

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 003.055.02

на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики им. Л.В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 26 декабря 2014 г. №17

О присуждении Моисеенко Евгению Тимофеевичу, Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Структурные фазовые превращения и атомное упорядочение при твердофазных реакциях в тонкопленочных системах Cu/Au и Pd/Fe» по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния принята к защите 24 октября 2014 г., протокол №12 диссертационным советом Д 003.055.02 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики им. Л.В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук (ИФ СО РАН), ФАНО, 660036, г. Красноярск, ул. Академгородок, 50, строение №38, приказ Минобрнауки России №714/НК от 02.11.2012 г.

Соискатель Моисеенко Евгений Тимофеевич 1986 года рождения, в 2010 году окончил Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Сибирский федеральный университет по специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния. В 2013 г. соискатель освоил программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре на базе ИФ СО РАН, где работает инженером 1-ой категории.

Диссертация выполнена в ИФ СО РАН (ФАНО), лаборатория когерентной оптики.

Научный руководитель – Жарков Сергей Михайлович, кандидат физико-математических наук, ИФ СО РАН, лаборатория когерентной оптики, старший научный сотрудник.

Официальные оппоненты: Козлов Эдуард Викторович, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский государственный архитектурно-строительный университет, заведующий кафедрой физики; Михлин Юрий Леонидович, доктор химических наук, профессор,

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии и химической технологии Сибирского отделения Российской академии наук, главный научный сотрудник, дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения Российской академии наук (ИСМАН), г. Черноголовка, в своем положительном заключении, подписанном кандидатом физико-математических наук, старшим научным сотрудником ИСМАН Шкодич Натальей Федоровной, указала, что соискателем обнаружено формирование на начальных этапах твердофазной реакции в двухслойных поликристаллических пленках Cu/Au нанокристаллитов твердого раствора Cu-Au с областью когерентного рассеяния ≈ 1 нм; установлено, что температура фазового перехода типа порядок-беспорядок в тонких пленках FePd ($L1_0$ -FePd \rightarrow FePd) смещена на 35 °С в сторону более высоких температур по сравнению с равновесным значением.

Соискатель имеет 10 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 4 работы, опубликованных в рецензируемых научных изданиях:

1. Моисеенко, Е. Т. Твердофазный синтез и атомное упорядочение в тонкопленочной системе Cu/Au (атомное соотношение Cu:Au=3:1) / Е. Т. Моисеенко, Р. Р. Алтунин, С. М. Жарков // Известия РАН. Серия физическая. – 2012. – Т. 76. – № 10. – С. 1283-1286.

2. Жарков, С. М. *In situ* исследования твердофазных реакций и атомного упорядочения в двухслойных нанопленках Cu/Au методами просвечивающей электронной микроскопии и дифракции электронов / С. М. Жарков, Е. Т. Моисеенко, Р. Р. Алтунин, Г. М. Зеер // Журнал Сибирского федерального университета. Серия "Химия". – 2013. – Т.6. – № 3. – С. 230-240.

3. Жарков, С. М. Исследование процессов твердофазных реакций и переходов порядок-беспорядок в тонких пленках Pd/ α -Fe(001) / С. М. Жарков, Е. Т. Моисеенко, Р. Р. Алтунин, Н. С. Николаева, В. С. Жигалов, В. Г. Мягков // Письма в ЖЭТФ. – 2014. – Т. 99. – Вып. 7. – С. 472-477.

4. Zharkov, S. M. Solid-state reactions in Fe/Si multilayer nanofilms / S. M. Zharkov, R. R. Altunin, E. T. Moiseenko, G. M. Zeer, S. N. Varnakov, S. G. Ovchinnikov // Solid State Phenomena. – 2014. – Vol. 215. – P. 144-149.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы. Все отзывы положительные.

Замечания: *Ведущая организация ИСМАН*. 1. Не совсем понятно, что подразумевается под температурой начала твердофазных реакций. Кроме того, необходимо учитывать, что определенные в настоящей работе температуры начала твердофазной реакции зависят от скорости нагрева, условий получения и параметров пленок, а также от чувствительности прибора и не являются характеристикой твердофазных реакций; 2. Не совсем корректно указаны размеры кристаллитов, т.к. на электронно-микроскопических изображениях наблюдаются зерна, которые могут состоять из более мелких кристаллитов, неразличимых на изображении. Более точное значение размера кристаллитов могли бы быть получены в результате проведения рентгеновских исследований; 3. В главе 4 указано, что формирование длиннопериодической атомно-упорядоченной структуры CuAuII во всем объеме образца в процессе отжига не было достигнуто из-за недостатка времени для формирования этой фазы. Не ясно, почему не были проведены эксперименты с достаточной длительностью отжига. *Официальный оппонент Козлов Э.В.* 1. В работе предлагается модель структуры образцов тонкопленочных Cu/Au на начальном этапе твердофазной реакции – матрица, представляющая собой нанокристаллиты твердого раствора Cu-Au с областью когерентного рассеяния ≈ 1 нм, с включенными в нее кристаллитами CuAu, CuAuI размером 4-6 нм. При этом на электронно-микроскопических изображениях высокого разрешения наблюдаются только кристаллиты размером 4-6 нм, кристаллиты матрицы размером ≈ 1 нм на изображениях не разрешаются; 2. Обнаружено, что температура фазового перехода порядок-беспорядок ($L1_0$ -FePd \rightarrow FePd) смещена на 35 °C в сторону более высоких температур по сравнению с фазовой диаграммой. Сделано предположение, что этот эффект связан с более высокой концентрацией атомов палладия на границах кристаллических зерен FePd за счет зернограничной адсорбции. Однако, никаких экспериментальных доказательств (электронная микроскопия высокого разрешения, локальный элементный анализ) повышенной концентрации палладия на границе зерен Fe-Pd не приводится. *Официальный оппонент Михлин Ю.Л.* 1. Образцы первой серии описываются как имеющие атомное отношение Cu:Au примерно 3:1, тогда как их

состав соответствует отношению $72:28 = 2.57$ (стр. 53). Насколько такое приближение допустимо и оправдано? 2. Хотя в работе получены разумные значения коэффициентов диффузии и энергий активации, а автор использует применительно к расчетам термин «оценка», остается не совсем понятно, насколько корректно выполненное определение этих величин в условиях нагревания образцов с достаточно большой скоростью. Как определялись приводимые в диссертации ошибки, каков вклад в них изменяющихся экспериментальных условий? 3. Хотелось бы видеть более подробное описание методик некоторых экспериментов. В частности, в каком режиме (ускоряющее напряжение, ионный ток, продолжительность) проводилась процедура «утонения» пленок Cu/Au с 50 нм до 10 нм? Не могла ли ионная бомбардировка стать причиной наблюдаемых в формируемой тонкой пленке изменений состава и структур? 4. Вызывает вопросы состав исходных пленок Pd/Fe (стр. 98-99), прежде всего, высокое содержание (20% ат.) кислорода и природа кислородсодержащих соединений. С помощью электронной дифракции автор обнаружил только монокристаллический Fe_3O_4 , как предполагается, в виде 1-2 нм пленки на железе. Однако на железе, контактировавшем с атмосферой и водой неизбежно образование аморфных оксигидроксидов железа (III), возможно, достаточно толстых. Превращением этих слоев может объясняться рост рефлексов магнетита при нагревании. Далее, кажется сомнительным, что полное удаление оксидов железа и кислорода из образцов при 535-550 °С происходит по механизму термического распада. Гораздо более вероятна реакция восстановления, скорее всего, с участием углерода как восстановителя. Что известно о содержании углерода в исходных пленках?

На автореферат диссертационной работы поступили отзывы Лепешова Г.Г., к.ф.-м.н., Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт кристаллографии, сектор электронной дифрактометрии, старшего научного сотрудника; Старостенкова М.Д., д.ф.-м.н., профессора, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, заведующего кафедрой физики. Критические замечания отсутствуют.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается близкой тематикой проводимых ведущей организацией и официальными оппонентами исследований к теме диссертационной работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований получены следующие основные результаты:

1. Установлен факт формирования нанокристаллитов твердого раствора Cu-Au с областью когерентного рассеяния ≈ 1 нм на начальном этапе твердофазной реакции в двухслойной тонкопленочной системе Cu/Au с атомным соотношением Cu:Au \approx 1:1;
2. Установлена последовательность образования фаз при твердофазных реакциях и атомном упорядочении в исследованных двухслойных тонкопленочных системах Cu/Au;
3. Установлена последовательность формирования фаз при твердофазной реакции и атомном упорядочении в двухслойной тонкопленочной системе Pd/ α -Fe(001) с атомным соотношением Pd:Fe \approx 1:1;
4. Установлен факт смещения температуры перехода типа порядок-беспорядок ($L1_0$ -FePd \rightarrow FePd) в исследованных тонких пленках FePd на ≈ 35 °C в сторону более высоких температур по сравнению с фазовой диаграммой. Сделано предположение, что наблюдаемый эффект связан с более высокой концентрацией атомов палладия на границах кристаллических зерен FePd за счет адсорбции на границах зерен.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что анализ полученных результатов позволит разработать новые теоретические модели, позволяющие более полно описать твердофазные реакции в тонкопленочных системах типа металл/металл.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что определены последовательности и температуры образования фаз при твердофазных реакциях и атомном упорядочении в тонкопленочных системах Cu/Au и Fe/Pd. Эти результаты могут быть использованы при проектировании устройств микроэлектроники, использующих в своей конструкции тонкие слои и соединения на основе Cu/Au и Fe/Pd.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что в работе использованы современные экспериментальные методы исследования. Результаты

получены на сертифицированном научном оборудовании и обладают хорошей воспроизводимостью. Полученные соискателем экспериментальные результаты согласуются с современными теоретическими и экспериментальными литературными данными.

Личный вклад соискателя заключается в активном участии в получении двухслойных тонкопленочных систем Cu/Au, проведении исследований, интерпретации полученных результатов, а также в подготовке научных статей и тезисов докладов, отражающих основные результаты исследования.

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного и четкого плана исследования, непротиворечивой методологической платформы, согласованностью и взаимосвязанностью выводов.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней, и принято решение присудить Моисеенко Евгению Тимофеевичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 9 докторов физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния и 9 по специальности 01.04.11 – физика магнитных явлений, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, проголосовали: за -17, против- нет, недействительных бюллетеней- 1.

Зам. председателя
диссертационного совета Д 003.055.02
д.ф.-м.н., профессор

Зиненко В. И.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 003.055.02
д.ф.-м.н., с.н.с.

Втюрин А. Н.



30.12.2014 г.