

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.136.01 (Д002.100.02),
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА ИМЕНИ
Ю.А.ОСИПЬЯНА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 9.12.2025 №12

О присуждении Фуку Артёму Андреевичу, гражданину Российской Федерации,
ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Образование нанокристаллов и доменная структура в аморфных сплавах с различным напряженным состоянием» по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния» принята к защите 29.09.2025 (протокол заседания № 9) диссертационным советом 24.1.136.01 (Д 002.100.02), созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики твердого тела имени Ю.А.Осипьяна Российской академии наук (ИФТТ РАН), 142432, г. Черноголовка, Московская область, ул. Академика Осипьяна, д. 2, приказ Минобрнауки № 965/нк от 17.10.2019.

Соискатель Фукс Артём Андреевич, 22 февраля 1997 года рождения, в 2021 году окончил магистратуру Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» по направлению подготовки 03.04.02 «Физика». В 2021 году был зачислен в аспирантуру НИУ ВШЭ по направлению подготовки 03.06.01 – «Физика и астрономия», направленность «Физика конденсированного состояния», образовательная программа «Физика и астрономия». Справка о сдаче кандидатских экзаменов № 6.16-30.9.13/18 выдана НИУ ВШЭ в 2025 году. Работает младшим научным сотрудником в ИФТТ РАН с 2019 года.

Диссертация выполнена в Лаборатории структурных исследований Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики твердого тела имени Ю. А. Осипьяна Российской академии наук (ИФТТ РАН) и на Базовой кафедре физики конденсированных сред Института физики твердого тела РАН факультета физики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики».

Научный руководитель:

Аронин Александр Семенович – доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории структурных исследований ИФТТ РАН.

Официальные оппоненты:

Сундеев Роман Вячеславович – доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет», профессор кафедры нанoeлектроники.

Морозов Юрий Георгиевич – доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мержанова РАН, ведущий научный сотрудник лаборатории №14 (самораспространяющегося высокотемпературного синтеза).

На диссертацию поступили только положительные отзывы. Официальные оппоненты высказали ряд замечаний, в основном касающихся терминологии и технических моментов по оформлению текста, а также уточняющих вопросов, связанных с экспериментальной методикой и с полученными результатами. При этом оппоненты подчеркивают, что замечания не влияют на положительную оценку диссертационной работы. Оба оппонента заключили, что диссертация Фукса Артёма Андреевича является законченным научным исследованием и полностью соответствует критериям, предъявляемым к диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор, Фукс Артём Андреевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. – «Физика конденсированного состояния».

Ведущая организация – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (НИТУ МИСИС) в своем **положительном отзыве**, подписанном Калошкиным Сергеем Дмитриевичем – доктором физико-математических наук, директором Института новых материалов, директором НИЦ композиционных материалов, **указала**, что «аморфные ферромагнитные микропровода на основе Co и Fe с диаметром металлической жилы несколько десятков микрометров, покрытые тонкой стеклянной оболочкой, характеризуются высокими прочностными характеристиками и особыми магнитомягкими свойствами. В силу своих малых размеров аморфные микропровода весьма перспективны для использования в качестве сенсорных элементов различного рода датчиков и устройств. Аморфные материалы могут также служить основой для создания нанокристаллических материалов, магнитные и механические свойства которых существенно отличаются от свойств полностью кристаллического и аморфного состояния». Также отмечено, что «тема исследования является актуальной, как с точки зрения фундаментальных научных исследований, так и с точки зрения возможных практических приложений». В отзыве указано, что диссертационная работа Фукса Артёма Андреевича «Образование нанокристаллов

и доменная структура в аморфных сплавах с различным напряженным состоянием» полностью соответствует всем требованиям, предъявляемым к диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук согласно «Положению о присуждении ученых степеней», утвержденному постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842, а ее автор, Фукс Артём Андреевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния».

Соискатель имеет 13 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 7 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 7 работ. Работы опубликованы в высокорейтинговых научных журналах, таких как Crystals, Journal of Magnetism and Magnetic Materials и других. Список работ автора по теме диссертации:

1. Fuks, A. The Influence of Internal Stress on the Nanocrystal Formation of Amorphous $\text{Fe}_{73.8}\text{Si}_{13}\text{B}_{9.1}\text{Cu}_1\text{Nb}_{3.1}$ Microwires and Ribbons / A. Fuks, G. Abrosimova, O. Aksenov [et al.] // Crystals. – 2022. – Vol. 12, N. 10. – P. 14942.

2. Фукс, А.А. Поверхностная кристаллизация аморфных микропроводов состава $\text{Fe}_{73.8}\text{Si}_{13}\text{B}_{9.1}\text{Cu}_1\text{Nb}_{3.1}$ и $\text{Fe}_{77.5}\text{Si}_{13.5}\text{B}_9$ / А.А. Фукс, Г.Е. Абросимова, О.И. Аксенов, А.С. Аронин // Физика Твердого Тела. – 2023. – Т. 65, № 1. – С. 35–38.

3. Аксенов, О.И. Поверхностная кристаллизация и процессы перемагничивания в аморфных микропроводах / О.И. Аксенов, А.А. Фукс, Г.Е. Абросимова [и др.] // Поверхность. Рентгеновские, Синхротронные и Нейтронные Исследования. – 2023. – № 9. – С. 11–17.

4. Аксенов, О.И. Магнитная доменная структура микропроводов на основе железа после удаления стеклянной оболочки путем скалывания и химического травления / О.И. Аксенов, А.А. Фукс, А.С. Аронин // Поверхность. Рентгеновские, Синхротронные и Нейтронные Исследования. – 2024. – № 1. – С. 11–16.

5. Aksenov, O.I. Observation of zigzag domains in the surface layer of Fe- based microwires by magnetic force microscopy / O.I. Aksenov, S.I. Bozhko, A.A. Fuks, A.S. Aronin // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2024. – Vol. 591, N. 1. – P. 171772.

6. Fuks, A.A. The GMI effect of Fe-based microwires with a partially crystallized near-surface layer / A.A. Fuks, O.I. Aksenov, D.V. Matveev, A.S. Aronin // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2025. – Vol. 614. – P. 172712.

7. Aksenov, O.I. The effect of non-uniform quenching on the surface domain structure of amorphous Fe-based microwires / O.I. Aksenov, S.I. Bozhko, A.A. Fuks, A.S. Aronin // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2025. – Vol. 264. – P. 173032.

Диссертация не содержит недостоверных сведений об опубликованных соискателем научных работах.

На автореферат диссертации поступило 7 **положительных отзывов**. В отзывах была отмечена актуальность диссертационной работы и высокая научная и практическая значимость полученные результатов. Был высказан ряд замечаний и вопросов, связанных с техническими моментами оформления текста автореферата и представления полученных результатов. В отзывах отмечено, что «замечания носят уточняющий характер» и «ни в

коей мере не ставят под сомнение достоверность и новизну полученных результатов». Во всех отзывах также отмечено, что «диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям».

Отзывы на автореферат дали:

Жуков Аркадий Павлович (доктор физико-математических наук, профессор Икербаске, руководитель группы магнетизма Университета страны Басков, Испания). Отзыв об автореферате положительный, имеется одно замечание: «В тексте автореферата присутствует только указание на применение вибрационной магнитометрии без приведения каких-либо результатов, полученных данным методом».

Кулькова Светлана Евгеньевна (доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории физики нелинейных сред ФГБУН Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения РАН) и Бакулин Александр Викторович (доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории физики нелинейных сред ФГБУН Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения РАН). Отзыв об автореферате положительный, замечаний нет.

Гнесин Борис Абрамович (доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории материаловедения ФГБУН Института физики твердого тела имени Ю.А. Осипяна). Отзыв об автореферате положительный, имеется два замечания. Первое замечание: «На странице 3 автореферата речь идет о якобы «явно выраженной зависимости» измеренных свойств от напряженного состояния. При этом диссертант тщательно сопоставляет факты и умело анализирует цепочки достаточно сложных утверждений, чтобы убедить читателя в фактически обнаруженной зависимости свойств от данного напряженного состояния, которое практически никогда в твердых телах не может быть определено «на глазок». Второе замечание: «И в автореферате, и в самой диссертации отсутствуют списки использованных сокращений. При этом совершенно понятно, почему это обстоятельство не является проблемой ни для диссертанта, ни для его соавторов».

Скулкина Надежда Александровна (доктор физико-математических наук, профессор департамента фундаментальной и прикладной физики Института естественных наук и математики ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»). Отзыв на автореферат положительный, замечаний нет.

Исхаков Рауф Садыкович (доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории физики магнитных пленок Института физики им. Л.В. Киренского Сибирского отделения РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН). Отзыв на автореферат положительный, замечания отсутствуют.

Базлов Андрей Игоревич (кандидат технических наук, доцент кафедры металловедения цветных металлов НИТУ МИСИС). Отзыв на автореферат положительный, имеется одно замечание: «...в связи с тем, что структура микропровода после термообработки градиентная, то было бы полезно провести расчеты толщины скин-слоя при различных частотах, и сопоставить их со структурой микропровода на данной глубине».

Родин Алексей Олегович (доктор физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой «Наноматериалы и нанотехнологии» РХТУ им. Менделеева). Отзыв положительный, замечаний нет.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты и сотрудники ведущей организации являются признанными специалистами в области материаловедения и технологий материалов, исследующими как структуру, так и физические свойства различных материалов, в том числе аморфных.

Сундеев Роман Вячеславович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры наноэлектроники Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет», является ведущим специалистом в области исследования деформационно-индуцированных изменений структуры материалов. Автор более 80 научных работ.

Морозов Юрий Георгиевич – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории №14 (самораспространяющегося высокотемпературного синтеза) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мержанова РАН, является ведущим специалистом в области исследования свойств и синтеза наночастиц, а также самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Автор более 140 научных работ.

Сотрудники Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (НИТУ МИСИС) являются общепризнанными лидерами в области материаловедения, физики, физической химии, разработки технологий и приборов. В НИТУ МИСИС активно исследуются технологии получения, структура и физические свойства наноструктурных, нанодисперсных, биосовместимых, композиционных, магнитных, аморфных и квазикристаллических материалов и покрытий.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований получен ряд принципиально новых результатов, связанных с образованием нанокристаллов и доменной структурой в аморфных сплавах с различным напряженным состоянием.

В рамках диссертационной работы А.А. Фукса, в частности, впервые методом магнитно-силовой сканирующей микроскопии исследована приповерхностная доменная структура аморфных микропроводов на основе железа с положительной магнитострикцией. Показано, что формирование в приповерхностном объеме кольцевых доменов с радиальным направлением магнитного момента происходит только под действием внешнего магнитного поля. В отсутствие внешнего магнитного поля в приповерхностном слое микропроводов с положительной магнитострикцией впервые наблюдались лабиринтные и зигзагообразные домены, а также домены, в которых преобладают циркулярная и аксиальная компоненты магнитного момента. Предложена модификация модели доменной структуры поверхностного слоя микропровода, учитывающая

асимметрию в распределении внутренних напряжений, возникающую в результате неоднородного охлаждения микропровода в процессе изготовления. Проведены расчёты кинетики нанокристаллизации с учётом неоднородного распределения внутренних механических напряжений по сечению микропровода, согласно которым сжимающие напряжения, действующие в приповерхностной области, ускоряют процесс нанокристаллизации. Экспериментально продемонстрировано, что при нагреве аморфных микропроводов возможно формирование градиентной аморфно-нанокристаллической структуры, состоящей из аморфной центральной части и нанокристаллического приповерхностного слоя. В микропроводах состава $\text{Fe}_{70}\text{Si}_{18}\text{B}_9\text{Cu}_1\text{Nb}_2$ с градиентной наноструктурой был достигнут прирост импеданса $\Delta Z/Z = 150\%$ на частоте тока 200 МГц, что является одним из рекордных значений эффекта ГМИ, полученных в микропроводах на основе железа.

Научная и практическая значимость диссертационной работы заключается в том, что полученные сведения о доменной структуре поверхностного слоя микропроводов важны для понимания распределения внутренних напряжений вблизи поверхности микропровода и, следовательно, магнитоупругих и высокочастотных эффектов. Установленная взаимосвязь кинетики нанокристаллизации и напряжённого состояния микропроводов позволяет формировать новый тип аморфно-нанокристаллических материалов – микропровода с градиентной наноструктурой. Сочетание частично кристаллического приповерхностного слоя, обладающего улучшенными магнитомягкими свойствами, с аморфной центральной частью, выдерживающей значительные механические нагрузки (~ 1 ГПа), может расширить область применения микропроводов, решив проблему хрупкости, присущей нанокристаллическим материалам. Более того, обнаруженный в диссертационной работе значительный прирост величины эффекта ГМИ в микропроводах с градиентной наноструктурой позволяет создавать на их основе высокочувствительные датчики напряжённости магнитного поля, в том числе реагирующие на изменение механического напряжённого состояния.

Достоверность полученных результатов подтверждается использованием комплекса современного экспериментального оборудования и аттестованных методик исследований, значительным набором экспериментальных данных и использованием статистических методов обработки результатов, а также сопоставлением полученных результатов с результатами других авторов.

Личный вклад соискателя состоит в том, что все представленные в диссертационной работе оригинальные результаты были получены лично им или при его непосредственном участии. Соискатель активно участвовал в подготовке образцов, проведении экспериментов, обработке и анализе полученных результатов и последующей подготовке научных статей и докладов на конференциях.

Диссертационный совет заключает, что диссертация Фукса А.А. является самостоятельной завершённой научно-квалификационной работой. Диссертация Фукса А.А. полностью отвечает всем критериям, предъявляемым к диссертациям на

соискание ученой степени кандидата физико-математических наук в соответствии с Положением о присуждении ученых степеней Постановления Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г.

На заседании 9 декабря 2025 г. диссертационный совет принял решение присудить Фуксу Артёму Андреевичу ученую степень кандидата физико-математических наук за вклад в развитие представлений о взаимосвязи напряженного состояния аморфных сплавов с формированием нанокристаллов, магнитными свойствами и доменной структурой.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 20 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 28 человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» – 17, «против» – 1, недействительных бюллетеней – 2.

Председатель
диссертационного совета
д-р физ.мат. наук
чл.-корр. РАН

Левченко Александр Алексеевич

Ученый секретарь
диссертационного совета
д-р физ.мат. наук

Гаврилов Сергей Сергеевич

9 декабря 2025 года