

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.133.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ФИЗИКИ
МЕТАЛЛОВ ИМЕНИ М.Н. МИХЕЕВА УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (ИФМ УрО РАН)
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ
НАУК**

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 02.02.2024, № 1

О присуждении Чупракову Станиславу Александровичу, гражданину России, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Структура и интерфейсы кобальтсодержащих сверхрешёток и нанопроволок по данным ядерного магнитного резонанса» по специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений принята к защите 17.11.2023, протокол № 15, диссертационным советом 24.1.133.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук (ИФМ УрО РАН), Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 620108, Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 18, приказы Минобрнауки РФ № 714/нк от 02.11.2012 и № 188/нк от 26.02.2015.

Соискатель Чупраков Станислав Александрович, 1989 года рождения, в 2011 году окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», ему присуждена квалификация «Физик» по специальности «Физика». Чупраков С.А. освоил программу подготовки научно-

педагогических кадров в очной аспирантуре при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург, год окончания аспирантуры 2014, работает в должности научного сотрудника лаборатории диффузии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург.

Диссертация выполнена в лаборатории диффузии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург.

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, Оглобличев Василий Владимирович, заведующий лабораторией диффузии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург.

Официальные оппоненты:

1) Еремина Рушана Михайловна, доктор физико-математических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории радиоспектроскопии диэлектриков Казанского физико-технического института им. Е.К. Завойского – обособленного структурного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук» (КФТИ – обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН), г. Казань;

2) Свистов Леонид Евгеньевич, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физических проблем им. П.Л. Капицы Российской академии наук (ИФП РАН), г. Москва.

– дали положительные отзывы на диссертацию С.А. Чупракова.

Ведущая организация Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», (ФГАОУ ВО

«УРФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина») г. Екатеринбург в своем положительном заключении, подписанном Кудреватых Николаем Викторовичем, доктором физико-математических наук, заведующим отделом магнетизма твёрдых тел НИИ ФПМ, указала, что «диссертация Чупракова С.А. «Структура и интерфейсы кобальтсодержащих свёрхрешёток и нанопроволок по данным ядерного магнитного резонанса» является научно-квалификационной работой и соответствует всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертационным работам в соответствии с пунктами 9-14 Положения о присуждении учёных степеней, утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 № 842 (с последующими изменениями). Автор представленной работы, Чупраков Станислав Александрович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений».

Соискатель имеет 27 (14.67 п.л.) опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 19 работ, из них статей, опубликованных в рецензируемых российских и зарубежных научных изданиях и входящих в перечень ВАК – 8, тезисов докладов в материалах российских и международных конференций – 11.

В результате проведенных исследований, автором были решены задачи по экспериментальному определению особенностей структуры и интерфейсов кобальтсодержащих свёрхрешёток Co/Cu в зависимости от числа бислоёв, режима термообработки, типа буферного слоя и толщины немагнитного слоя, а также гомогенных нанопроволок из чистого Co, гомогенных нанопроволок $\text{Co}_{80}\text{Cu}_{20}$ и гетерогенных нанопроволок Co/Cu методом ядерного магнитного резонанса и описанию особенностей структуры и интерфейсов этих объектов с помощью трёхмерного моделирования.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Interface structure and magnetoresistance studies of $[\text{Co/C}]_n$ superlattices by means of NMR and TEM / S. A. Chuprakov, T. P. Krinitsina, N. S. Bannikova, I. V. Blinov, S. V. Verkhovskii, M. A. Milyaev, V. V. Popov, V. V. Ustinov. – Текст : непосредственный // Solid State Phenomena. 2014. – Т. 215.– С. 358–363.

2. Исследование интерфейсов многослойных структур Co/Cu методом ядерного магнитного резонанса / С. А. Чупраков, Н. С. Банникова, И. В. Блинов, Т. П. Криницина, М. А. Миляев, В. В. Попов, В. В. Устинов. – Текст: непосредственный // ФММ. – 2015. – Т. 116, № 2. – С. 145-149.

3. Исследование структуры межслойных границ в сверхрешётках $[\text{Co/Cu}]_{10}$ методами ЯМР и рентгеновской рефлектометрии / С. А. Чупраков, Н. С. Банникова, И. В. Блинов, Т. П. Криницина, М. А. Миляев, В. В. Попов, В. В. Устинов. – Текст: непосредственный // ФММ. – 2016. – Т. 117, № 12. – С. 1241–1246.

4. Nuclear magnetic resonance and X-ray reflectometry of Co/Cu superlattices / S. Chuprakov, N. Bannikova, I. Blinov, T. Krinitsina, M. Milyaev, V. Popov, V. Ustinov. – Текст: непосредственный // Applied Magnetic Resonance. – 2019. – Т. 50, № 1. – С. 415-423.

5. Влияние состояния интерфейсов на магниторезистивные свойства сверхрешёток Co/Cu / С. А. Чупраков, Н. С. Банникова, И. В. Блинов, Т. П. Криницина, М. А. Миляев, В. В. Попов, М. В. Рябухина, В. В. Устинов. – Текст: непосредственный // ФММ. – 2018. – Т. 119, № 4. – С. 327-333.

6. Исследование кобальтсодержащих нанопроволок различных типов методом ЯМР / С. А. Чупраков, И. В. Блинов, Д.Л. Загорский, Д.А. Черакосов. – Текст: непосредственный // ФММ. – 2021. – Т. 122, № 9. – С. 933–939.

7. Особенности синтеза, структура, магнитометрия и ЯМР-спектроскопия нанопроволок различных типов / Д. Л. Загорский, И. М. Долуденко, Р. И. Хайбуллин, С. А. Чупраков, А. А. Гиппиус, С. В. Журенко, А. В. Ткачев, Д. А. Черкасов, О. М. Жигалина, Д. Н. Хмеленин, В. М. Каневский, А. Э. Муслимов, Д. В. Панов, И. В. Блинов. – Текст: непосредственный // Физика твёрдого тела. – 2022. – Т. 64. – С. 1153–1161.

8. Effect of State of Interface Boundaries on the Magnetoresistive Properties of Layered Co/Cu Nanostructures / S. A. Chuprakov, N. S. Bannikova, I. V. Blinov, M. A. Milyaev, V. V. Ogloblichev, V. V. Popov, V. V. Ustinov. – Текст: непосредственный // Applied Magnetic Resonance. – 2022. – V. 53. – P. 1621–1632.

На диссертацию и автореферат поступило 7 отзывов:

1. От кандидата химических наук, Кодесса Михаила Исааковича, старшего научного сотрудника, и.о. заведующего лабораторией спектральных методов исследования ИОС УрО РАН, г. Екатеринбург.

Замечание: «В качестве небольшого замечания можно отметить, что в автореферате во многих случаях не приводится температура измерения спектров ЯМР. На стр. 8, предваряя рисунок 3, автор указывает, что спектры ЯМР записаны при температуре 4.2 К, однако во всех остальных случаях читателю предстоит самому догадываться о температуре измерения, в том числе и в главе 6 при обсуждении результатов исследования кобальтсодержащих нанопроволок».

2. От доктора химических наук, Келлерман Дины Георгиевны, главного научного сотрудника лаборатории квантовой химии ИХТТ УрО РАН, г. Екатеринбург.

Замечание 1: «В качестве одной из задач работы указано создание датчика для исследования кобальтсодержащих сверхрешёток и нанопроволок методом ядерного магнитного резонанса. На мой взгляд, было бы полезно привести в тексте автореферата информацию о разработанном датчике».

Замечание 2: «В тексте широко используется «высокосовершенная граница». Каковы численные критерии, используемые для оценки «совершенства»?».

3. От доктора технических наук, Иванова Дмитрия Алексеевича, заведующего кафедрой «Промышленная электроника» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань.

Замечание 1: «В тексте автореферата не отражено в явном виде выполнение поставленной задачи диссертационного исследования «1. Создать датчик и поставить методику исследования кобальтсодержащих сверхрешёток и нанопроволок методом ядерного магнитного резонанса»».

Замечание 2: «В автореферате не указано, осуществлялось ли выполнение диссертационного исследования в соответствии с планами и заданиями госбюджетных НИР, хоздоговорных и прикладных исследований, что создаёт впечатление о недостаточной актуальности проведённых исследований».

Замечание 3: «Непонятно, почему в списке авторских публикаций в работах A10, A11, A12, A14, A16, A19 и A19 подчёркнуты фамилии соавторов».

4. От кандидата физико-математических наук, Барило Сергея Николаевича, ведущего научного сотрудника лаборатории оксидных материалов Института физики твёрдого тела и полупроводников, Научно-практического центра по материаловедению, Национальной академии наук Беларуси, г. Минск.

Замечание 1: «В качестве замечания можно заметить ссылку (на английском языке) на статью в российском журнале ФММ».

5. От кандидата физико-математических наук, Алакшина Егора Михайловича, доцента кафедры квантовой электроники и радиоспектроскопии ФГАОУ ВО Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань.

Замечание 1: «В тексте нет указаний некоторых сокращений: гранецентрированная (ГЦК), гексагональная плотноупакованная (ГПУ), нанопроволоки (НП)».

Замечание 2: «На рисунке 2 приведены рефлектограммы серии сверхрешёток. В тексте автор, обсуждая эти данные, говорит о сохранении положения первого брэгговского пика вблизи угла $2\theta = 4,6^\circ$, однако, на рефлектограммах заметно

изменение значения угла от $4,6^\circ$ при $n=40$ до $4,8^\circ$ при $n=10$. Хотелось бы получить комментарии автора о возможных причинах данных изменений».

Замечание 3: «В работе местами не отображены погрешности на графиках. Так, например, на рисунке 12 отображена зависимость шероховатости интерфейсов Co/Cu от толщины медного слоя t_{Cu} для свехрешёток стекло//Fe(5нм)/[Co(1,5нм)/Cu(t_{Cu})]₁₀/Cr(2нм), при $t_{Cu} = 0,85, 0,93, 2,28, 2,7$ нм, где минимальное значение наблюдается при $t_{Cu}=0,93$ нм, а не при 0,85. Данный факт может быть интерпретирован как за счёт ошибок, так и непосредственно изменений в образце (уменьшение шероховатости при изменении t_{Cu} от 0,85 до 0,93)».

Замечание 4: «На рисунке 21 наблюдается существенное расхождение интенсивности пика I_z для теоретических и экспериментальных кривых. К сожалению, автор никак не комментирует данное расхождение».

Замечание 5: «В работе присутствуют пунктуационные ошибки и опечатки, в некоторых предложениях пропущены целые слова и предлоги».

6. От кандидата физико-математических наук, Вавиловой Евгении Леонидовны старшего научного сотрудника отдела физики перспективных материалов КФТИ – обособленного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН, г. Казань

Замечание 1: «В качестве замечаний хотелось бы отметить, что несмотря на то, что первой в списке задач, решенных диссертантом, указано создание датчика и постановка методики исследования кобальтсодержащих свехрешёток и нанопроволок методом ядерного магнитного резонанса, в автореферате нет ни слова о найденном решении этой задачи».

Замечание 2: «Также ничего не говорится о методике расчета локальных магнитных полей при моделировании спектров на основе того или иного варианта локальной кристаллической структуры интерфейса».

Замечание 3: «Подписи к рисункам иллюстрирующие модели структуры интерфейсов не содержат расшифровки цветовых обозначений типов ионов».

7. От доктора физико-математических наук, Балаева Дмитрия Александровича, директора Федерального исследовательского центра «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», г. Красноярск.

Замечание 1: «В задачах диссертационной работы было «создать датчик и поставить методику исследования ... Методом ядерного магнитного резонанса». К сожалению, информации об этом датчике и о методике в автореферате нет. Не вызывает

сомнений, что это задача была выполнена, иначе не было бы и экспериментальных данных, но на мой взгляд, информация об эксперименте дала бы большее представление о проделанной работе».

Выбор официальных оппонентов доктора физико-математических наук, Р.М. Ереминой и доктора физико-математических наук Л.Е. Свистова, а также ведущей организации Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», (ФГАОУ ВО «УРФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина») г. Екатеринбург обосновывается публикациями оппонентов, тематикой структурного подразделения ведущей организации, относящимися к сфере исследований, которым посвящена диссертация.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1. С использованием метода ЯМР установлена корреляция между размерными параметрами плёночной структуры типа Co/Cu, условиями термообработки, шероховатостью межслойных интерфейсов и величиной гигантского магнитосопротивления (ГМС). Сделано заключение об оптимальном сочетании указанных факторов, позволяющих получить сверхрешётки Co/Cu с высокими значениями эффекта ГМС.
2. Выполнен прецизионный анализ структурного состояния нанопроволок на основе Co. В частности, показано, что структура нанопроволок из чистого Co является двухфазной и содержит ГПУ и ГЦК модификации Co, а введение Cu до 20 ат.% подавляет ГПУ-фазу и приводит к образованию гетерогенной микроструктуры, включающей кластеры меди размером около 30 атомов. В нанопроволоках со слоистой структурой типа Co/Cu шероховатость интерфейсов превосходит шероховатость интерфейсов в сверхрешётках Co/Cu.

3. Построены трёхмерные модели межслойных границ в сверхрешётках типа Co/Cu и кластеров меди в нанопроволоках Co-Cu, позволяющие адекватно описывать экспериментальные спектры ядерного магнитного резонанса (ЯМР).

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что полученные в настоящей работе результаты дополняют и развивают современные представления об особенностях формирования и строения межслойных границ и влияния их на величину магнитосопротивления в магнитных сверхрешётках.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что продемонстрирована эффективность использования метода ядерного-магнитного резонанса для изучения особенностей строения межслойных границ в магнитных сверхрешётках и нанопроволоках, а также структурных особенностей кобальтсодержащих нанопроволок. Построены трёхмерные модели интерфейсов сверхрешёток Co/Cu и кобальтсодержащих нанопроволок, позволяющие интерпретировать экспериментальные спектры ядерного-магнитного.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что экспериментальные исследования, представленные в диссертационной работе, проведены с помощью метрологически аттестованного оборудования и апробированных методик. Выводы, приведенные в работе, не противоречат литературным данным, опубликованным в открытой печати.

Личный вклад соискателя состоит в том, что постановка задач исследования проводилась диссертантом Чупраковым С.А. совместно с научным руководителем Оглобличевым В.В. Автор лично проводил регистрацию спектров ЯМР, моделирование спектров ЯМР, моделирование рефлектограмм, разработку трёхмерных моделей. Автор принимал непосредственное участие в обсуждении результатов, изложенных в диссертации, в формулировке ее основных положений и выводов, в

обобщении и опубликовании полученных результатов. Датчик ЯМР разработан и изготовлен автором совместно с Верховским С.В. и Матвеевым С.А. Магнитометрические измерения были выполнены Банниковой Н.С. на оборудовании лаборатории квантовой наноспинтроники ИФМ УрО РАН. Электронно-микроскопические измерения проведены Кринициной Т.П. Запись рентгеновских дифрактограмм и рефлектограмм проведена Макаровой М.В. Все электронно-микроскопические и рентгеноструктурные измерения выполнены в Центре коллективного пользования ИФМ УрО РАН. Нанопроволоки предоставлены Загорским Д.Л. (ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН). Обсуждение всех результатов исследований были выполнены автором совместно с научным руководителем Оглобличевым В.В., Поповым В.В., а также Миляевым М.А. и Устиновым В.В. Материал диссертации неоднократно докладывался автором лично на международных и российских конференциях.

Диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, посвящённую изучению методом ядерного магнитного резонанса особенностей структуры и интерфейсов кобальтсодержащих сверхрешёток Co/Cu в зависимости от числа бислоёв, режима термообработки, типа буферного слоя и толщины немагнитного слоя, гомогенных нанопроволок из чистого Co, гомогенных нанопроволок CoCu и гетерогенных нанопроволок Co/Cu, и соответствует критериям «Положения о присуждении ученых степеней» в редакции, утвержденной Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 с последующими изменениями.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

На заседании 02.02.2024, проведённом в очном режиме, диссертационный совет принял решение присудить Чупракову Станиславу Александровичу учёную степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 5 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации 1.3.12. Физика магнитных явлений, 5 докторов наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния, 4 доктора наук по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту – нет, проголосовали: «за» – 14, «против» – нет, «недейств.» – нет.

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



А.П. Носов

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

Т.Б. Чарикова

05 февраля 2024 г.