

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ФТИ 34.01.02
ПРИ ФЕДЕРАЛЬНОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ БЮДЖЕТНОМ УЧРЕЖДЕНИИ
НАУКИ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ ИМ. А.Ф. ИОФФЕ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 19.01.2023 г. № 1

О присуждении Кавееву Андрею Камильевичу, гражданину РФ, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация **«Синтез и структурно-стимулированные особенности эпитаксиальных гибридных магнитных наносистем»** по специальности «1.3.11. Физика полупроводников» принята к защите 29 сентября 2022 г., (протокол № 6) диссертационным советом ФТИ 34.01.02 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, расположенном по адресу: 194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 26, утвержденным 12 июля 2019 г. приказом директора ФТИ им. А.Ф. Иоффе № 75.

Соискатель Кавеев Андрей Камильевич, 1978 года рождения, в 2001 году окончил Санкт-Петербургский государственный технический университет по направлению «техническая физика», проходил обучение в аспирантуре ФТИ им. А.Ф. Иоффе с 2001 по 2004 г., защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Выращивание методом молекулярно-лучевой эпитаксии и изучение свойств метастабильных фаз в гетероструктурах на основе фторидов и металлов на кремнии» в 2005 году в

специализированном совете Д 002.205.01 при Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния. Соискатель работает в должности старшего научного сотрудника Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физико-технического институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук. Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, расположенном по адресу 194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 26.

Официальные оппоненты:

1. Мухин Иван Сергеевич, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией Возобновляемых источников энергии, Санкт-Петербургский национальный исследовательский Академический университет им. Ж.И. Алфёрова РАН; адрес: 194021, Санкт-Петербург, улица Хлопина, 8, к.3, лит. А

2. Журихина Валентина Владимировна, доктор физико-математических наук, профессор, доцент Высшей школы фундаментальных физических исследований, Физико-механический институт, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого; адрес: 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29.

3. Дорохин Михаил Владимирович, доктор физико-математических наук, доцент кафедры физического материаловедения, заведующий лабораторией Спиновой и оптической электроники, Нижегородский государственный университет имени Н. И. Лобачевского; адрес: 603950, Нижний Новгород, просп. Гагарина 23, корп. 3.

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», адрес: 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб. д. 7/9 – в своем положительном заключении,

подписанном заведующим кафедрой электроники твердого тела физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», д.ф.-м.н., профессором Барабаном Александром Петровичем, а также в.н.с. лаборатории электронной и спиновой структуры наносистем Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», к.ф.-м.н. Рыбкиным Артемом Геннадиевичем, утвержденном проректором по научной работе С.В. Микушевым, отметила, что диссертационное исследование Кавеева Андрея Камильевича является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится новое решение научной проблемы, имеющей важное значение для развития научного направления на стыке физики полупроводников, диэлектриков и магнетиков.

В отзыве содержится 7 замечаний, которые носят методический или дискуссионный характер:

1. При демонстрации экспериментальных ФЭСУР-карт автор не приводит направления в поверхностной зоне Бриллюэна, вдоль которых данные карты были измерены;

2. При осаждении атомов металла на подогретую подложку и оценке полученных толщин автор не учитывает различные коэффициенты прилипания к поверхности образца и поверхности кварцевых микровесов;

3. При анализе РФЭС-спектров автор не проводит разложения основных уровней на компоненты, не оценивает толщины и глубину залегания отдельных элементов. Данная информация была бы полезна при структурной характеристике выращенных систем;

4. На рис. 4.5 (д) приводится расчёт зонной структуры, но не совсем ясно, для какой ячейки он был получен;

5. На рис. 4.6 (б) автор однозначно сопоставляет знак измеренного дихроизма знаку спиновой компоненты вдоль поверхности, однако для данного

сопоставления требуется расчет картины дихроизма для данной конкретной энергии фотонов;

6. На изображениях с морфологией поверхности автор хоть и указывает общий масштаб по высоте, но для оценки высоты ступенек или иных структур на изображении не хватает цветовой палитры или линейных профилей вдоль поверхности;

7. Текст диссертации недостаточно хорошо вычитан и отредактирован, в нем имеются опечатки, встречаются неудачные выражения и нерасшифрованные аббревиатуры.

В отзыве указано, что эти замечания носят частный характер и не затрагивают принципиальных положений и выводов диссертации, не снижают общей высокой оценки в целом. В диссертационной работе получен обширный экспериментальный материал по синтезу квазидвумерных эпитаксиальных систем, что является существенным шагом в создании новых материалов, необходимых для наблюдения и исследования таких эффектов, как квантовый аномальный эффект Холла, эффект гигантского магнитосопротивления, эффект туннельного магнитосопротивления и спин-орбитальный торк-эффект.

Работа соответствует всем требованиям Положения Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, а её автор, Кавеев Андрей Камильевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.11 - «Физика полупроводников».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обусловливался сходством тематик работ, проводимых ведущей организацией и оппонентами, с тематикой диссертационной работы.

На автореферат поступило 7 отзывов, все отзывы **положительные**:

1) Отзыв кандидата физико-математических наук **Волкова Михаила Павловича**, заведующего Лабораторией кинетических явлений в твердых телах при низких температурах ФГБУН Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе Российской академии наук (ФТИ им. А.Ф. Иоффе, адрес: 194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 26). Отзыв положительный, содержит два замечания:

а) Приведенные результаты исследования пленочных структур в значительной мере основаны на совместном использовании целого ряда структурно-чувствительных диагностических методик. Следовало бы более подробно рассмотреть особенности использования этих методик для характеристики конкретных пленочных систем.

б) Чтение автореферата затруднено из-за чрезмерного использования аббревиатур – встречаются фразы с одновременным использованием 6 аббревиатур.

2) Отзыв доктора физико-математических наук **Климова Александра Эдуардовича**, главного научного сотрудника Лаборатории физики и технологии гетероструктур ФГБУН Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения Российской академии наук (630090 Новосибирск, пр-т Ак. Лаврентьева, 13). Отзыв положительный, содержит два замечания:

а) Автор, на мой взгляд, злоупотребляет аббревиатурами, которые не всегда вводятся при их первом упоминании, например, стр. 12, строки 3 и 4 снизу, стр. 15, 1-й абзац.

б) Используемая местами терминология выглядит неудачной, например, «приповерхностный стехиометрический состав» (стр. 8, 3-я строка снизу), «степень планарности» (п.2 на стр. 8 и п.2 на стр. 29). При этом для «степени планарности» на стр. 8 и стр. 29 приведены отличающиеся значения: «...до 5мкм x 5мкм x 4 нм...» (стр. 8) и «...4x4 мкм с отклонением до 4 нм...». Поверхностные состояния на стр. 8 упоминаются как в единственном, так и во

множественном числе (последние строки п.2 и п.4, соответственно). Словосочетание во втором абзаце на стр. 12 «...внесен вклад в проблему...» неудачно.

3) Отзыв кандидата физико-математических наук, **Свердлова Виктора Анатольевича**, Privatdoz. Dr.Habil. MSc PhD Director Christian Doppler Laboratory for Nonvolatile Magnetoresistive Memory and Logic TU Wien - Institute for Microelectronics (Gubhausstraße 27-29 / E360 A-1040 Vienna, Austria). Отзыв положительный, без замечаний.

4) Отзыв кандидата физико-математических наук **Сошников Илья Петровича**, старшего научного сотрудника лаборатории Физики полупроводниковых гетероструктур ФТИ им. А.Ф. Иоффе. Отзыв положительный, содержит два замечания:

а) В работе имеются неточности редакционно-стилистического характера. Например, подпись к рис.1: в подписи скорее присутствует вывод о результате, а не представление результата, т. е. непонятно что отложено по осям.

б) Следует указать на широкое использование в автореферате жаргонных терминов и сокращений, осложняющее чтение работы.

5) Отзыв доктора физико-математических наук, **Усачёва Дмитрия Юрьевича**, профессора кафедры электроники твердого тела Физического факультета, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет». Отзыв положительный, содержит одно замечание:

а) В Главе 1 показано, что раскрытие энергетической щели вызвано образованием двумерной магнитной фазы, однако механизм этого до конца не ясен. Щель может иметь магнитную природу, но для подтверждения этого следовало бы провести измерения ФЭСУР выше температуры магнитного упорядочения и продемонстрировать закрытие щели.

6) Отзыв кандидата физико-математических наук **Фёдорова Владимира Викторовича**, старшего научного сотрудника лаборатории Возобновляемых источников энергии Санкт-Петербургского национального исследовательского Академического университета имени Ж. И. Алфёрова Российской академии наук. Отзыв положительный, содержит одно замечание:

а) При обсуждении механизмов эпитаксиальной ориентации ТИ на поверхности Si и буферных слоев $\text{BaF}_2/\text{CaF}_2$ на кремнии, для удобства читателя, стоило бы привести параметр рассогласования решёток данных соединений. Это же замечание можно отнести и к обсуждениям механизмов эпитаксиальной стабилизации других систем материалов, рассматриваемых в работе

7) Отзыв кандидата физико-математических наук **Кротова Владимира Ивановича**, доцента кафедры Промышленной электроники ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет». Отзыв положительный, без замечаний.

Диссертационный совет отмечает, что на **основании выполненных соискателем исследований** решен ряд задач, являющихся актуальными для современной спинтроники и физики проводников на основе новых материалов:

1) в диссертации решена задача модификации поверхностного слоя материалов с сильным спин-орбитальным взаимодействием, с целью оказания влияния на топологические свойства материалов этого класса;

2) обнаружено и исследовано раскрытие энергетической щели в области точки Дирака при эпитаксиальном осаждении ферромагнитного металла на поверхность топологического изолятора;

3) эпитаксиально выращены структурно упорядоченные ферромагнитные пленки на поверхности ряда топологических изоляторов, и изучены их структурные и магнитные свойства;

4) созданы планарные эпитаксиальные слои $Pb_{1-x}Sn_xTe$ на Si(111). Выявлено поверхностное состояние дираковского типа в бинарной гомоэпитаксиальной структуре на основе слоев $Pb_{1-x}Sn_xTe$ с разной величиной проводимости;

5) обнаружен и изучен выраженный спин-вентильный эффект гигантского магнитосопротивления в системе кобальт-содержащих ферромагнитных контактов и кристаллического топологического изолятора $Pb_{1-x}Sn_xTe$;

6) получен ряд гибридных структур на основе ферромагнитных металлов и оксидов магния и железа, исследованы их структурные и магнитные свойства, выявлены и объяснены особенности структурной перестройки на интерфейсе 3d-металл / оксид железа;

7) методом лазерной молекулярно-лучевой эпитаксии с последующим двустадийным термическим отжигом получены тонкие эпитаксиальные пленки инвертированной шпинели $NiFe_2O_4$ на подложках $SrTiO_3(001)$, имеющие значения параметров, близкие к наблюдаемым в объемных кристаллах;

8) получен и изучен ряд гибридных гетероструктур на основе ферромагнитных металлов, оксидов и шпинелей;

9) выявлена эпитаксиальная стабилизация и исследованы структурные, магнитные и люминесцентные свойства метастабильной структурной фазы типа $\alpha-PbO_2$ во фторидах марганца и цинка при выращивании на кремнии с использованием буферного слоя CaF_2 .

Практическая значимость результатов состоит в следующем:

1) создан ряд новых материалов на основе топологических изоляторов, в том числе со встроенным магнитным порядком, являющихся привлекательными объектами для наблюдения квантового аномального эффекта Холла;

2) получен и изучен ряд гибридных систем на базе ферромагнетиков и топологических изоляторов (ТИ), представляющих интерес для создания новых приборов спинтроники;

3) показана возможность улучшения электрофизических свойств поверхностных состояний ТИ за счет разработки многослойных гомоэпитаксиальных гетероструктур;

4) разработан и изучен ряд материалов, привлекательных для создания СВЧ-приборов для монолитных интегральных схем на основе ферритов.

В диссертации внесен существенный вклад в разработку приборов спинтроники на основе новых магнитных и полупроводниковых материалов с эпитаксиально модифицированной кристаллической структурой. Продемонстрирован ряд решений, позволяющих создавать материалы с улучшенными характеристиками. Синтез новых полупроводниковых материалов и их комбинаций вносит неоспоримый вклад в развитие научного направления на стыке физики полупроводников, диэлектриков и магнетиков, важного для научно-технического развития отрасли. Диссертация является законченным, последовательным и внутренне согласованным научным трудом, имеющим важное научно-прикладное значение.

Достоверность и надёжность результатов. Основные положения и выводы диссертации надёжно обоснованы теоретически и экспериментально. Достоверность и надёжность полученных результатов подтверждается их внутренней согласованностью и неоднократной экспериментальной проверкой с использованием адекватных современных научных методик, в том числе в различных их сочетаниях. Результаты обсуждались на большом количестве профильных рабочих и лабораторных семинаров, докладывались на конференциях и опубликованы в рецензируемых изданиях, в том числе первого квартала.

Апробация работы.

Результаты исследований, вошедшие в диссертацию, **доклаживались** на более, чем 50 российских и международных конференциях. В частности, за последние пять лет:

1) А. К. Кавеев, О.Е. Терещенко, Оптимизация буферного диэлектрического слоя для создания малодефектных эпитаксиальных пленок топо-логического изолятора $Pb_{1-x}Sn_xTe$ с $x \geq 0.4$, XXVI Международный симпозиум «Нанofизика и Нанoeлектроника», 14-17 марта 2022 г., Нижний Новгород

2) А.К. Кавеев, Д.Н. Бондаренко, О.Е. Терещенко, Структурные свойства тонких пленок кристаллического топологического изолятора $Pb_{0.7}Sn_{0.3}Te$ на кремнии, XXV Международный симпозиум «Нанofизика и Нанoeлектроника», 9-12 марта 2021 г., Нижний Новгород

3) S.P. Feofilov, A.B. Kulinkin, A.K. Kaveev, A.M. Korovin, N.S. Sokolov, S.M. Suturen, Luminescence of Impurity Ions in Laser Molecular Beam Epitaxy-Grown Oxide Films, ICL-2020, August 10-14, 2020, Changchun, China

4) А.К. Кавеев, В.А. Голяшов, О.Е. Терещенко, Д.А. Естюнин, E.F. Schwier, Раскрытие энергетической щели в области точки Дирака при осаждении кобальта на поверхность (0001) топологического изолятора $BiSbTeSe_2$, XXIV Международный симпозиум «Нанofизика и Нанoeлектроника», 10-13 марта 2020 г., Нижний Новгород

5) А.К. Кавеев, В.А. Голяшов, О.Е. Терещенко, Д.А. Естюнин, С.В. Еремеев, Трансформация конуса Дирака при нанесении металлического кобальта на топологический изолятор $BiSbTeSe_2$, Международная конференция «Физическая мезомеханика. Материалы с многоуровневой иерархически организованной структурой и интеллектуальные производственные технологии», 5-9 октября 2020 г., Томск

6) А.К. Кавеев, А.Н. Терпицкий, О.Е. Терещенко, В.А. Голяшов, Д.А. Естюнин, А.М. Шикин, E.F. Schwier, Изменение дираковского конуса

поверхностных топологических состояний при нанесении ферромагнетиков на BiSbTeSe_2 , Международная конференция Физика, 19-23 октября, 2020 г., Санкт-Петербург

7) О.Е. Терещенко, В.А. Голяшов, А.К. Кавеев, А.Э. Климов, А.Н. Акимов, А.С. Тарасов, Д.В. Ищенко, С.П. Супрун, И.О. Ахундов, Спиновая поляризация и спин-зависимый транспорт в кристаллическом топологическом изоляторе PbSnTe . XIV Russian conference on semiconductor physics, Novosibirsk, September, 2019

8) V.E. Bursian, A.K. Kaveev, A.M. Korovin, B.B. Krichevtsov, L.V. Lutsev, N.S. Sokolov, S.M. Suturein, M. Sawada, Laser MBE growth and studies of NiFe_2O_4 epitaxial films with close-to-bulk dynamic magnetic properties, International Conference PhysicA, St.-Petersburg, Russia, Oct. 2019

9) V.A. Golyashov, A.K. Kaveev, A.E. Klimov, A.N. Akimov, A.S. Tarasov, D.V. Ishchenko, C. Tusche, S.V. Ereemeev, and O.E. Tereshchenko, PbSnTe (111): Spin Polarized States and Spin-Valve Effect, International conference New trends in topological insulators, Hiroshima, Japan, July 14-19, 2019

10) A. Kaveev, V. Bursian, A. Korovin, L. Lutsev, N. Sokolov and S. Suturein, Spin wave relaxation in YIG nanofilms on $\text{MgO}/\text{GaN}(0001)$, Proc. Int. Symp. Spin Waves-2018, SPb, June 3-8, p. 124.

Личный вклад автора состоит в постановке основных задач. Также автор внес основной вклад в анализ полученных в диссертации данных. Автор внес определяющий вклад в объяснение полученных результатов. Все образцы, исследованные в работе, получены диссертантом лично. Диссертант лично проводил подбор и оптимизацию технологических режимов эпитаксиального роста исследованных объектов. Диссертант показал владение широким спектром экспериментальных методов, что подтверждено лично проведенными диссертантом измерениями методами фотоэлектронной спектроскопии с угловым разрешением, рентгеновского магнитно-циркулярного дихроизма и поглощения, дифракции быстрых электронов, рентгеновской дифракции, атомно-силовой микроскопии. Также диссертант лично проводил

моделирование картин дифракции быстрых электронов методом 3D-картографирования, моделирование сигналов дихроизма. Диссертантом сделаны основные выводы по всей диссертационной работе.

Результаты, изложенные в диссертации, также докладывались и обсуждались на семинарах Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе, национально-исследовательского академического университета им. Ж. И. Алферова, кафедры Электроники твердого тела Физического факультета СПбГУ, на семинаре Центра синхротронных исследований HiSOR (Хиросима, Япония), на семинаре Лаборатории материалов и физики поверхности Университета Модены (Модена, Италия).

Совет отмечает, что научные положения и результаты диссертации хорошо аргументированы и обоснованы. Основные результаты работы полностью отражены в публикациях в авторитетных российских и международных журналах, докладывались на российских и международных конференциях. Подтверждены актуальность темы, новизна и достоверность результатов, научная и практическая значимость работы. Основное содержание диссертации **представлено** в 39 научных статьях, из них наиболее важными являются следующие (в скобках указан личный вклад автора):

[1] Kaveev A.K., Suturin S.M., Golyashov V.A., Kokh K.A., Ereemeev S.V., Estyunin D.A., Shikin A.M., Okotrub A.V., Lavrov A.N., Schwier E.F., Tereshchenko O.E. Band gap opening in the BiSbTeSe₂ topological surface state induced by ferromagnetic surface reordering // Phys. Rev. Mater. – 2021 - Vol. 5 - №12 – P. 124204. (постановка задачи, проведение ростовых экспериментов, выращивание образцов, проведение измерений ARPES, анализ и моделирование кристаллической структуры, измерение морфологии поверхности, предложение и обсуждение модели и результатов);

[2] Кавеев А.К., Терещенко О.Е. Оптимизация буферного диэлектрического слоя для создания малодефектных эпитаксиальных пленок топологического изолятора $Pb_{1-x}Sn_xTe$ с $x \geq 0.4$ // ФТП – 2022 Т. 56 - №7- стр. 642-645. (Постановка задачи, выращивание образцов, проведение измерений кристаллической структуры, обсуждение результатов);

[3] Kaveev A.K., Golyashov V.A., Klimov A.E., Schwier E.F., Suturin S.M., Tarasov A.S., Tereshchenko O.E. Structure and magneto-electric properties of Co-based ferromagnetic films grown on the $Pb_{0.71}Sn_{0.29}Te$ crystalline topological insulator // Mater. Chem. Phys. - 2020 - Vol.240 - P.122134. (постановка задачи, выращивание образцов, корректировка ростовых параметров, нанесение ферромагнитных контактов, измерения кристаллической структуры, обсуждение результатов);

[4] Kaveev A.K., Sokolov N.S., Suturin S.M., Zhiltsov N.S., Golyashov V.A., Kokh K.A., Prosvirin I.P., Tereshchenko O.E., Sawada M. Crystalline structure and magnetic properties of structurally ordered cobalt-iron alloys grown on Bi-containing topological insulators and systems with giant Rashba splitting // Cryst. Eng. Comm. - 2018 - Vol.20 - №24 – P. 3419-3427. (постановка задачи, выращивание образцов, корректировка ростовых параметров, изучение кристаллической структуры и морфологии поверхности, обсуждение результатов);

[5] Fiedler S., Ereemeev S.V., Golyashov V.A., Kaveev A.K., Tereshchenko O.E., Kokh K.A., Chulkov E.V., Bentmann H., Reinert F. Topological states induced by local structural modification of the polar $BiTeI(0001)$ surface // New J. Phys. - 2018 - Vol.20 - №6 – P.063035. (выращивание образцов, эксперименты с термическим отжигом для осуществления фазового перехода, изучение фазового перехода с помощью дифрактометрии, измерение морфологии поверхности, обсуждение результатов);

[6] Suturin S.M., Kaveev A.K., Korovin A.M., Fedorov V.V., Sawada M., Sokolov N.S. Structural transformations and interfacial iron reduction in heterostructures with epitaxial layers of 3D metals and Ferrimagnetic oxides // *J. Appl. Crystallogr.* – 2018 - Vol.51 - №4 – P. 1069-1081. (постановка задачи, выращивание образцов, корректировка ростовых параметров, анализ кристаллической структуры и морфологии поверхности, модель структурного перестроения интерфейса, обсуждение результатов);

[7] Kaveev A.K., Bursian V.E., Krichevstov B.B., Mashkov K.V., Suturin S.M., Volkov M.P., Tabuchi M., Sokolov N.S. Laser MBE-grown CoFeB epitaxial layers on MgO: Surface morphology, crystal structure, and magnetic properties // *Phys. Rev. Mater.* – 2018 - Vol.2 - №1 – P.014411. (постановка задачи, выращивание образцов, корректировка ростовых параметров, анализ кристаллической структуры и морфологии поверхности, обсуждение результатов);

[8] Kaveev A.K., Sokolov N.S., Suturin S.M., Sawada M., Voskoboynikov S.P. High temperature treatment of epitaxial nickel ferrite thin films: The way to bulk-like magnetic properties // *J. Cryst. Growth* - 2021 - Vol.573 – P. 126302. (постановка задачи, выращивание образцов, корректировка ростовых параметров, анализ кристаллической структуры и морфологии поверхности, осуществление экспериментов по термическому отжигу, обсуждение результатов);

[9] Pasquali L., Doyle B.P., Borgatti F., Giglia A., Mahne N., Pedio M., Nannarone S., Kaveev A.K., Balanev A.S., Krichevstov B.B., Suturin S.M., Sokolov N.S., Cobalt on calcium fluoride: Initial stages of growth and magnetic properties // *Surf. Sci.* – 2006 - Vol. 600 - №18 (Sp. Iss. SI) – P. 4170-4175. (выращивание образцов, проведение измерений NEXAFS, анализ кристаллической структуры, обсуждение результатов);

[10] Kaveev A.K., Anisimov O.V., Bانشchikov A.G., Kartenko N.F., Ulin V.P., Sokolov N.S. Epitaxial growth on silicon and characterization of MnF₂ and ZnF₂ layers with metastable orthorhombic structure // J. Appl. Phys. - 2005 - Vol. 98 - №1 – P. 013519. (выращивание образцов, анализ кристаллической структуры и условий образования метастабильных структурных фаз фторидов, изучение морфологии поверхности, обсуждение результатов).

На заседании 19 января 2023 г. диссертационный совет принял решение присудить Кавееву А.К. учёную степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационного совета в количестве 21 человек, из них 14 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, проголосовали:

За присуждение Кавееву Андрею Камильевичу учёной степени доктора физико-математических наук

подано голосов – 21.

Против – 0.

Недействительных бюллетеней – 0.

Председатель диссертационного совета,
академик РАН, доктор физико-математических наук,
профессор

Сурис Роберт Арнольдович

Ученый секретарь диссертационного
совета, доктор физико-математических наук

Сорокин Лев Михайлович

19 января 2023 г.