

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 (ИФ СО РАН), ФАНО, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 27 мая 2017 г. №7

О присуждении Комогорцеву Сергею Викторовичу, гражданину РФ, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Случайная магнитная анизотропия и стохастическая магнитная структура в наноструктурированных ферромагнетиках» по специальности 01.04.11 – физика магнитных явлений принята к защите 17 февраля 2016г., протокол №2 диссертационным советом Д 003.055.02 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики им. Л. В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук (ИФ СО РАН), (ФАНО) 660036, г. Красноярск, Академгородок, 50, строение 38, номер приказа о создании диссертационного совета 714/НК от 02.11.2012 г.

Соискатель Комогорцев Сергей Викторович 1973 года рождения, диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Исследование аморфных и нанокристаллических ферромагнетиков с двух- и трехмерными не однородностями случайной анизотропии методом корреляционной магнитометрии» защитил в 2001 году, в диссертационном совете, созданном на базе ИФ СО РАН. Работает старшим научным сотрудником в ИФ СО РАН (ФАНО). Диссертация выполнена в лаборатории физики магнитных пленок ИФ СО РАН и на кафедре физики в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский государственный технологический университет».

Научный консультант – доктор физико-математических наук Исаков Рауф Садыкович, ИФ СО РАН, зав. лабораторией физики магнитных пленок.

Официальные оппоненты: *Мушников Николай Варфоломеевич* – д. ф.-м. н., чл.-корр. РАН, зав. лаб. ферромагнитных сплавов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики металлов имени М.Н. Михеева

Уральского отделения Российской академии наук (ИФМ УрО РАН); *Вахитов Роберт Миннисламович* – д. ф.-м. н., зав. кафедры теоретической физики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Башкирский государственный университет»; *Лепешев Анатолий Александрович* – д. т. н., зав. кафедры ЮНЕСКО «Новые материалы и технологии» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский федеральный университет» (СФУ) дали положительные отзывы.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», г. Москва, в своем положительном отзыве, подписанном Перовым Николаем Сергеевичем – д.ф.-м.н., профессор, зав. кафедрой магнетизма и Шалыгиной Еленой Евгеньевной – г.н.с. кафедры магнетизма указала, что С.В. Комогорцев в своей диссертационной работе разработал экспериментальный метод изучения характеристик магнитной микроструктуры нанокристаллических и аморфных сплавов, исследовал размеры неоднородностей магнитной анизотропии стохастической микромагнитной структуры и стохастических магнитных доменов в наноструктурированных ферромагнитных материалах. Установленные в работе корреляции важных для приложений магнитных характеристик нанокристаллических и аморфных сплавов с их особенностями их микромагнитной структуры могут быть использованы для создания новых сплавов с улучшенными свойствами. Новые научные результаты, полученные диссертантом, существенно расширили представления о микромагнитных структурах, реализующихся в аморфных и нанокристаллических магнитных сплавах.

Соискатель имеет 65 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 54 работы, опубликованных в рецензируемых научных изданиях. Они представляют большую научную ценность, поскольку существенно расширяют представления о микромагнитных структурах, реализующихся в аморфных и нанокристаллических магнитных сплавах. Общий объем 32 усл.-печ.л.

Наиболее значительные работы: 1. Исхаков Р.С., Комогорцев С.В., Балаев А.Д., Чеканова Л.А. Размерность системы обменно-связанных зерен и магнитные свойства нанокристаллических и аморфных ферромагнетиков // Письма в ЖЭТФ. 2000. Т.72, № 6. С.440–444. 2. Исхаков Р.С., Комогорцев С.В., Балаев А.Д., Чеканова Л.А. Многослойные пленки Co / Pd с нанокристаллическими и аморфными слоями Co: коэрцитивная сила, случайная анизотропия и обменная связь зерен // Письма в ЖТФ. 2002. Т. 28, № 17. С. 37–44. 3. Исхаков Р.С., Игнатченко В.А., Комогорцев С.В., Балаев А.Д. Изучение магнитных корреляций в наноструктурных ферромагнетиках методом корреляционной магнитометрии // Письма в ЖЭТФ. 2003. Т. 78, № 10. С. 1142–1146. 4. Исхаков Р.С., Комогорцев С.В., Балаев А.Д., Окотруб А.В., Кудашов А.Г., Кузнецов В.Л., Бутенко Ю.В. Нанонити Fe в углеродных нанотрубках как пример одномерной системы обменно-связанных ферромагнитных наночастиц // Письма в ЖЭТФ. 2003. Т. 78, № 4. С. 271–275. 5. Комогорцев С.В., Исхаков Р.С. Кривая намагничивания и магнитные корреляции в наночепочке ферромагнитных зерен со случайной анизотропией // Физика твердого тела. 2005. Т. 47, № 3. С. 480–486. 6. Комогорцев С.В., Исхаков Р.С., Денисова Е.А., Балаев А.Д., Мягков В.Г., Булина Н.В., Кудашов А.Г., Окотруб А.В. Магнитная анизотропия в пленках ориентированных углеродных нанотрубок, заполненных наночастицами Fe // Письма в ЖТФ. 2005. Т. 31, № 11. С. 12–18. 7. Исхаков Р.С., Комогорцев С.В. Магнитная микроструктура наноструктурированных ферромагнетиков // Известия РАН. Серия физическая. 2007. Т. 71, № 11. С. 1661–1663. 8. Исхаков Р.С., Комогорцев С.В., Денисова Е.А., Калинин Ю.Е., Ситников А.В. Фрактальная магнитная микроструктура в пленках нанокомпозитов $(\text{Co}_{41}\text{Fe}_{39}\text{B}_{20})_x(\text{SiO}_2)_{1-x}$ // Письма в ЖЭТФ. 2007. Т. 86, № 7. С. 534–538. 9. Комогорцев С.В., Исхаков Р.С., Балаев А.Д., Кудашов А.Г., Окотруб А.В., Смирнов С.И. Магнитные свойства ферромагнитных наночастиц Fe_3C , капсулированных в углеродных нанотрубках // Физика твердого тела. 2007. Т. 49, № 4. С. 700–703. 10. Smirnov S.I., Komogortsev S. V. Magnetization curves of randomly oriented ferromagnetic single-domain nanoparticles with combined symmetry of magnetic anisotropy // J. Magn. Magn.

Mater. 2008. Vol. 320, № 6. P. 1123–1127. **11.** Комогорцев С.В., Исхаков Р.С., Кузнецов П.А., Беляева А.И., Бондаренко Г.Н., Чеканова Л.А. Особенности ферромагнитного резонанса нанокристаллических сплавов Fe_{73.5}CuNb₃Si_{13.5}B₉ // Физика твердого тела. 2010. Т. 52, № 11. С. 2143–2146. **12.** Komogortsev S. V., Iskhakov R.S., Zimin A.A., Filatov E.Y., Korenev S. V, Shubin Y. V, Chizhik N.A., Yurkin G.Y., Eremin E. V. Magnetic anisotropy and order parameter in nanostructured CoPt particles // Appl. Phys. Lett. 2013. Vol. 103, № 15. P. 152404. **13.** Комогорцев С.В., Шефтель Е.Н. Экспериментальные методы изучения микромагнитной структуры нанокристаллических ферромагнетиков: Метод корреляционной магнитометрии // Материаловедение. 2013. № 10. С. 3–10. **14.** Komogortsev S. V., Denisova E.A., Iskhakov R.S., Balaev A.D., Chekanova, L.A., Kalinin Y.E., Sitnikov A.V. Multilayer nanogranular films (Co₄₀Fe₄₀B₂₀)₅₀(SiO₂)₅₀/α-Si:H and (Co₄₀Fe₄₀B₂₀)₅₀(SiO₂)₅₀/SiO₂: Magnetic properties // J. Appl. Phys. 2013. Vol. 113, № 17. P. 17C105. **15.** Iskhakov R.S., Komogortsev S.V., Balaev A.D., Gavriliuk A.A. The manifestations of the two-dimensional magnetic correlations in the nanocrystalline ribbons Fe₆₄Co₂₁B₁₅ // J. Magn. Mater. 2015. Vol. 374. P. 423–426.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы (все положительные):

Ведущая организация – отзыв положительный. Замечания: **1.** В результате не четких определений магнитной и микромагнитной структуры появляются некорректные формулировки. **2.** Для сплавов FeCuNbSiB, FeCoB, FeZrN не обсуждается влияние на ширину линии ферромагнитного резонанса других факторов, кроме эффективной константы анизотропии стохастического магнитного домена и размера кристаллита. **3.** В работе не приведены экспериментальные результаты по визуализации исследуемых микромагнитных структур. **4.** Для пленки Fe₇₈Zr₁₀N₁₂ картины, полученные с помощью магнитного силового микроскопа, целесообразно было сравнить с изображением поверхности образца. **5.** По некоторым вопросам в диссертации отсутствуют уместные ссылки, на приоритетные работы, выполненные в Московском государственном университете. Сделанные замечания не умаляют высокой оценки диссертации и диссертанта. Диссертация выполнена на высоком уровне и представляет собой

завершенную, научно-квалификационную работу, вносящую заметный вклад в развитие актуального научного направления, связанного с исследованием материалов со случайной магнитной анизотропией.

Мушников Н.В. (оппонент) – отзыв положительный. Замечания: **1.** Используемое в диссертации предположение о том, что наведенная магнитная анизотропия в плоскости лент мала по сравнению с локальной магнитной анизотропией, для каждой системы требует более детального обоснования. **2.** В выражении для нормированной математической дисперсии поперечных компонент орта намагниченности использован полученный ранее Н.С. Акуловым симметричный коэффициент $a^2 = 1/15$ для одноосной анизотропии и $2/105$ для трехосной. Было бы полезным вычислить и привести в тексте значения симметричного коэффициента для анизотропии типа «легкая плоскость», а также для кубической анизотропии с осями легкого намагничивания типа $\langle 111 \rangle$ и $\langle 110 \rangle$. **3.** При исследовании пленок Co/Pd возрастание коэрцитивной силы при уменьшении толщины слоев кобальта автор связывает с уменьшением константы обменного взаимодействия почти в 4 раза. В дополнение к слоям ферромагнитного кобальта и палладия, пленки на поверхности раздела слоев содержат фазу CoPd, которая может обладать одноосной анизотропией. Выделение такой фазы может оказывать значительное влияние на форму кривой намагничивания и, соответственно, на достоверность определения константы обменного взаимодействия. Эти мелкие погрешности снижают впечатление от чтения добротного научного труда, каким является данная диссертация. В целом, работа Комогорцева С.В. представляет собой самостоятельное законченное исследование, в котором содержится решение важной научной задачи, связанной с анализом процессов намагничивания нанокристаллических магнитных материалов. *Вахитов Р.М.* (оппонент) – отзыв положительный. Замечания: **1.** В работе встречаются некорректные ссылки на теоретические формулы, неудачная символика в некоторых формулах, неудачные формулировки в описании некоторых результатов, а также встречается путаница в символах. Отсутствуют уместные ссылки по комбинированной модели Стонера-Вольфарта. **2.** Из

приведенных определений не ясно, является ли размер зерна и корреляционный радиус неоднородностей анизотропии одной и той же величиной.

Лепешев А.А. (оппонент) – отзыв положительный. Замечания: **1.** Требуется более четкое определение этого понятия стохастического магнитного домена. Возможно, автору следовало выбрать более удачный термин, например, «магнитный корреляционный объем», во избежание путаницы с привычным понятием магнитного домена. **2.** В диссертации не рассмотрен вопрос о влиянии тепловых флуктуаций на стохастическую магнитную структуру. Это требует пояснений, поскольку известно, что тепловые флуктуации могут оказывать существенное влияние на магнитные свойства наноразмерных структур. **3.** В многофазном материале, магнитные свойства, могут определяться составом и структурой фаз, а также формой фазовых выделений. Для интерпретации свойств аморфных и нанокристаллических сплавов в 4-й, 5-й и 6-й главе такое влияние следовало обсудить подробнее. **4.** Вынесение на первый план случайной составляющей магнитной анизотропии следовало подкреплять предварительными тестами макроскопической магнитной анизотропии. Материал, локальная магнитная анизотропия которого полностью случайна, должен быть магнитно изотропным. **5.** В 8-й главе, в числе прочего, обсуждаются кривые намагничивания аморфных сплавов железа. Однако соответствующего анализа, касающегося флуктуаций обмена не проводится. Отмеченные недостатки не являются принципиальными, должны способствовать более глубокому пониманию исследуемых явлений и могут служить основой для проведения дискуссии.

Поступило 8 отзывов на автореферат диссертации. Все отзывы положительные. Замечания в отзывах на автореферат следующие. *Манаков Н.А.*: **1.** Заключение о переходе к однородной намагниченности в полях выше H_R требует уточнений. **2.** Отсутствует ссылка на раннюю работу, где введено понятие «домен обменного взаимодействия», аналогичное понятию «стохастический магнитный домен». *Луцев Л.В.*: Формула (1) при некоторых значениях d приводит к неправильным единицам длины. *А.А. Гаврилюк, А.В. Семиров*: На каком экспериментальном объекте можно проверить справедливость расчетов сделанных в 7-й главе? В

отзывах *Райхера Ю.Л., Бурханова Г.С., Шефтель Е.Н.* указывается на наличие стилевых шероховатостей и терминологических неточностей. В отзыве *Васьковского В.О.* и *Волегова А.С.* указывается на, то, что применение развиваемых подходов не только в низкоанизотропным, но и к высокоанизотропным магнетикам придало бы работе более общий характер и повысило ее значимость.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается компетенцией в области физики магнитных явлений и наноматериалов, а также признанным профессионализмом и высокой квалификацией специалистов, необходимыми для обстоятельной оценки научной и практической ценности диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- Развита методика экспериментального определения характеристик магнитной микроструктуры нанокристаллических и аморфных сплавов из кривых приближения намагниченности к насыщению: размеров, размерности и магнитной анизотропии стохастических магнитных доменов.
- Экспериментально установлено влияние размерности неоднородности локальной анизотропии и размерности обменных корреляций намагниченности на кривые приближения намагниченности к насыщению наноструктурированных сплавов.
- Обнаружено влияние стохастических магнитных доменов в магнитной микроструктуре аморфных и нанокристаллических ферромагнетиков на кривые приближения намагниченности к насыщению.
- С помощью развитой методики исследованы параметры стохастических магнитных доменов в ферромагнитных наноструктурных материалах, и их связь с прикладными магнитными характеристиками.
- Показаны примеры существования двумерной стохастической магнитной структуры в лентах аморфных и нанокристаллических сплавов с анизотропными неоднородностями локальной магнитной анизотропии.

- Предложено интерполяционное выражение для кривой приближения намагниченности к насыщению, позволяющее количественно описать экспериментально наблюдаемый переход между степенными асимптотиками.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что в нем: Развита представления о стохастической магнитной структуре в ферромагнитных наноструктурированных материалах, позволившие создать методику экспериментального определения основных характеристик корреляционной функции намагниченности из кривых приближения намагниченности к насыщению: корреляционных радиусов, величины магнитной анизотропии стохастических магнитных доменов и их пространственной размерности.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что: Развита метод измерения магнитной анизотропии стохастического магнитного домена, а также размерности неоднородностей локальной магнитной анизотропии и размерности корреляций намагниченности в наноструктурированных ферромагнетиках. Выявлены корреляции важных для приложений интегральных магнитных характеристик нанокристаллических и аморфных сплавов (коэрцитивная сила, ширина линии ферромагнитного резонанса) с особенностями их микромагнитной структуры и локальной магнитной анизотропии. Установленные закономерности могут способствовать созданию новых сплавов с улучшенными магнитными характеристиками.

Достоверность результатов исследования определяется тем, что сделанные выводы подтверждены сравнением магнитометрических данных с результатами, полученными с помощью малоуглового рассеяния нейтронов и магнитной силовой микроскопии. Анализ полученных результатов и обобщение литературных данных позволили установить корреляцию величин коэрцитивной силы сплавов и поля анизотропии стохастического магнитного домена. Результаты измерений согласуются с известными опубликованными данными. Результаты, полученные на разных объектах исследования, а также на различных измерительных установках взаимно согласованы.



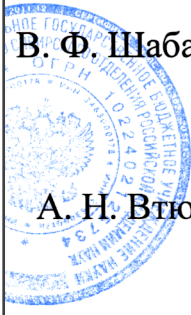
Личный вклад соискателя состоит в формулировке задач исследования; непосредственном участии в магнитометрических измерениях; решении задач численного эксперимента; обработке и анализе структурных и магнитометрических данных; апробации результатов на международных конференциях и подготовке публикаций.

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.

На заседании 27 мая 2016 г. диссертационный совет принял решение присудить Комогорцеву С.В. ученую степень доктора физико-математических наук. При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 10 докторов наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния и 8 докторов наук по специальности 01.04.11 – физика магнитных явлений, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, проголосовали: за – 18, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета
д.ф.-м.н., академик РАН

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




В. Ф. Шабанов
А. Н. Втюрин