показал, что в процессе адсорбции на поверхности оксидов адсорбированные атомы, кластеры и пленки металлов зачастую приобретают свойства, кардинально отличающиеся от случая адсорбции металлов на металлических подложках. Ссылаясь на значительное количество авторитетных работ, посвященных процессам формирования, адсорбции/десорбции в металлооксидных и металл-металлических системах первой, второй половины периода периодической системы элементов, а также систем на основе благородных металлов, автор объясняет, что механизм формирования и характер адсорбции приведенных систем зависит от термодинамики процесса, взаимосвязи свободных поверхностных энергий металлов и оксидов, энергии их образования, свойств межфазной границы адсорбат/адсорбент.

Во второй главе приведено описание используемых методов исследования, чувствительных к состоянию поверхности конденсированных сред: рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС), электронная Оже-спектроскопия (ЭОС), инфракрасная Фурье-спектроскопия (ИКС), метод термопрограммируемой реакции (ТПР), метод измерения работы выхода, атомно-силовая микроскопия (АСМ), рентгеноструктурный анализ (РСА). Стоит отметить, что выбранные методы и подходы исследований (*in-situ* и *ex-situ*) для решения поставленных Хубежовым С.А. в работе целей и задач позволяют качественно охарактеризовать, исследуемые системы.

В третьей главе рассмотрены структурные, электронные и адсорбционные свойства сформированных тонких пленок и кластеров металлов на поверхности оксидов титана и молибдена. Полученные результаты, связанные с частичным восстановлением оксидных подложек при адсорбции на них кластеров благородных металлов в системах  $\text{Ag/TiO}_x$  и  $\text{Au/MoO}_x$ , автор объясняет тем, что главную роль в данном случае играет электронная конфигурация металлов адатомов, а именно степень заполненности 3-d орбитали. В работе приводится сравнительное исследование пленок разной толщины, показано, что формируемые пленки

при субмонослойных покрытиях при адсорбции металл/металл и металл/оксид имеют различные свойства, однако при покрытиях пленок, превышающих 1 монослой, их свойства близки к массивным.

Четвертая глава посвящена исследованию процессов адсорбции и взаимодействия молекул CO, CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O на поверхностях металлооксидных систем, а также систем на основе фторида лития, как аналога оксида. В работе показано, что при адсорбции данных молекул на поверхности металлооксидов с последующим воздействием фотонами энергией 6.4 эВ происходит преобразование простых молекул в более сложные. Автор утверждает и показывает, что решающими для данной трансформации молекул являются дефекты и анионные вакансии. Система LiF приведена в качестве примера и подтверждения решающей роли анионных вакансий в гетерогенном катализе, как хорошо известный кристалл с относительно «легко» контролируемым числом анионных вакансий.

**Научная и практическая значимость работы** заключается в полученных автором результатах, имеющих научное и практическое значение, а именно наиболее значимые:

- тонкие пленки оксидов алюминия, титана, молибдена, сформированные на поверхности металлов обладают высокой степенью структурного и стехиометрического совершенства, проявляя электронные и адсорбционные свойства, присущие соответствующим массивным оксидам, начиная с толщины порядка одного нанометра;
- анионные вакансии поверхности – F-центры – являются преимущественными центрами конденсации наноразмерных кластеров металлов и определяют их электронные и адсорбционные свойства, повышающие каталитическую активность соответствующей системы металл/оксид;
- при адсорбции атомов исследованных металлов на поверхности оксидов алюминия, титана, молибдена происходит существенный перенос заряда от атома металла к оксиду;
- реализуемое при этом электронное состояние металла, а также особенности соответствующей границы раздела металл/оксид играют определяющую роль в процессах адсорбции и превращения молекул оксидов углерода и кислорода.

**Рекомендую** использовать полученные результаты и выводы диссертации при разработке элементной базы устройств квантовой, микро- и наноэлектроники, гетерогенных катализаторов, элементов фотовольтаики и хемосенсорики, вместе с тем рекомендую использовать подготовленную автором работу в качестве базы знаний для создания учебных материалов по соответствующим специальным курсам высших учебных заведений.

**Достоверность и обоснованность** полученных результатов определяются применением ряда современных взаимодополняющих методов исследования, воспроизводимостью результатов, а также согласованностью результатов с другими теоретическими и известными экспериментальными данными.

**Научная новизна работы** заключается в том, что впервые с использованием комплекса взаимодополняющих in-situ и ex-situ методов анализа поверхности проведено комплексное исследование металлооксидных систем: механизмов формирования и свойств пленок при адсорбции металлов – Ti, Cr, Fe, Ni, Cu, Ag, Au на межфазных границах; процессов адсорбции/десорбции молекул CO, CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O.

**Работа не лишена некоторых недостатков, в качестве которых следует отметить:**

1. не описана методика по измерению РВЭ Андерсона, которая используются в работе;
2. литература не везде оформлена по ГОСТу;
3. в тексте встречаются стилистические ошибки.

### **Заключение**

Указанные недостатки не являются существенными и не умаляют значимости полученных результатов. Материал диссертации прошел достаточную апробацию, основные результаты, выносимые на защиту, опубликованы в рецензируемых и рекомендуемых ВАК РФ научных журналах и журналах, индексируемых Scopus и Web of Science. Автореферат полностью отражает материал диссертации. По содержанию и практической значимости полученных результатов, их достоверности, диссертационная работа Хубежова Сослана Арсеновича соответствует критериям, установленным в пунктах 9-14 положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденных постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает

присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния».

Отзыв подготовлен к. ф.-м. н., доцентом кафедры физико-математических дисциплин «Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета)» Манукянцем Артуром Рубеновичем.

Официальный оппонент:

Манукянц Артур Рубенович,

к. ф.-м. н., доцент кафедры физико-математических дисциплин «Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета)»,

362021, Россия, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44

Подпись Манукянца А. Р.



16.11.2018 г.

Тел.: 8(962)7452332

E-mail: artmanukyants@mail.ru

присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния».

Отзыв подготовлен к. ф.-м. н., доцентом кафедры физико-математических дисциплин «Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета)» Манукянцем Артуром Рубеновичем.

Официальный оппонент:

Манукянц Артур Рубенович

к.ф.-м. н., доцент кафедры

физико-математических

дисциплин «Северо-Кавказского

горно-металлургического института

(государственного технологического

университета)»,

362021, Россия, РСО-Алания,

г. Владикавказ, ул. Николаева, 44



16.11.2018 г.

Тел.: 8(962)7452332

E-mail:artmanukyants@mail.ru

Подпись Манукянца А. Р. заверяю

Ученый секретарь Ученого совета  
ФГБОУ ВО «СКГМИ (ГТУ)»



Базаева Л.М.