



«УТВЕРЖДАЮ»
Зам. директора ФГБУН
Физико-технический
институт им. А.Ф. Иоффе
Российской академии наук по науке,
доктор физ.-мат. наук
Брунков П.Н.

« 26 » декабря 2019 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук на диссертационную работу Ершова Николай Владимировича **«Закономерности формирования атомной структуры магнитомягких железокремнистых сплавов»**, представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния

Диссертационная работа Ершова Н.В. посвящена изучению закономерностей формирования атомной структуры магнитомягких железокремнистых сплавов. В ней приводятся, анализируются и обсуждаются результаты, полученные прямыми структурными методами, такими как рентгеновская дифракция и ядерная гамма-резонансная спектроскопия (эффект Мессбауэра), в сочетании с теоретическим моделированием ближнего упорядочения атомов в магнитомягких железокремнистых сплавах в кристаллическом и нанокристаллическом состоянии. Важным достижением работы является существенное развитие представлений о происхождении наведенной магнитной анизотропии, оказывающей значительное влияние на практически важные магнитомягкие свойства сплавов.

Актуальность темы диссертации

Актуальность темы диссертационной работы Н. В. Ершова не вызывает никаких сомнений, поскольку магнитомягким сплавам на основе кремнистого железа нет равных среди современных металлических материалов в связи с их огромной долей в промышленном производстве, рекордными эксплуатационными свойствами и широким применением в электроэнергетике, в электро- и радиотехнике, автоматике, телемеханике и приборостроении в качестве материалов магнитопроводов различных машин и аппаратов. Следует отметить, что даже незначительные улучшения эксплуатационных характеристик изделий, изготовленных из кристаллических или нанокристаллических железокремнистых сплавов на основе новых научных знаний физических механизмов формирования их магнитных свойств, имеют огромное хозяйственно-экономическое значение за счет экономии материалов, электроэнергии и других ресурсов в процессе их разработки и промышленного применения. Таким образом приведенные в диссертационной работе Ершова Н. В. результаты исследований атомной структуры железокремнистых сплавов в кристаллическом и нанокристаллическом состояниях, закономерностей ее формирования, механизмов наведения магнитной анизотропии представляют собой существенный вклад в развитие физики конденсированного состояния и физики магнитных явлений. Полученные данные и

сделанные на их основе выводы дают возможность целенаправленного формирования требуемых свойств магнитомягких материалов и обеспечения их высокой термической стабильности, являются основой для разработки лабораторных технологий получения магнитомягких материалов с оптимальным сочетанием магнитных свойств, перспективных для применения в высокотехнологических отраслях промышленности Российской Федерации. Тема диссертации полностью соответствует нескольким пунктам Перечня критических технологий Российской Федерации: «Металлы и сплавы со специальными свойствами» (2002), «Нанотехнологии и наноматериалы» и «Технологии создания и обработки кристаллических материалов» (2006), «Технологии получения и функциональных наноматериалов» (2011), утвержденных Указами Президента РФ. Исследования по теме диссертации выполнены в лаборатории микромагнетизма Института физики металлов УрО РАН в рамках комплексных бюджетных тем с 2001 по 2016 год, при поддержке программ фундаментальных исследований Президиума РАН, фундаментальных исследований Отделения физических наук РАН, Уральского отделения РАН и трех грантов РФФИ 2003, 2006 и 2010 годов.

Основные результаты работы были представлены и обсуждены более, чем на 40 российских и международных совещаниях, конференциях и симпозиумах, в пяти из них Н. В. Ершов принимал участие в качестве приглашенного докладчика: EASTMAG–2004 (Красноярск, Россия, 24 – 27 августа 2004 года), 5th International Symposium on Hysteresis and Micromagnetic Modeling (Будапешт, Венгрия, 30 мая – 1 июня 2005 года), НАНО2009 (Екатеринбург, Россия, 20 – 24 апреля 2009 года), РСНЭ – НБИК 2011 (Москва, 14 – 18 ноября 2011 года) и MISM-2017 (Москва, Россия, 1 – 5 июля 2017 года).

Структура и основное содержание работы

Диссертация состоит из введения, четырех основных разделов и заключения, списка работ автора диссертации, списка цитируемой литературы. Основные результаты исследований изложены в четырех основных разделах, разделенных на подразделы. В преамбуле основного раздела диссертации указаны статьи автора, в которых опубликованы результаты исследования, приведенные в этом разделе, в заключение даны подробные выводы. В конце диссертации в заключении сформулированы общие выводы, которые отражают наиболее важные результаты работы в целом. Текст содержит 322 страницы машинописного текста, 106 рисунков, 27 таблиц и насчитывает 222 ссылки на цитируемую литературу.

Во **Введении** кратко изложена история открытия, развития технологии промышленного производства и совершенствования эксплуатационных свойств железокремнистых сплавов на основе постоянно накапливаемых научных знаний. Если сначала улучшение мягких магнитных свойств железокремнистых сталей были связаны с совершенствованием их кристаллической структуры и текстуры, то позднее были обнаружены эффекты наведения анизотропии магнитных свойств, связанные с термомагнитной (при отжиге в магнитном поле – ТМО) или термомеханической (при отжиге в поле механического напряжения – ТМехО) обработках. Поскольку со времени обнаружения влияния внешнего магнитного поля, приложенного при отжиге, на магнитные свойства сплавов железа с кремнием, с никелем или кобальтом сформировались представления о структурной диффузионной природе наведенной магнитной анизотропии, возникла гипотеза Нееля, Танигучи и Яомото о направленном упорядочении, когда пары одноименных атомов занимают соседние узлы кристаллической решетки вдоль одного из направлений легкого намагничивания, обеспечивающие минимальный угол между осью пары и вектором намагниченности образца. После охлаждения до комнатной температуры направленное упорядочение будет "заморожено" ввиду низкой диффузионной подвижности атомов и будет

обеспечивать существенное облегчение перемагничивания сплава вдоль этого направления. При этом увеличиваются магнитная проницаемость и остаточная намагниченность, уменьшаются коэрцитивная сила и потери на перемагничивание, а петля гистерезиса становится более прямоугольной. Перемагничивание в поперечном направлении затрудняется. На основании проведенного анализа известных результатов была поставлена задача с помощью структурных исследований подтвердить или опровергнуть существование одноосных анизотропных конфигураций атомов кремния в ОЦК кристаллах магнитомягкого сплава железо–кремний, имеющих в результате ТМО или ТМехО наведенную анизотропию магнитных свойств.

Во Введении достаточно подробно описаны актуальность темы диссертации, сформулирована цель исследований – выяснение закономерностей формирования атомной структуры магнитомягких железокремнистых сплавов в кристаллическом и нанокристаллическом состояниях, установление зависимости атомной структуры сплавов от содержания кремния, условий термической обработки, в частности, от действия внешнего магнитного поля или поля механического напряжения. Развитие представлений о механизме влияния структурных состояний на фундаментальные, практически важные магнитные свойства, расширяющих возможности совершенствования магнитомягких сплавов на основе железа. Перечислены задачи исследования, научная новизна исследований, описана использованная методология и экспериментальные и теоретические методы исследования. Сформулирована теоретическая и практическая значимость результатов исследований. Приведены основные положения, выносимые на защиту, сформулирован личный вклад автора, рассмотрены вопросы достоверности результатов экспериментальных и теоретических исследований.

В первом разделе приводятся результаты исследования атомной структуры кристаллических железокремнистых сплавов, содержащих от 5 до 8 % кремния и подвергнутых разупорядочивающим воздействиям, проведено сравнение дифрактограмм от монокристаллических образцов сплава с дифрактограммами образца чистого α -железа. Установлено, что помимо брэгговских рефлексов от ОЦК решетки наблюдаются широкие диффузные пики. Поскольку вклад в диффузное рассеяние дают как области локального упорядочения атомов кремния в решетке железа, так и тепловые колебания атомов, то на этих же образцах были выполнены измерения рентгеновских дифрактограмм при температуре 190K или -83°C , которые позволили однозначно выделить из общей интенсивности диффузного рассеяния вклад ближнего упорядочения в расположении атомов. Ближнее упорядочение реализуется в виде $B2$ кластеров (структура CsCl), которые преимущественно образованы парами $B2$ ячеек, имеющих общую грань и несколько меньший размер, чем ячейки ОЦК решетки, и окружены растянутыми ячейками, компенсирующими сокращение $B2$ ячеек. $B2$ кластеры имеют анизотропную форму – они более протяженные вдоль оси $\langle 100 \rangle$ и центрированы парой атомов кремния, являющихся вторыми соседями. Результаты анализа рентгеновских дифрактограмм подтверждаются модельным построением атомной структуры сплава и расчетом диффузного рассеяния от нее.

Дискретный анализ ЯГР-спектров показал, что в образцах сплава после закалки от температуры разупорядочения имеет место аномально большое количество пар атомов кремния, расположенных на концах ребра кубической элементарной ячейки, в центре которой находится атом железа. Если рентгеновские дифрактограммы дают качественную картину локального упорядочения $B2$ типа, то анализ ЯГР-спектров – величину объемной доли локально упорядоченных областей сплавов. Следовательно, двумя прямыми структурными методами получены непротиворечивые, дополняющие данные о локальной атомной структуре неупорядоченных α -FeSi сплавов.

Второй раздел содержит результаты теоретического моделирования атомной структуры

магнитомягких железокремнистых сплавов, что позволило выяснить механизмы формирования и стабильности атомной структуры магнитомягких железокремнистых сплавов и объяснить результаты, полученные методами рентгеновской дифракции и ЯГР-спектроскопии. Например, показано, что в решетке α -железа при замещении атомов железа кремнием имеют место релаксационные смещения атомов в ближайших к примесным атомам координационных сферах (КС), которые зависят от конфигурации кластеров кремния, но, поскольку величина атомных смещений мала, деформационное взаимодействие не может быть причиной формирования ближнего порядка. В локальном окружении атома кремния имеют место вариации магнитного момента и сверхтонкого поля на атомах железа, что объясняет, например, расщепление координации без атомов кремния в первой КС атома железа на пять отдельных линий в дискретном разложении ЯГР-спектров. Показано, что магнитное состояние играет определяющую роль в формировании ближнего порядка в железокремнистом сплаве: в ферромагнитном состоянии в сплаве формируется ближний порядок типа $D0_3$, а при повышении температуры выше T_C , в парамагнитном состоянии более предпочтительным становится формирование ближнего порядка $B2$ типа. Пары атомов кремния – вторых соседей, которые характерны для ближнего порядка $B2$ типа, образуются в парамагнитном состоянии и сохраняются при охлаждении благодаря образованию ими устойчивого комплекса с вакансией, препятствующего их диссоциации диффузионным путем. Перестройка ближнего порядка из $B2$ в $D0_3$ требует термической активации и развивается постепенно в процессе отжига при $T < T_C$.

В **третьем разделе** представлены результаты исследования влияния термомагнитной или термомеханической обработки на локальную структуру магнитомягких железокремнистых сплавов. Показано, что в образцах сплава, предварительно подвергнутых термомагнитной или термомеханической обработке с целью наведения одноосной анизотропии магнитных свойств вдоль одной из осей легкого перемагничивания, имеет место анизотропия пространственного распределения областей с локальным упорядочением $B2$ типа, которая формируется при отжиге в постоянном магнитном поле или в поле механического напряжения и обеспечивается за счет преимущественной ориентации $B2$ кластеров вдоль оси магнитной анизотропии. При этом количество пар атомов кремния, являющихся вторыми соседями в ОЦК решетке, не увеличивается, следовательно, $B2$ кластеры не образуются во время отжига при температуре, меньшей, чем температура Кюри, а перераспределяются между осями легкого намагничивания $\langle 100 \rangle$ в пользу оси, параллельной направлению приложения магнитного поля или нагрузки. Таким образом впервые подтверждена гипотеза Нееля-Танигучи-Ямомото о направленном упорядочении атомов кремния в сплавах железо-кремний при наведении магнитной анизотропии.

Четвертый раздел посвящен исследованиям атомной структуры в ее корреляции с магнитными свойствами магнитомягких сплавов Fe-Si-Nb-Cu-B в аморфном и нанокристаллическом состоянии. Исследованы размеры и фазовый состав α -Fe(Si) зерен в исходном состоянии и после нанокристаллизующего отжига при концентрации кремния от 0 до 13.5 %, показано, что параметр ОЦК решетки нанокристаллов монотонно уменьшается по мере роста концентрации кремния. После термомеханической обработки в нанокристаллах сплава имеет место увеличение межплоскостных расстояний вдоль направления приложения растягивающего напряжения и их уменьшение в поперечном направлении, пропорциональные величине растягивающего напряжения. Установлено, что тип магнитной анизотропии, наведенной после ТМехО, полностью определяется объемной долей упорядоченной фазы Fe_3Si , которая имеет отрицательную магнитострикцию λ_{100} , поскольку намагниченность в нанокристаллах выстраивается вдоль или поперек направления приложения нагрузки при отжиге (или вдоль или поперек направления растяжения ОЦК решетки) в зависимости от знака константы тетрагональной

магнитострикции в нанокристаллах.

В Fe-Si-Nb-Cu-B сплаве при концентрации кремния 6 % в результате как термомагнитной обработки, так и термомеханической обработки наводится продольная магнитная анизотропия. Показано, что после ТМО эффект зависит от продолжительности отжига в магнитном поле, деформации нанокристаллов не обнаружены. В случае ТМехО магнитные свойства зависят от величины приложенной нагрузки. Наименьшая коэрцитивная сила и максимальная индукция получены при напряжениях 25 – 100 МПа. Деформации решетки нанокристаллов увеличиваются пропорционально приложенному напряжению. Показано, что зависимость растяжений и сжатий межплоскостных расстояний от напряжения полностью соответствует представлениям теории упругих деформаций для ОЦК кристаллов с учетом элементов кубической симметрии. Наиболее жестким является направление типа $\langle 111 \rangle$, наиболее податливым – $\langle 100 \rangle$, упругости вдоль других направлений имеют промежуточные значения. Степень анизотропии приобретенных нанокристаллами деформаций в несколько раз выше, чем можно было ожидать для кристаллов сплава железо-кремний.

Научная новизна результатов диссертационной работы

1. Для проведения исследований структуры бинарных сплавов на основе железа разработан и реализован комплексный подход, сочетающий детальный анализ распределения интенсивности диффузного рассеяния рентгеновских лучей и численное разложение Мессбауэровских спектров поглощения на вклады от координаций с разным количеством атомов кремния в первых двух – трех координационных сферах атома железа, что позволило получить принципиально новые данные об атомной структуре кристаллических железокремнистых сплавов:

1.1. В железокремнистых сплавах, содержащих от 5 до 10 % кремния, обнаружены субнанометровые локально упорядоченные кластеры, которые состоят из пары состыкованных гранями ячеек $B2$ фазы, имеющих общую грань, окруженной растянутыми ячейками α -железа.

1.2. При увеличении концентрации кремния до 8 % в сплаве появляются области с $D0_3$ локальным порядком (фаза α_1 со стехиометрией Fe_3Si), имеющие средний размер около 2 нм. Установлено, что $B2$ кластеры формируется при высоких температурах ($T > T_C$) и сохраняются при охлаждении, а при отжиге в ферромагнитном состоянии ($T < T_C$) увеличиваются размеры и объемная доля областей с $D0_3$ упорядочением.

1.3. Показано, что при термомагнитной или термомеханической обработке пары атомов кремния или пары ячеек с локальным упорядочением $B2$ типа преимущественно ориентируются вдоль направления приложения магнитного поля или растягивающего напряжения, что является прямым подтверждением справедливости гипотезы Нееля-Танигучи-Ямомото.

1.4. Показано, что при наведении магнитной анизотропии в процессе термических обработок в постоянном магнитном поле или в поле механического напряжения, количество пар атомов кремния существенно не изменяется, следовательно, что эффект достигается за счет их перераспределения и направленного упорядочения.

2. На основе первых принципов проведено моделирование механизма формирования ближнего порядка в железокремнистых сплавах и установлена определяющая роль магнитного состояния сплава на характер локального упорядочения.

3. Доказана роль анизотропных $B2$ кластеров в улучшении или ухудшении магнитомягких свойств и стабилизации или дестабилизации доменной структуры сплавов при разных условиях термических обработок, таких как закалка или медленное охлаждение, отжиг в переменном или вращающемся поле и т. п.

4. Построена феноменологическая модель механизма формирования наведенной при отжиге под

нагрузкой магнитной анизотропии в нанокристаллических сплавах Fe-Si-Nb-Cu-B. Показано, что в ее основе лежит магнитоупругий обратный магнитострикционный эффект Виллари, а тип анизотропии полностью определяется объемной долей упорядоченной фазы Fe_3Si , характеризующейся отрицательной величиной тетрагональной магнитострикции.

5. Проанализирована термическая стабильность остаточных деформаций и магнитных свойств нанокристаллических сплавов Fe-Si-Nb-Cu-B, полученных в результате отжига под действием растягивающей нагрузки.

Основные результаты диссертационной работы изложены в 24 статьях в ведущих рецензируемых российских и зарубежных научных журналах, включенных ВАК в Перечень ведущих рецензируемых журналов, и в одной главе монографии «Nanocrystal».

Достоверность результатов и обоснованность выводов

Достоверность результатов экспериментальных исследований обеспечивается применением методов прецизионной металлургии для получения особо чистых железокремнистых сплавов, использованием многократно апробированных методов термических обработок образцов сплавов для наведения магнитной анизотропии, высоким уровнем экспериментов по рентгеновской дифракции и ядерной гамма-резонансной спектроскопии, проведенных на современном научном оборудовании с использованием как традиционных, так и оригинальных, тщательно апробированных статистических методов обработки экспериментальных данных с целью извлечения структурной информации. Результаты, полученные разными методами на одних и тех же образцах, не противоречат друг другу, являются взаимодополняющими и характеризуются хорошей воспроизводимостью. Достоверность результатов первопринципных расчетов обеспечивается использованием достаточно надежных и многократно апробированных теоретических методов. Результаты находятся в соответствии с экспериментальными данными и согласуются с имеющимися ранее результатами первопринципных расчетов, полученными другими авторами для магнитомягких сплавов железа, а также с результатами моделирования, проведенного в рамках данной работы.

Практическая значимость полученных результатов

Приведенные в диссертационной работе Ершова Н. В. результаты исследований атомной структуры железокремнистых сплавов в кристаллическом и нанокристаллическом состояниях, закономерностей ее формирования, механизмов наведения магнитной анизотропии представляют собой существенный вклад в развитие физики конденсированного состояния и физики магнитных явлений и дают возможность перейти к этапу целенаправленного формирования требуемых свойств магнитомягких материалов и обеспечения их высокой термической стабильности.

Результаты, приведенные в диссертационной работе Н. В. Ершова, будут безусловно полезны для таких признанных российских научных центров как Институт физики металлов имени М. Н. Михеева УрО РАН и Институт естественных наук и математики Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (г. Екатеринбург), Физико-технический институт имени А. Ф. Иоффе (г. Санкт-Петербург), Институт физики имени Л. В. Киренского СО РАН (г. Красноярск), Институт металлургии УрО РАН (г. Екатеринбург), Институт физики твердого тела РАН (г. Черноголовка, Московская обл.), Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (г. Москва), «Челябинский государственный университет» (г. Челябинск), Южно-Уральский государственный университет «Национальный исследовательский университет» (г. Челябинск), Институт электрофизики УрО РАН (г. Екатеринбург), Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Федеральный

научно-исследовательский центр «Кристаллография и фотоника» РАН (г. Москва), Физико-технический институт Уральского отделения РАН (г. Ижевск), Институт физики Казанского (Приволжского) федерального университета, Институт инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского федерального университета (г. Красноярск).

Замечания по диссертационной работе

При общей весьма высокой оценке качества полученного материала, продуманности и подробности изложения, следует обратить внимание автора на следующие замечания:

- 1 – Защищаемые положения в тексте диссертации и автореферате излишне детализированы.
- 2 – Из текста диссертации неясно (не прописана процедура) как проводился учет функции разрешения рентгеновского дифрактометра (в том числе и от угла рассеяния) при обработке результатов по исследованию диффузного рассеяния и как учитывался вклад в уширение спектра линии $K_{\alpha 2}$.
- 3 – Автор в тексте часто использует выражения «МНК разложение» и «МНК аппроксимация», что неправильно по сути, так метод наименьших квадратов – это инструмент проведения подгонки данных, а само разложение (т.е. гипотеза и вид подгоночных функций) в него закладывается извне и самим этим методом никак не определяются. В случае же «МНК аппроксимации» автор, по-видимому, имеет ввиду, что процедура сглаживания полученных кривых проводилась с использованием МНК.
- 4 – На стр. 215 сказано: «Поэтому структура сплава в исходном состоянии может быть определена как мелкозернистая, высоко дефектная ОЦК структура с размерами зерен около 2 нм. Это утверждение подтверждается тем фактом, что широкие диффузные максимумы расположены близко к расчетным позициям для ОЦК рефлексов, которые показаны треугольниками на рисунке 4.14.»
Остается непонятным откуда сделан вывод о высокой дефектности ОЦК структуры и какие дефекты имеются ввиду.
- 5 – В тексте присутствует незначительное количество опечаток, неточностей формулировок (стр. 70 – «на правой стороне широкого пика (300) появляется узкая особенность», стр. 252 – «Их распределение по кристаллографическим направлениям характеризуются острой анизотропией» - что означает острая анизотропия и каков критерий её «остроты») и «жаргонизмов» (например, стр. 68, 69 – «подвергались закалке в воду»).

Заключение (выводы о работе)

Диссертационная работа Ершова Николая Владимировича «Закономерности формирования атомной структуры магнитомягких железокремнистых сплавов» представляет собой научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в развитии физики магнитомягких сплавов на основе железа, изложены новые научно обоснованные представления о формировании атомной структуры железокремнистых сплавов в кристаллическом и нанокристаллическом состоянии, которые дают возможность целенаправленного формирования свойств магнитомягких материалов и обеспечения их высокой термической стабильности, являются основой для разработки лабораторных технологий получения магнитомягких материалов с оптимальным сочетанием магнитных свойств, перспективных для применения в высокотехнологических отраслях промышленности Российской Федерации.

Диссертационная работа соответствует пункту 1 – «Теоретическое и экспериментальное изучение физической природы свойств металлов и их сплавов, неорганических и органических

состоянии в зависимости от их химического, изотопного состава, температуры и давления» Паспорта научной специальности 01.04.07 - Физика конденсированного состояния.

По актуальности темы исследования, объему выполненных исследований, научной новизне, практической значимости и достоверности полученных результатов, обоснованности выводов и положений представленная диссертационная работа соответствует критериям, перечисленным в Постановлении Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 "О порядке присуждения ученых степеней" (с изменениями, внесенными Постановлением Правительства РФ от 21 апреля 2016 г. № 335), предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Ершов Николай Владимирович, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07 - Физика конденсированного состояния.

Доклад Ершова Н.В. по материалам диссертационной работы заслушан на Объединенном научном семинаре Отделения физики диэлектриков и полупроводников Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук (ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН). Отзыв на диссертационное исследование Ершова Николая Владимировича подготовлен старшим научным сотрудником лаборатории нейтронных исследований ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН, доктором физико-математических наук Набережновым Александром Алексеевичем. Отзыв обсужден и одобрен объединенным научным семинаром Отделения физики диэлектриков и полупроводников 21.11.2019, протокол № 4.

Старший научный сотрудник
лаборатории нейтронных исследований
Отделения Физики Диэлектриков и
Полупроводников, доцент,
доктор физ.-мат. наук

А. А. Набережнов

Почтовый адрес: 194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 26
Тел.: (812) 292-79-99
E-mail: alex.nabereznov@mail.iofte.ru

Руководитель Отделения Физики
Диэлектриков и Полупроводников,
доктор физ.-мат. наук

И. А. Соколов

Белкина А.А. удостоверяю
дров ФТИ им.А.Ф.Иоффе

Залеская С.Ю.

С отзывом ознакомлен

/ Н.В.Ершов /

15 января 2020 года

И.А. Соколов удостоверяю
ров ФТИ им.А.Ф.Иоффе

Залеская С.Ю.

Сведения о ведущей организации

по диссертации Ершова Николая Владимировича

«Закономерности формирования атомной структуры магнитомягких железокремнистых сплавов» по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук.

Полное наименование организации в соответствии с Уставом	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук
Сокращенное наименование организации в соответствии с Уставом	ФТИ им. А.Ф. Иоффе
Почтовый индекс, адрес организации	194021, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 26.
Телефон	(812) 297-2245
Адрес электронной почты	post@mail.ioffe.ru
Веб-сайт	http://www.ioffe.ru

Список основных публикаций ведущей организации, близких к теме диссертации соискателя, в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. Камзин А.С., Bingolbali A., Dovgan N., Yesil Z., Asilturk M., "Магнитная структура наночастиц NiFe_2O_4 " // Письма ЖТФ, 2019 - 45(19), 51-54.
2. Камзин А.С., Obaidat I.M., Валлиулин А.А., Семенов В.Г., Al-Omari I.A., Nayek C., "Мессбауэровские исследования структуры наночастиц $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{gamma-Fe}_2\text{O}_3$ типа ядро/оболочка" // Письма ЖТФ, 2019 - 45(9), 6-9.
3. Михайлин Н.Ю., Шамшур Д.В., Парфеньев Р.В., Козуб В.И., Гальперин Ю.М., Кумзеров Ю.А., Фокин А.В., "Размерные зависимости магнитных свойств сверхпроводящих наноструктур свинца в пористом стекле" // ФТТ, 2018 - 60(6), 1058-1061.
4. Kharitonskii P., Kamzin A., Gareev K., Valiullin A., Vezo O., Sergienko E., Korolev D., Kosterov A., Lebedev S., Gurylev A., Reinyuk A., "Magnetic granulometry and Mossbauer spectroscopy of $\text{Fe}_m\text{O}_n\text{-SiO}_2$ colloidal nanoparticles" // J. Magn. Magn. Mater., 2018 - 461, 30-36.
5. Naberezhnov A.A., Nacke B., Nikanorov A., Koroleva E.Y., Vanina P., Alekseeva O., Tom-kovich M.V., Andreeva N., "Properties and structure of magnetic alkali-borosilicate glasses prepared by induction melting" // J. Phys.: Conf. Ser., 2018 - 1134(1), #012043.
6. Shen H., Xian Q., Xie T., Wu A., Wang M., Xu J., Jia R., Kalashnikova A.M., "Modulation of magnetic transitions in SmFeO_3 single crystal by Pr^{3+} substitution" // J. Magn. Magn. Mater., 2018 - 466, 81-86.

7. Prosnikov M.A., Smirnov A.N., Davydov V.Y., Pisarev R.V., Lyubochko N.A., Barilo S.N., "Magnetic dynamics and spin-phonon coupling in the antiferromagnet Ni_2NbBO_6 " // Phys. Rev. B, 2018 - 98(10), ArtNo: #104404
8. Prosnikov M. A., Davydov V.Y., Smirnov A.N., Volkov M.P., Pisarev R.V., Becker P., Bohaty L., "Lattice and spin dynamics in a low-symmetry antiferromagnet NiWO_4 " // Phys. Rev. B, 2017 - 96(1) ArtNo: #014428
9. Prosnikov M.A., Smirnov A.N., Davydov V.Yu., Sablina K.A., Pisarev R.V., "Lattice and magnetic dynamics of a quasi-one-dimensional chain antiferromagnet PbFeBO_4 " // J. Phys.: Condens. Matter, 2017 - 29(2), ArtNo: #025808
10. Linnik T.L., Kats V.N., Jager J., Salasyuk A.S., Yakovlev D.R., Rushforth A.W., Akimov A.V., Kalashnikova A.M., Bayer M., Scherbakov A.V., "The effect of dynamical compressive and shear strain on magnetic anisotropy in a low symmetry ferromagnetic film" // Phys. Scr., 2017 - 92(5), ArtNo: #054006
11. Andreeva N., Tomkovich M., Naberezhnov A., Nacke B., Filimonov A., Alekseeva O., Vanina P., Nizhankovskii V., "SEM and AFM studies of two-phase magnetic alkali borosilicate glasses" // Sci. World J., 2017 - 2017 ArtNo: #9078152
12. Набережнов А.А., Ryukhtin V., Сысоева А.А., "Внутренняя структура магнитных пористых стекол и сегнетоэлектрических нанокompозитов на их основе" // ФТТ, 2017 - 59(2), 367-372
13. Усков А.В., Нефедов Д.Ю., Парная Е.В., Подорожкин Д.Ю., Антоненко А.О., Haase J., Michel D., Lee M.K., Chang L.J., Кумзеров Ю.А., Фокин А.В., Бугаев А.С., "Динамический сдвиг линий ЯМР в наноструктурированном расплаве Ga-In-Sn" // ФТТ, 2017 - 59(12), 2452-2456.
14. Мелех Б.Т., Курдюков Д.А., Явсин Д.А., Кожевин В.М., Гуревич С.А., Гастев С.В., Волков М.П., Ситникова А.А., Яговкина М.А., Певцов А.Б., "Наноструктурированные магнитные пленки оксидов железа, полученные методом лазерного электродиспергирования" // Письма ЖТФ, 2016 - 42(19), 62-69.
15. Kumar E.R., Kamzin A.S., Janani K., "Effect of annealing on particle size, microstructure and gas sensing properties of Mn substituted CoFe_2O_4 nanoparticles" // J. Magn. Magn. Mater., 2016 - 417, 122-129.

Зам. директора по научной работе

доктор физ.-мат. наук

15.01.2020



П.Н. Брунков

Исполнитель: д.ф.-м.н. Набережнов Александр Алексеевич, с.н.с., лаборатория нейтронных исследований, тел. 9217503583, эл. почта: alex.nabereznov@mail.ioffe.ru