

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 004.003.01 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
НАУКИ ИНСТИТУТА ФИЗИКИ МЕТАЛЛОВ ИМЕНИ М.Н. МИХЕЕВА
УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИФМ УрО РАН) ФЕДЕРАЛЬНОГО АГЕНСТВА НАУЧНЫХ
ОРГАНИЗАЦИЙ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 13.04.2018, №3

О присуждении ПОНОМАРЕВУ Дмитрию Андреевичу, гражданину России, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Модельно-независимый метод определения локального атомного строения с разрешением по глубине в многослойных металлических наногетероструктурах с низкой контрастностью» по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния принята к защите 06.02.2018, протокол № 2 диссертационным советом Д004.003.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской Академии наук (ИФМ УрО РАН), Федеральное агентство научных организаций, 620137, Екатеринбург, ул.С.Ковалевской,18, приказы Минобрнауки РФ № 714/нк от 02.11.2012 и № 188/нк от 26.02.2015.

Соискатель Пономарев Дмитрий Андреевич, 1990 года рождения, в 2013 году окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» по специальности «Ядерные реакторы и энергетические установки», в 2015 году окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский

федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» по специальности «09.04.05 Информационные системы и технологии», окончил аспирантуру при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук в 2017 году, работает в должности научного сотрудника в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Института физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, Федеральное агентство научных организаций.

Диссертация выполнена в лаборатории электрических явлений Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, Федеральное агентство научных организаций.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор, Бабанов Юрий Александрович, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, лаборатория электрических явлений, главный научный сотрудник.

Официальные оппоненты:

1. Свалов Андрей Владимирович, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник отдела магнетизма твёрдых тел Института естественных наук и математики ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург,
2. Песин Леонид Абрамович, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры физики и методики обучения физике ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет», г. Челябинск

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет» в своем положительном заключении, подписанном Филатовой Еленой Олеговной, доктором физико-математических наук, Уздиным Валерием Моисеевичем, доктором физико-математических наук, Щекиным Александром Кимовичем, членом-корреспондентом РАН, доктором физико-математических наук, профессором, заведующим кафедрой статистической физики, указала, что диссертационная работа Пономарева Д.А. посвящена «разработке нового метода получения информации о локальной атомной структуре межслойных границ, слоев и поверхности мультислойных твердотельных пленок на основе совместного анализа результатов, полученных методами рентгеновской рефлектометрии и EXAFS-спектроскопии. Диссертационная работа выполнена на актуальную тему. Диссертационная работа Д.А. Пономарева является научно-квалификационной работой, которая удовлетворяет всем требованиям, «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемых к диссертации, представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.».

Соискатель имеет 6 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 6 работ, из них статей, опубликованных в рецензируемых российских и зарубежных научных изданиях - 5, тезисов докладов в материалах всероссийских и международных конференций – 12. Общий объем научных изданий 5.8 печатных листов. Автором разработан новый рентгеновский метод исследования локального атомного строения с разрешением по глубине для низко контрастных систем, объединяющий рентгеновскую рефлектометрию и EXAFS-спектроскопию. Были определены возможности и погрешности разработанного метода на модельной системе. С помощью разработанного метода из экспериментальных данных была определена локальная атомная структура с разрешением по глубине вокруг

атомов Fe и Cr многослойной наногетероструктуры $Al_2O_3/Cr(100\text{\AA})/[Fe(8\text{\AA})/Cr(10,5\text{\AA})]_2/Cr(20\text{\AA})$. Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1) Бабанов Ю.А. Визуализация атомного строения твердых растворов со структурой NaCl / Бабанов Ю.А., Пономарев Д.А., Устинов В.В. // Физика твёрдого тела. — 2015. — № 57. — С.700—703.

Перевод: Visualization of the atomic structure of solid solutions with the NaCl structure / Yu. A. Babanov, D. A. Ponomarev, V. V. Ustinov // Physics of the Solid State. — 2015. — № 57. — P. 717—721

2) Структурная характеристика мультислойных наноструктур Cr/Gd/Cr и Cr/Gd/Fe/Cr по данным рентгеновской рефлектометрии / Бабанов Ю.А., Саламатов Ю.А., Пономарев Д.А., Наумова Л.И., Проглядо В.В., Миляев М.А., Устинов В.В. // Физика металлов и металловедение. — 2015. — № 116. — С.1173—1184.

3) Local atomic structure of solid solutions with overlapping shells by EXAFS: The regularization method / Yu.A. Babanov, D.A. Ponomarev, V.V. Ustinov, A.N. Baranov, Ya.V. Zubavichus // J. Electron Spectroscopy & Related Phenomena. — 2016. — № 211. — P.1—11.

4) Striking anomalies in the shape of Mössbauer spectra measured near “magnetic” Bragg reflection from [Fe/Cr] multilayer / Andreeva M.A., Chumakov A.I., Smirnov G.V., Babanov Y.A., Devyaterikov D.I., Goloborodsky B.Y., Ponomarev D.A., Romashev L.N., Ustinov V.V., Ruffer R. // Hyperfine Interaction. — 2016. — № 237. — P. 25—33.

5) Local atomic structure of Fe/Cr multilayers: Depth-resolved method / Babanov Yu. A., Ponomarev D. A., Devyaterikov D. I., Salamatov Yu. A., Romashev L. N., Ustinov V. V., Vasin V. V., Ageev A. L. // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. — 2017. — № 440. — P. 203—206.

На диссертацию и автореферат поступило 6 отзывов. Все отзывы положительные. В них отмечается актуальность темы диссертационной работы, научная новизна полученных результатов, их теоретическая и практическая значимость. Отзывы без замечаний поступили: от Домашевской Эвелины Павловны, Академика РАН, Заслуженного деятеля науки РФ, доктора физ.-мат. наук, профессора, заведующей кафедры физики твердого тела и наноструктур ФГБОУ ВО «Воронежского гос. университета», г. Воронеж; от Бугаева Лусегена Арменаковича, доктора физ.-

мат. наук, профессора, зав.кафедрой теоретической и вычислительной физики физического факультета Южного федерального университета; от Луцева Леонида Владимировича, доктора физ.-мат. наук, старшего научного сотрудника Физико-технического института имени А.Ф.Иоффе, г. Санкт-Петербург.

Замечания содержатся в следующих отзывах:

1. От Мороз Эллы Михаловны, доктора химических наук, профессора, ведущего научного сотрудника ФГБУН «Институт катализа им. Г.К. Борескова» СО РАН, г.Новосибирск

Замечание: 1) Работа выиграла бы в научном и практическом отношении при наличии в ней результатов исследований электрофизических свойств изученных сплавов.

2. От Анчарова Алексея Игоревича, кандидата химических наук, старшего научного сотрудника института химии твердого тела и механохимии (ИХТТМ СО РАН), г. Новосибирск.

Замечание: 1) В автореферате не приведена схема эксперимента с использованием синхротронного излучения. Так как данный метод исследования не является широко известным методом было бы уместным более подробно осветить в автореферате технику эксперимента.

3. От Заблуды Владимира Николаевича, кандидата физ.-мат. наук, старшего научного сотрудника лаб. Физики магнитных явлений Института физики им. Л.В.Киренского СО РАН, г. Красноярск.

Замечания: 1) Несущественным замечанием к представленной работе можно отнести слишком смелое, на мой взгляд, утверждение о применимости предлагаемого метода для исследования рентгеновского магнитного кругового дихроизма (МКД) с разрешением по глубине. (Даже для разрешенных переходов величина МКД не превышает нескольких процентов от поглощения). При том, что знание зависимости МКД от глубины было бы чрезвычайно полезным, как с научной, так и с практической точек зрения.

Выбор официальных оппонентов доктора физ.-мат. наук, А.В. Свалова и доктора физ.-мат. наук, профессора Л.А. Песина и ведущей организации обосновывается публикациями оппонентов, тематикой структурного

подразделения ведущей организации и публикациями члена-корреспондента РАН доктора физ.-мат. наук, профессора А.К. Щекина, доктора физ.-мат. наук, Е.О. Филатовой, доктора физ.-мат. наук В.М. Уздина, относящимися к сфере исследований, которым посвящена диссертация.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1. *Разработан* новый метод определения локального атомного строения с разрешением по глубине многослойных наногетероструктур, объединяющий рентгеновскую рефлектометрию и EXAFS-спектроскопию.
2. *Определены* возможности и погрешности разработанного метода на модельной системе $Al_2O_3/Cr(100\text{\AA})/[Fe(8\text{\AA})/Cr(10.5\text{\AA})]_2/Cr(20\text{\AA})$. Показано, что разработанный метод позволяет получить межатомные расстояния для первой и второй координационных сфер на выбранной глубине с точностью ($\pm 0,01\text{\AA}$), а для третьей координационной сферы ($\pm 0,03\text{\AA}$). Информацию о локальном атомном строении образца по глубине можно получать с шагом 2\AA .
3. Из экспериментальных данных *получена* информация о локальном атомном строении с разрешением по глубине многослойной наногетероструктуры $Al_2O_3/Cr(100\text{\AA})/[Fe(8\text{\AA})/Cr(10.5\text{\AA})]_2/Cr(20\text{\AA})$ с низкой контрастностью для рентгеновского излучения.
4. *Установлено*, что толщина поверхностного слоя образца равна $20\text{\AA} \pm 1\text{\AA}$. Этот слой позволяет предотвратить дальнейшее окисление структуры.
5. *Определено*, что в поверхностном слое исследуемого образца присутствует Cr_2O_3 .

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что предложенный метод исследования локального атомного строения с разрешением по глубине позволяет определять распределение атомов в слоях, интерфейсах и поверхности многослойных наногетероструктур с низкой контрастностью для рентгеновского излучения. Метод является

неразрушающим. Разработанный математический алгоритм может быть использован для нахождения зависимости рентгеновского магнитного циркулярного дихроизма от глубины.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что полученные в работе сведения о локальном атомном строении слоев, интерфейсов, поверхности многослойной металлической наногетероструктуры $Al_2O_3/Cr(100\text{\AA})/[Fe(8\text{\AA})/Cr(10.5\text{\AA})]_2/Cr(20\text{\AA})$ могут быть использованы для установления связи между атомным строением металлических многослойных наногетероструктур и различными физическими свойствами (магнитными, магнитотранспортными и др.).

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- рентгеновские измерения проведены на современном высокоточном оборудовании станций структурного материаловедения «СТМ» и «ФАЗА» Курчатовского специализированного источника синхротронного излучения «КИСИ-Курчатов». Полученные данные обработаны с помощью различных алгоритмов, результаты обработки находятся в согласии между собой.
- используемые алгоритмы обработки экспериментальных данных были теоретически описаны, их апробация на модельных численных расчётах воспроизводила условия реальных экспериментов. Все предлагаемые методики являются модельно-независимыми, что повышает объективность получаемых результатов.
- выводы работы не имеют принципиальных расхождений с имеющимися экспериментальными и теоретическими данными других исследователей;
- полученные результаты о локальном атомном строении многослойной металлической наногетероструктуры $Al_2O_3/Cr(100\text{\AA})/[Fe(8\text{\AA})/Cr(10.5\text{\AA})]_2/Cr(20\text{\AA})$ соответствуют современным научным данным.

Личный вклад соискателя состоит в обсуждении цели и задач исследования, в получении и анализе результатов. Автор принимал

непосредственное участие в разработке нового метода определения локальной атомной структуры с разрешением по глубине. С этой целью автором лично был разработан программный пакет на языке программирования C#. Автор также принимал личное участие в постановке и проведении рентгеновских экспериментов на станции структурного материаловедения и станции «ФАЗА» на Курчатовском специализированном источнике синхротронного излучения «КИСИ-Курчатов» (г. Москва). Автором лично проведены обработка и анализ экспериментальных данных. Все публикации, раскрывающие результаты работы, создавались при непосредственном участии автора. Основные результаты и выводы диссертации были сформулированы автором. Материал диссертации неоднократно докладывался автором лично на международных и отечественных конференциях.

Диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, в которой содержится решение актуальной научной задачи разработки нового модельно-независимого метода исследования локальной атомной структуры с разрешением по глубине многослойных структур с низкой контрастностью, и соответствует критериям «Положения о присуждении ученых степеней» в редакции, утвержденной Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 с изменениями от 21.04.2016 г. № 335.

На заседании 13.04.2018 года диссертационный совет принял решение присудить Пономареву Дмитрию Андреевичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации 01.04.07 – Физика конденсированного состояния, 5 докторов наук по специальности 01.04.11 – Физика магнитных

явлений, 5 докторов наук по специальности 05.16.01 – Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallor, uchastvovavshih v zasedanii, iz 21 cheloveka, vkhodyashih v sostav soвета, dopolnitelno vvedeny na razovuyu zashitu – net, progolosovali: za - 16, protiv – net, neдействительных бюллетеней – нет.

Заместитель председателя диссертационного совета.

доктор физ.-мат. наук

Н.Г. Бебенин

Ученый секретарь диссертационного совета.

доктор физ.-мат. наук

Т.Б. Чарикова

17 апреля 2018 г.