

О Т З Ы В

официального оппонента на диссертационную работу Крымшокаловой Джульетты Абугалиевны «ЭЛЕКТРОННО-СТИМУЛИРОВАННЫЕ ПРОЦЕССЫ НА ПОВЕРХНОСТИ P-МЕТАЛЛОВ», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния

1. Актуальность

В последнее время значительное внимание уделяется исследованиям в области физики, химии и механики поверхности твердых тел. Трудно найти какой-либо раздел естественных наук, который так или иначе не пересекался бы с поверхностными явлениями. Актуальность таких исследований обусловлена тем, что сведения о строении поверхности и о природе поверхностных явлений необходимы при разработке новых материалов для микро- и нанoeлектроники. В науке о поверхности к числу наиболее существенных процессов относится адсорбция. Поэтому теоретическому и экспериментальному исследованию этого процесса в зависимости от внешних условий посвящены многочисленные работы. Несмотря на имеющиеся успехи в исследованиях адсорбционных процессов на поверхности твердых тел, на сегодняшний день мало изученным эффектом для ряда технологически важных металлов является влияние электронного воздействия на процессы адсорбции.

2. Общая характеристика полученных результатов, степень новизны

Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка. Материал диссертации изложен на 114 страницах машинописного текста, содержит 53 рисунка, 11 таблиц.

Во введении обосновывается актуальность темы исследований, формулируется цель и задачи исследований, перечисляются основные положения, выносимые на защиту, изложены научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

Первая глава содержит обзор литературной информации по диссертационной теме. Рассмотрены исследования электронно-стимулированной адсорбции кислорода на поверхности металлов и полупроводников. Показано, что электронно-стимулированная адсорбция наиболее отчетливо проявляется при низких степенях покрытия, когда частицы газовой фазы адсорбируются или реагируют с атомарно-чистой поверхностью под электронным облучением.

Из анализа литературы соискатель сделал вывод, что, несмотря на значительный прогресс, достигнутый в физике поверхности, многие вопросы, касающиеся влияния внешних воздействий (в том числе электронного и ионного облучения) на процессы адсорбции остаются открытыми.

Во второй главе описаны методы исследования поверхности и экспериментальная техника, на котором проводились эксперименты. Для экспериментов использовались высокочистые поликристаллические металлы: олова - 99.999 ат.%, индия - 99.999 ат.%, таллия - 99,990 ат.%, свинца - 99.990 ат.% и алюминия - 99, 995 ат.%, которые подвергались шлифовке, полировке, последовательной промывке в полярных и не полярных органических растворителях. Детально описываются процедуры приготовления и сохранения в сверхвысоком вакууме атомарно-чистых поверхностей, что является необходимым условием при постановке подобных экспериментов.

Прежде чем приступить к изучению ЭСА диссертант исследовал влияние возможных внешних воздействий на исследуемые поверхности в сверхвысоком вакууме (глава 3). Автор оценил влияние остаточной газовой среды и дозы электронного облучения на состояние поверхности исследуемых металлов. Было также установлено, что со временем выдержки образца в сверхвысоком вакууме после получения атомарно-чистой поверхности концентрация кислорода на поверхности возрастает. Основным источником в этом случае, как обоснованно считает автор, был кислород с неочищенных участков поверхности образца. Для исключения миграционных

процессов в зону анализа, автор предложил использовать сканирующую ионную обработку всей поверхности образца.

Интересный, по мнению оппонента, результат был получен в процессе отработки методики получения атомарно-чистой поверхности алюминия. Соискатель изучил взаимодействие ионов аргона с энергией ниже порога распыления естественного слоя Al_2O_3 на алюминии и установил, что, во-первых, ионная бомбардировка в этом случае приводит к образованию наноразмерных частиц на поверхности. Во-вторых, состояние поверхности после ионной обработки характеризуется спектрами Оже и характеристических потерь отличающимися, как и для атомно-чистой поверхности, так и для окисленной поверхности. Полученный результат автор связывает с тем, что подобная ионная бомбардировка приводит к образованию на поверхности оксинитрида алюминия, что обусловлено накоплением бомбардирующих ионов в междоузельных пустотах поверхности, в результате чего образуется пересыщенный твердый раствор из атомов мишени и бомбардирующих ионов аргона и азота, захватываемых ионным пучком из остаточного газовой среды рабочей камеры спектрометра.

В четвертой главе представлены результаты исследования электронно-стимулированных процессов адсорбции кислорода на поверхности металлов Al, In, Tl, Sn, Pb в зависимости от времени выдержки в среде кислорода. Показано, что в отсутствие облучения электронным пучком в вакууме $1 \cdot 10^{-8}$ Па адсорбционные процессы на поверхностях изученных металлов проявляются намного слабее или практически отсутствуют в пределах времени эксперимента (не более 5 час.). При экспозициях в среде кислорода до 5000 Л на поверхностях изученных металлов 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. Установлено, что скорость адсорбции кислорода на поверхности Pb значительно возрастает при электронной

стимуляции с энергиями до 300 эВ, а при дальнейшем увеличении энергии стимулирующих электронов наблюдается обратный эффект – электронно-стимулированная десорбция.

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.

Научная новизна полученных результатов заключается в том, что 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.

Практическое значение работы определяется тем, что она существенно расширяет возможности специалистов, занимающихся экспериментальными исследованиями поверхностных свойств твердых тел, работающих в области микро- и нанoeлектроники, материаловедения, оптоэлектроники – при разработке методов получения локальных (вплоть до наноразмерных) диэлектрических покрытий. Полученные результаты могут быть использованы для совершенствования нанотехнологии - при ионном синтезе нанобъектов, например, квантовых точек.

В целом, диссертационная работа Крымшочкаловой Д.А. отличается физически грамотной постановкой задач и их решений. Полученные результаты физически обоснованы и не противоречат современным представлениям физики поверхности.

3. Полнота опубликования результатов и содержания автореферата

Все основные результаты диссертации достаточно полно отражены в журнальных публикациях, они опубликованы в 27 изданиях, девять из

которых – в изданиях, входящих в Перечень ВАК, Scopus и Web of Science, докладывались на международных и всероссийских научных форумах. Автореферат диссертации достаточно полно отражает ее содержание, новизну, защищаемые положения и выводы. Также можно отметить рациональную структуру и объем отдельных глав, ясность и убедительность изложения, информативность графического материала и таблиц, исчерпывающий перечень литературы по вопросам диссертации. Отраженные в диссертации научные положения соответствуют области исследования специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

4. Замечания

Диссертационная работа представляет законченное, целостное научное исследование, с хорошим стилем изложения. Однако считаю необходимым сделать следующие замечания:

- На стр.30 текста диссертации приведены характеристики оже спектрометра. Чувствительность энергоанализатора 10^{10} ат./см² представляется завышенной, примерно, на один два порядка. Дело в том, что теоретическая чувствительность цилиндрического энергоанализатора при оптимальном соотношении параметров сигнал/шум $(1/I_A/I_{шум}) * 100\%$ оценивается величиной 0.0077%. На практике оптимального соотношения параметров трудно достигнуть. Поэтому чувствительность обычно находится в пределах 0.1-0.01 %. Это составляет около 10^{12} ат./см². Кроме того, надо учесть, что чувствительность оже-спектрометра обычно сильно варьируется в зависимости от анализируемого элемента.
- Соискатель рассматривает процессы адсорбции, связанные с наличием остаточной газовой среды в вакуумной камере. Однако адсорбция может быть и из объема образца, если в нем на межзеренных границах находится атомы кислорода. Обычно

это часто имеет место в поликристаллических образцах даже высокой чистоты, если только образцы при изготовлении не подвергались специальной обработки для удаления из металла кислорода.. Учитывалась ли соискателем такая возможность.

- Достаточно спорным моментом является время адсорбции монослоя из остаточной газовой среды. Учитывалось ли это при проведении экспериментов?
- Было бы неплохо в конце диссертации иметь какой-либо обобщающий раздел, в котором сравнены результаты электронно-стимулированной адсорбции для различных исследованных металлов.
- Очень интересными представляются на стр.10 автореферата и стр.66 текста диссертации соображения соискателя о первопричине формирования нестабильного оксида SnO с алмазоподобной структурой под влиянием воды с такой же структурой в камере спектрометра. На взгляд оппонента, однако, используемое соискателем слово «...очевидно..» является не самым сильным аргументом в пользу этой точки зрения.
- В работе встречаются не очень хорошо оформленные по четкости и содержанию рисунки, например, рис.2.7 на странице 38. Встречаются также орфографические ошибки, например, в подписях к рис.1 и 2 автореферата, рис. 3.16 и 3.18 текста диссертации в словах « оже – чувствительности (избыточное сочетание букв «ст»)». В надписи на оси ординат рис. 10 автореферата и 4.9 текста диссертации величины интенсивности умножаются на фактор оже-чувствительности. Надо бы разделить? По смыслу текста автореферата на стр. 11 надо ссылаться на рис.4, однако ссылка дается на рис.5.

Однако эти замечания ни в коей степени не умаляют ценности обсуждаемой диссертации, достоверности и надежности основных научных результатов и выводов.

5. Заключение

На основании вышеизложенного можно заключить, что автором выполнено достаточно оригинальное и завершённое научное исследование, отличающееся актуальностью темы, новизной и практической значимостью полученных результатов, которые докладывались на ряде российских и международных конференций, а также опубликованы в ряде изданий, включая центральные научные журналы.

Диссертационная работа Крымшокаловой Д.А. полностью соответствует требованиям п. 7 Положения о порядке присуждения ученых степеней ВАК Министерства образования и науки РФ, а ее автор, Крымшокалова Джульетта Аbugалиевна, вполне заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния»

Козаков Алексей Титович

Официальный оппонент, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией физики поверхности и гетероструктур Научно-исследовательского института физики ЮФУ

Адрес: 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Б. Садовая, 105/42,

ФГАОУ ВПО «Южный федеральный университет».

Тел: 89185389885

Эл. почта: kozakov_a@mail.ru

Подпись профессора Козакова А.Т. удостоверяю:

Директор ИИИ Физики ЮФУ
02.06.2015



Сухоржов В.А.