

## ОТЗЫВ

Официального оппонента кандидата физико-математических наук, доцента кафедры теоретической физики факультета физики и информационно-коммуникационных технологий Чеченского государственного университета **Элимханова Джабраила Зайндиевича** на диссертационную работу **Крымшокаловой Джульетты Аbugалиевны** «Электронно-стимулированные процессы на поверхности р-металлов», представленной к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Диссертационная работа Крымшокаловой Д.А. посвящена изучению поверхностных явлений, а именно влиянию внешнего воздействия (в частности электронов) на процессы адсорбции остаточных газов сверхвысоковакуумной камеры, кислорода, а также окисления поверхности Al, In, Sn, Tl, Pb. Известно, что бомбардировка поверхности электронами сопровождается адсорбцией частиц газовой фазы, как в нейтральном, так и в заряженном состоянии. Это явление называют электронно-стимулированной адсорбцией (ЭСА). ЭСА может оказывать большое влияние на характер взаимодействия электронов с поверхностью твердого тела и играет важную роль во многих технологических процессах микро- и нанoeлектроники, таких как науглероживание, физическая и химическая адсорбция, окисление и др. ЭСА также влияет на состояние адсорбированного слоя, что необходимо иметь в виду, когда для анализа поверхности используется зондирование электронами объекта исследования, как это имеет место в широко используемых в настоящее время методах электронной спектроскопии и дифракции медленных и быстрых электронов. В связи с этим, **актуальность темы** рассматриваемой диссертационной работы не вызывает сомнений.

Работа Крымшокаловой Д.А. состоит из введения, четырех глав, заключения и библиографического списка из 113 наименований. Общий объем диссертации – 114 стр.

**Во введении** дается обоснование актуальности темы исследований, формулируется цель и задачи исследований, представлены научная новизна и практическая значимость результатов проведенных исследований,

перечисляются основные положения, выносимые на защиту.

**Первая глава** диссертации посвящена обзору и анализу литературных данных по теме диссертации, в частности электронно-стимулированной адсорбции кислорода на поверхности металлов и полупроводников. Здесь представлены методы анализа, использованные разными исследователями для изучения ЭСА. Рассмотрена общепринятая модель процесса ЭСА, которая предполагает электронное возбуждение, ионизацию или диссоциацию молекулы в газовой фазе вблизи поверхности твердого тела. В заключение соискатель приходит к выводу, что ЭСА на поверхности металлов является мало изученным эффектом.

**Во второй главе** приводится краткая характеристика методов и методик экспериментов. На основании проведенного анализа, автор выбрал для решения своих задач взаимодополняющие методы анализа поверхности, высокочувствительные к рассматриваемым в работе явлениям. В данной главе также представлены технические характеристики используемых экспериментальных установок и методики приготовления образцов для исследований.

**В третьей главе** рассматриваются способы получения атомарно-чистой поверхности изученных металлов, их типичные электронные спектры, а также влияние остаточной вакуумной среды и электронного зонда на поверхностные характеристики Al, In, Tl, Sn, Pb. Перед исследованием ЭСА автором проведена серия экспериментов, после которых были сделаны следующие выводы:

- для устранения миграционных процессов необходимо использовать сканирующую ионную обработку всей поверхности образца;
- при электронных дозах менее  $0.2 \text{ Кл/см}^2$  в диапазоне выбранных энергий зависимость состояния поверхности от электронной экспозиции отсутствует;
- для объектов исследования в вакууме  $1 \cdot 10^{-8} \text{ Па}$  в течении 5 часов

на состояние поверхности не оказывают влияние остаточная газовая среда с включенным электронным потоком и без него.

В четвертой главе изложены результаты исследований электронно-стимулированных процессов адсорбции кислорода на поверхности р-металлов. Показано, что при экспозициях в среде кислорода до 5000 Л на поверхностях Al, In, Tl, Sn, Pb наблюдается только начальная стадия образования оксидного слоя, которая происходит в три этапа - физическая и химическая адсорбция кислорода, за которой следует начальная стадия окисления, завершающаяся формированием промежуточного тонкого слоя. В данной главе так же показано, что при электронной стимуляции с энергиями до 300 эВ значительно возрастает скорость адсорбции кислорода на поверхности Pb, а дальнейшее увеличение энергии стимулирующих электронов приводит к обратному эффекту.

В подтверждение полученных результатов соискатель в полном объеме описывает условия проведения экспериментов и приводит достаточное количество рисунков и таблиц.

Выводы, сделанные автором, представляются вполне обоснованными и отвечают постановке задачи исследования. Полученные автором результаты являются итогом самостоятельной работы или в соавторстве с научным руководителем, представляются оригинальными, новыми и достаточно полно отражены в работе.

В качестве наиболее важных и новых результатов, полученных соискателем можно отметить:

- с использованием электронной оже-спектроскопии (ЭОС) и спектроскопии характеристических потерь энергии электронов (СХПЭЭ) *in situ* исследовалось влияние электронов с разной энергией и плотностью тока на состояние поверхности р-металлов при остаточном давлении  $P=1 \cdot 10^{-6}$  Па, полученном безмасляными насосами;

- исследовано взаимодействие ионов аргона с энергией ниже порога распыления с естественным оксидным слоем на поликристаллическом алюминии;
- изучена кинетика адсорбции кислорода на поверхности Al, In, Tl, Sn, Pb при непрерывном электронном облучении и без него в зависимости от времени выдержки в среде кислорода при давлении кислорода  $1 \cdot 10^{-4}$  Па и комнатной температуре.

Материал диссертации прошел достаточную апробацию – автор докладывал результаты своих исследований на 16-ти российских и международных научных конференциях и симпозиумах. Основные результаты достаточно полно изложены в опубликованных работах соискателя - 27 публикаций, из которых 9 – в журналах, рекомендованных ВАК РФ.

По работе и автореферату **имеются замечания:**

1. В работе практически отсутствует анализ ошибок эксперимента. Какова была погрешность экспериментов?
2. В работе приводится изображение поверхности образца Al по данным СЗМ. Почему для других исследованных образцов не приводятся изображения поверхности?
3. При нагреве образцов часто происходит изменение объема вещества, однако в диссертационной работе это не учитывается.
4. В тексте встречаются слишком громоздкие предложения, которые можно было разбить на более короткие.

В целом, рассматриваемая диссертационная работа Крымшюкаловой Д.А. представляет собой законченную научную работу в области физики конденсированного состояния на актуальную тему. Полученные результаты представляют интерес для специалистов, занимающихся экспериментальными исследованиями поверхностных свойств твердых тел, а также работающих в области микро- и нанoeлектроники.

Автореферат достаточно полно отражает основное содержание представленной работы. По актуальности разрабатываемой темы, объему, содержанию и полученным результатам, их достоверности и практической значимости, диссертационная работа полностью соответствует всем требованиям п.7 Положения о порядке присуждения ученых степеней ВАК Министерства образования и науки РФ, а ее автор Крымшокалова Джульетта Аbugалиевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «физика конденсированного состояния».

К.ф.-м.н., доцент кафедры  
теоретической  
физики факультета физики и  
информационно-коммуникационных  
технологий Чеченского  
государственного университета



Элимханов Д.З.

Подпись Элимханова Д.З. заверяю:

