

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 ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 25.12.2017, № 23

О присуждении Кравцову Евгению Алексеевичу, гражданину России, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Комплементарное применение рассеяния нейтронного и синхротронного излучений для исследования магнитных металлических наноструктур» по специальности 01.04.11 – физика магнитных явлений принята к защите 22.09.2017, протокол № 15, диссертационным советом 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), Федеральное агентство научных организаций, 620990, Екатеринбург, ул.С.Ковалевской, 18, приказы Минобрнауки РФ № 714/нк от 02.11.2012 и № 188/нк от 26.02.2015.

Соискатель Кравцов Евгений Алексеевич, 1967 года рождения, в 1991 году окончил Уральский государственный университет им. А.М. Горького по специальности «Физика». В 1995 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Теория электросопротивления металлических сверхрешеток», работает в должности ведущего 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 квантовой наноспинтроники Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, Федеральное агентство научных организаций.

Научный консультант – доктор физико-математических наук, профессор, академик РАН Устинов Владимир Васильевич, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, директор института.

Официальные оппоненты:

1. Гарифуллин Ильгиз Абдулсаматович, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник лаборатории физики перспективных материалов Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского Казанского научного центра Российской академии наук

2. Григорьев Сергей Валентинович, доктор физико-математических наук, заместитель директора по международной деятельности Петербургского института ядерной физики Национального Исследовательского Центра "Курчатовский Институт"

3. Фраерман Андрей Александрович, доктор физико-математических наук, заведующий отделом магнитных наноструктур института физики микроструктур РАН — филиала «Федерального исследовательского центра Институт прикладной физики Российской академии наук»

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация Международная межправительственная организация Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ) в своем положительном заключении, подписанном Авдеевым Михаилом

Васильевичем, доктором физико-математических наук, начальником сектора нейтронной оптики научно-экспериментального отдела нейтронных исследований конденсированных сред лаборатории нейтронной физики имени И.М. Франка, указала, что диссертационная работа Кравцова Е.А. является «является завершённой научно-квалификационной работой на актуальную тему, содержит новые научные результаты| в области исследования структурных и магнитных свойств металлических наноструктур с использованием комплементарных нейтронно-синхротронных методик. Работа выполнена на высоком научном уровне, является самостоятельным исследованием, имеет большое практическое значение для развития неразрушающих ядерно-физических методов диагностики магнитных наноструктур. Полученные результаты являются обоснованными и достоверными, имеют существенное значение для науки и техники. Диссертационная работа Кравцова Е.А. по своей актуальности, научной новизне, объему выполненных исследований, научной и практической значимости результатов соответствует требованиям пп. 9-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, а ее автор Кравцов Евгений Алексеевич заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.11 - физика магнитных явлений».

Соискатель имеет 57 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 32 работы, из них статей, опубликованных в рецензируемых российских и зарубежных научных изданиях, входящих в список ВАК, – 22, публикаций в сборниках трудов и тезисов докладов в материалах всероссийских и международных конференций – 10. Общий объем научных изданий 40 печатных листов. Автором были разработаны неразрушающие

методы исследования атомной и магнитной микроструктуры магнитных наноструктур, основанные на комплементарном (взаимодополняющем) использовании рассеяния нейтронов и синхротронного излучения. Разработанные методы были применены автором для исследования широкого класса магнитных металлических наноструктур.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Magnetic off-specular neutron scattering from Fe/Cr multilayers / V.V. Lauter-Pasyuk, H.J. Lauter, B. Toperverg, O. Nikonov, E.A. Kravtsov, M.A.Milyaev, L.N. Romashev, V.V. Ustinov // *Physica B.* – 2000. – Vol. 283. – P. 194–198.
2. Complementary polarized neutron and resonant x-ray magnetic reflectometry measurements in Fe/Gd heterostructures: Case of inhomogeneous intralayer magnetic structure / E. Kravtsov, D. Haskel, S.G.E. te Velthuis, S.J. Jiang, B.J. Kirby // *Phys. Rev. B.* – 2009. – Vol. 79. – p. 134438.
3. Charge-magnetic interference resonant scattering studies of ferromagnetic crystals and thin films / D. Haskel, E. Kravtsov, Y. Choi, J. C. Lang, Z. Islam, G. Srajer, J. S. Jiang, S. D. Bader, P. C. Canfield // *European Physical Journal-Special Topics* – 2012. – Vol. 208 – P. 141–155.
4. 16. Proximity effect of vanadium on spin-density wave magnetism in Cr films / E. Kravtsov, A. Nefedov, F. Radu, A. Remhof, H. Zabel, B. Hjorvarsson, A. Hoser, S. B. Wilkins // *Phys. Rev. B.* – 2004. – Vol. 70. – p. 054425.
5. 17. Proximity effect of vanadium on strain and spin-density waves in thin Cr films / E. Kravtsov, R. Brucas, B. Hjorvarsson, A. Hoser, G. McIntyre, A. Nefedov, F. Radu, A. Remhof, H. Zabel // *J. Magn. Magn. Mater.* – 2005. – Vol. 286. – P. 425–431.
6. 18. Reorientation of spin-density waves in Cr films induced by proximity effect of vanadium / E. Kravtsov, A. Nefedov, H. Zabel, R. Brucas, B.

- Hjorvarsson, A. Hoser, G. J. McIntyre // *J. Phys.: Condens. Mater.* –2005. – Vol. 17. – p. 3143–3152.
7. . Onset of spin-density-wave antiferromagnetism in Cr/V multilayers / E. Kravtsov, R. Brucas, B. Hjorvarsson, A. Hoser, A. Liebig, G. J. McIntyre, M. A. Milyaev, A. Nefedov, L. Paolasini, F. Radu, A. Remhof, V. V. Ustinov, F. Yakhou, H. Zabel // *Phys. Rev. B.* – 2007. – Vol. 76. – p. 024421.
 8. Fine tuning spin-density-wave state in Cr/V heterostructures via hydrogen uptake / E. Kravtsov, A. Nefedov, G. Nowak, K. Zhernenkov, H. Zabel, B. Hjorvarsson, A. Liebig, A. Hoser, G. J. McIntyre, L. Paolasini, A. Remhof // *J. Phys.: Condens. Mater.* – 2009. – Vol. 21. – p. 336004.
 9. Site-specific local structure of Mn in artificial manganese ferrite films /E. Kravtsov, D. Haskel, A. Cady, A. Yang, C. Vittoria, X. Zuo, V. G. Harris // *Phys. Rev. B.* – 2006. – Vol. 74. – p. 104114.
 10. Element- and site-specific oxidation state and cation distribution in manganese ferrite films by diffraction anomalous fine structure / A. Yang, Z. Chen, A. L. Geiler, X. Zuo, D. Haskel, E. Kravtsov, C. Vittoria, V. G. Harris // *Appl. Phys. Lett.* – 2008. – Vol. 93. – p. 052504.

На диссертацию и автореферат поступило 5 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 Крейнес Наталии Михайловны, доктора физико-математических наук, ведущего научного сотрудника и Дровосекова Алексея Борисовича, кандидата физико-математических наук, научного сотрудника, Институт физических проблем РАН, г. Москва; от Сыромятникова Вячеслава Генриховича, кандидата физико-математических наук, ведущего научного сотрудника Петербургского института ядерной физики НИЦ КИ, г. Гатчина.

Замечания содержатся в следующих отзывах:

1. От Андреевой Марины Алексеевны, доктора физико-математических наук, ведущего научного сотрудника физического факультета Московского государственного университета, г. Москва

Замечания: 1) в автореферате нет списка цитируемой литературы, к которому автор мог бы апеллировать, чтобы продемонстрировать непротиворечивость полученных результатов с результатами, опубликованными другими авторами;

2) "Рентгеновские длины рассеяния" лучше все же называть амплитудами рассеяния;

3) для спектров на Рис.5 использовано название EXAFS, но это спектры, измеренные вблизи края поглощения, а не в дальней области и они обычно называются XANES.

2. От Квардакова Владимира Валентиновича, доктора физико-математических наук, член-корреспондента РАН, РФФИ, заместителя председателя совета Российского фонда фундаментальных исследований, г. Москва.

Замечание: Отсутствие указаний на конкретные нейтронные и синхротронные станции, на которых проводились измерения. Отсутствие информации о том, какие исследования проводились с использованием классических рентгеновских источников. Отсутствие информации о методах выращивания образцов.

3. От Панкрац Анатолия Ивановича, доктора физико-математических наук, ведущего научного сотрудника лаборатории резонансных свойств магнитоупорядоченных веществ и Заблуды Владимира Николаевича, доктора физико-математических наук, старшего научного сотрудника лаборатории физики магнитных явлений, Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН, г. Красноярск.

Замечания: 1) Начиная с названия работы, и далее многократно по тексту используется словосочетания типа «магнитные металлические наноструктуры». При этом в сущности применяемого метода не видно причины его ограничения именно металлами. Представляется, что предлагаемый метод может успешно применяться и для немагнитных магнитных материалов;

2) в главе 4 сделан вывод о том, что при малых толщинах слоя Cr во всем температурном диапазоне формируется только соизмеримая фаза волны спиновой плотности, для иллюстрации на рис. 18 приводятся спектры рассеяния нейтронов для образца [Cr(125Å)/(V14 Å)], измеренные при различных температурах. Однако представленный на этом рисунке спектр для $T = 10$ К имеет явный двугорбый вид, который можно интерпретировать как сателлиты с малой величиной;

3) отдельные рисунки имеют плохо читаемый масштаб по осям, некоторые экспериментальные кривые неразличимы в черно-белом изображении, имеются ошибочные ссылки на рисунки (например, ссылка на рис.2 на стр. 14).

Выбор официальных оппонентов доктора физ.-мат. наук И.А. Гарифуллина, доктора физ.-мат. наук, профессора С.В. Григорьева и доктора физ.-мат. наук А.А. Фраермана, а также ведущей организации обосновывается публикациями оппонентов и тематикой структурного подразделения ведущей организации, относящимися к сфере исследований, которым посвящена диссертация.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- *Экспериментально* установлена корреляция между степенью несовершенства межслойных границ Fe-Cr и углом между магнитными моментами соседних слоев Fe в сверхрешетках Fe/Cr с неколлинеарным магнитным упорядочением. *Экспериментально* показано, что в сверхрешетках Fe/Cr формируется латеральная доменная структура, рассеяние поляризованных нейтронов на которой приводит к незеркальному рассеянию нейтронов с переворотом спина. Предложен метод определения угла неколлинеарности в магнитных сверхрешетках из анализа незеркального рассеяния поляризованных нейтронов.
- *Впервые* определены элементно-чувствительные векторные профили намагниченности в магнитных сверхрешетках, с разрешением близким к атомному, с помощью комплементарного применения рефлектометрии поляризованных нейтронов и резонансной рентгеновской магнитной рефлектометрии. *Экспериментально* показано, что в сверхрешетках Fe/Gd при низких температурах формируется неоднородное магнитное состояние, характеризующееся вращением магнитных моментов внутри слоев Gd.

- *Впервые показано*, что эффекты близости слоев ванадия приводят к изменению поляризации и направления распространения волн спиновой плотности в наноструктурах Cr/V. Установлено, что в слоях Cr в сверхрешетках Cr/V вблизи межслойных границ формируются парамагнитные области толщиной до 5 нм. Впервые экспериментально продемонстрирована возможность управляемого обратимого изменения магнитного состояния сверхрешеток Cr/V путем насыщения их водородом.
- *Впервые экспериментально обнаружено* значительное уменьшение координационного числа первой координационной сферы для атомов Mn, расположенных в узлах типа «В» в пленках искусственных марганцевых ферритов.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

Научные положения и результаты, сформулированные и обоснованные в работе, позволяют понять природу формирования магнитных свойств металлических магнитных наноструктур, установить фазовые диаграммы магнитных сверхрешеток и будут способствовать расширению элементной базы спинтроники.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики заключается в том, что:

- Разработанные в диссертационной работе методы исследования магнитных наноструктур, основанные на комплементарном применении нейтронного и синхротронного рассеяния, востребованы в ведущих нейтронных и синхротронных центрах для проведения исследований, усовершенствования и создания новых экспериментальных установок.

- Результаты исследований по управлению магнитным состоянием металлических наноструктур путем насыщения их водородом могут быть использованы для конструирования датчиков водорода.

- Результаты исследований искусственных ферритов могут быть использованы при разработке новых материалов для высокочастотных устройств.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- *экспериментальные результаты* получены с помощью различных современных взаимодополняющих методик аттестации структурного состояния и исследования магнитных свойств магнитных пленок и многослойных наноструктур высокого качества; они не противоречат имеющимся в литературе данным по исследованию наноразмерных магнитоупорядоченных объектов; выводы работы не имеют принципиальных расхождений с имеющимися экспериментальными и теоретическими данными других исследователей.

- *теоретические результаты* численного моделирования хорошо согласуются с экспериментальными данными, полученными диссертантом, и не противоречат современным научным представлениям о магнитных свойствах плёночных магнитных систем.

Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием аттестованных образцов и апробированных методик исследования, проведением различных экспериментов на одних и тех же образцах при одних и тех же экспериментальных условиях, согласием и непротиворечивостью полученных результатов и результатов, полученных другими авторами и опубликованных в литературе.

Личный вклад соискателя состоит:

в выборе направления и объектов исследования, постановке задач и выборе методов их решения. Эксперименты, результаты которых приведены в диссертации, подготовлены и проведены либо автором лично, либо при его участии. Автором лично были сформулированы теоретические модели и разработаны компьютерные программы, использованные для анализа

полученных экспериментальных результатов. Автором или при его прямом участии дана интерпретация всех представленных экспериментальных результатов.

На заседании 25 декабря 2017 г. диссертационный совет пришёл к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным требованиям, предъявляемым ВАК Министерства образования и науки РФ к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук (пп. 9-11, 13, 14 «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), и принял решение присудить Кравцову Евгению Алексеевичу ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации 01.04.11 – Физика магнитных явлений, 4 доктора наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния, 6 докторов наук по специальности 05.16.01 - Металловедение и термическая обработка металлов, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту - нет, проголосовали: за – 16, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель заседания
диссертационного совета,
доктор физ.-мат. наук

Н.Г. Бебенин

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор физ.-мат. наук

Т.Б. Чарикова

27 декабря 2017 г.