

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ПРИКЛАДНОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

СТЕНОГРАММА

заседания объединенного диссертационного совета 99.1.044.02 (Д 999.138.02), созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной электродинамики Российской академии наук при участии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13) от 07 сентября 2022 г. (протокол № 3)

Защита диссертации
Ширяева Артема Олеговича
на соискание ученой степени кандидата технических наук
«Экспериментальное исследование СВЧ свойств композитных материалов во внешнем постоянном магнитном поле»

Специальность 1.3.13 – электрофизика, электрофизические установки

Москва – 2022

СТЕНОГРАММА

заседания объединенного диссертационного совета 99.1.044.02 (Д 999.138.02), созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной электродинамики Российской академии наук при участии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13)
Протокол № 3 от 07 сентября 2022 г.

Диссертационный совет 99.1.044.02 (Д 999.138.02) утвержден Приказом Министерства образования и науки РФ № 411/нк от 10.05.2017 г. в составе 20 человек. На заседании присутствуют 17 человек (13 – очно, 4 – онлайн), из них 17 докторов наук по специальности 1.3.13 – электрофизика, электрофизические установки. Дополнительно введены на разовую защиту – 0 человек. Кворум имеется.

Председатель – председатель диссертационного совета 99.1.044.02 (Д 999.138.02) академик РАН Лагарьков Андрей Николаевич.

Ученый секретарь – ученый секретарь диссертационного совета 99.1.044.02 (Д 999.138.02) д.ф.-м.н., доцент Дорофеев Александр Викторович.

Фамилия, И.О.	Учёная степень, шифр специальности в совете	Присутствие
1 Лагарьков А.Н.	академик РАН (1.3.13)	Очное присутствие
2 Амиров Р.Х.	д.ф.-м.н., ст.н.с. (1.3.13)	Очное присутствие
3 Дорофеев А.В.	д.ф.-м.н., доцент (1.3.13)	Очное присутствие
4 Батенин В.М.	член-корр. РАН, профессор (1.3.13)	Удаленное подключение
5 Василяк Л.М.	д.ф.-м.н., профессор (1.3.13)	Очное присутствие
6 Виноградов А.П.	д.ф.-м.н., профессор (1.3.13)	Очное присутствие
7 Гавриков А.В.	д.ф.-м.н., доцент (1.3.13)	Удаленное подключение
8 Гиппиус Н.А.	д.ф.-м.н. (1.3.13)	Удаленное подключение
9 Деньщиков К.К.	д.т.н. (1.3.13)	Отсутствует
10 Жук А.З.	д.т.н., профессор (1.3.13)	Очное присутствие
11 Зейгарник В.А.	д.т.н., ст.н.с. (1.3.13)	Очное присутствие
12 Кисель В.Н.	д.ф.-м.н., доцент (1.3.13)	Очное присутствие
13 Мерзликин А.М.	д.ф.-м.н. (1.3.13)	Очное присутствие
14 Парфенов Ю.В.	д.т.н., ст.н.с. (1.3.13)	Очное присутствие
15 Пухов А.А.	д.ф.-м.н., профессор (1.3.13)	Очное присутствие
16 Рахманов А.Л.	д.ф.-м.н., профессор (1.3.13)	Отсутствует
17 Рожков А.В.	д.ф.-м.н. (1.3.13)	Очное присутствие
18 Розанов К.Н.	д.ф.-м.н., ст.н.с. (1.3.13)	Очное присутствие
19 Сон Э.Е.	академик РАН (1.3.13)	Отсутствует
20 Сарычев А.К.	д.ф.-м.н. (1.3.13)	Удаленное подключение

ПОВЕСТКА ДНЯ

На повестке дня защита диссертации научного сотрудника лаборатории № 5 электрофизики композиционных материалов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной электродинамики Российской академии наук Ширяева Артема Олеговича на тему: «Экспериментальное исследование СВЧ свойств композитных материалов во внешнем постоянном магнитном поле». Диссертация впервые представлена на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.13 – электрофизика, электрофизические установки. Диссертация выполнена в лаборатории № 5 электрофизики композиционных материалов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной электродинамики Российской академии наук.

Научный руководитель:

Розанов Константин Николаевич – к.ф.-м.н. директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной электродинамики Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

д.ф.-м.н. Костишин Владимир Григорьевич – заведующий кафедрой технологии материалов электроники Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (119049, г. Москва, Ленинский пр-кт, д. 4, стр. 1)

д.ф.-м.н. Бузников Никита Александрович – главный научный сотрудник научно-исследовательского института природных газов и газовых технологий – Газпром ВНИИГАЗ (142717, Московская область, г.о. Ленинский, п. Развилка, пр-д Проектируемый № 5537, здание 15, строение 1).

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова» (119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1).

На заседании присутствуют: официальный оппонент д.ф.-м.н. Костишин В.Г., официальный оппонент д.ф.-м.н. Бузников Н.А., научный руководитель Ширяева А.О. д.ф.-м.н. Розанов К.Н.

СТЕНОГРАММА

Председатель:

Начинаем наше заседание. Большое спасибо за дисциплину, у нас кворум даже без учёта тех, кто подключается онлайн. Можем спокойно начинать. У нас сегодня одна защита, диссертация Ширяева Артема Олеговича на тему «Экспериментальное исследование СВЧ свойств композитных материалов во внешнем постоянном магнитном поле». Диссертация представлена на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности электрофизика, электрофизические установки. Я предоставляю слово учёному секретарю.

Ученый секретарь:

(Зачитывает данные о соискателе по материалам личного дела и сообщает о соответствии представленных документов требованиям ВАК Министерства образования и науки РФ)

Председатель:

Спасибо. К учёному секретарю нет вопросов у членов учёного совета? Нет, спасибо. Тогда слово предоставляется Артёму Олеговичу. Прошу Артём Олегович.

Ширяев А.О.:

Выступает с докладом по диссертационной работе (выступление не стенографируется, доклад Ширяева А.О. прилагается).

Председатель:

Спасибо. Вопросы пожалуйста к соискателю. Пожалуйста прошу.

Василяк Л.М.:

Будьте добры объясните выбор коаксиальной структуры. То есть, казалось бы, проще взять простую линию, мы все равно должны подводить электромагнитную волну, потому что на таких частотах магнитное поле не может их создать. А в полосковой структуре были бы плоские структуры, которые можно исследовать, их и расположить проще, и магнитное поле однородное в отличие коаксиальной структуры. Вы наверно чем-то руководствовались, когда делали такую сложную структуру к тому же в неоднородном поле коаксиальном?

Ширяев А.О.:

Мы, во-первых, руководствовались шириной частотного диапазона коаксиальных измерений. То есть в полосковой линии у нас там измерения возможны где-то до 5 ГГц. Когда мы начинаем намагничивать какие-то образцы, у нас магнитная проницаемость смещается в высокие частоты и ее уже становится не видно при измерении, которое мы проводили, а в коаксиальном образце все видно. Кроме того, мы там делали однородное магнитное поле, мы помещали в катушку коаксиальную линию, в которой как раз-таки внешнее магнитное поле направлено вдоль коаксиальной оси, и оно было однородным.

Василяк Л.М.:

В самом резонаторе поле коаксиальное неоднородное?

Ширяев А.О.:

Да, переменное магнитное поле не однородно, оно имеет форму окружности. Но тут возникла проблема с учетом влияния размагничивания. В полосковой линии его было бы намного проще

учесть, но мы порылись в литературе, нашли статью, где такие коаксиальные образцы очень подробно исследовались, взяли оттуда формулу и смогли решить все возникшие проблемы.

Василяк Л.М.:

Спасибо.

Председатель:

Еще вопросы, коллеги?

Амиров Р.Х.:

Можно один вопрос?

Председатель:

Конечно.

Амиров Р.Х.:

Вопрос несколько из другой области, я занимаюсь импульсными системами. Вы измеряете магнитные потери композитов, в конкретном магнитном поле. Предположим, я резко сменю магнитное поле. Ну в том диапазоне, в котором вы работаете. Каковы характерные времена восстановления потерь, которые Вы измерили? Желательно в поле H_1 , там магнитное поле H_2 . И Вы имели изменение H_1 и H_2 как это делают в импульсном режиме.

Ширяев А.О.:

Этот вопрос мы не исследовали, у нас было именно постоянное внешнее магнитное поле. Мы его приложили, зафиксировали силу тока в катушке и затем включили развертку на векторном анализаторе. При этом в фиксированном магнитном поле у нас были проведены все измерения.

Амиров Р.Х.:

То есть эта доменная структура, перестройка ее происходит в магнитном поле. Характерные времена в литературе не упускаются?

Ширяев А.О.:

Я этот вопрос не изучал, у нас характерные времена, в которые происходит измерение, довольно длительные.

Амиров Р.Х.:

Хорошо, спасибо.

Василяк Л.М.:

Андрей Николаевич, можно еще?

Председатель:

Конечно

Василяк Л.М.:

У Вас происходит взаимодействие кристалликов доменной структуры. Каким образом Вы контролировали их величину, и можете ли Вы назвать цифры каких-нибудь размеров? Чтобы оценить можно было.

Ширяев А.О.:

Величину мы не контролировали, мы делали выводы по зависимости именно магнитной проницаемости. Пытались оптимизировать наш метод для измерений магнитной проницаемости, получить большее количество данных из имеющихся магнитных потерь. Сами кристаллики мы внимательно не изучали.

Розанов К.Н.:

Размеры включений?

Председатель:

Там нет ничего. Еще раз вопрос, я не понял. Там пленка.

Василяк Л.М.:

Она однородная или она состоит из кристалликов? Он этого не сказал.

Ширяев А.О.:

Там какая-то доменная структура есть, она произвольная, точно сказать трудно.

Председатель:

Пусть он ответит, а не я, это будет правильно. Вы про структуру пленки, которую Вы изучали, несколько слов скажите, как она получается, из чего она состоит? Вопрос касается именно этого.

Василяк Л.М.:

Да-да.

Председатель:

Да, я понимаю, что она поликристаллическая.

Василяк Л.М.:

Да, мелкая.

Председатель:

Конечно.

Ширяев А.О.:

Пленки были получены методом магнетронного распыления в атмосфере аргона с 5%-ым содержанием кислорода. Напылялась на лавсановую подложку толщиной 12 мк, сама пленка имела толщину 140 нм.

Председатель:

Характерный размер поликристаллита Вам известен?

Ширяев А.О.:

Этого я не знаю.

Председатель:

Ну вообще полезно было бы посмотреть в современный микроскоп.

Василяк Л.М.:

В принципе это можно.

Жук А.З.:

Андрей Николаевич, можно?

Председатель:

Пожалуйста, да.

Жук А.З.:

У меня вопрос касается предела применимости формулы смешения, она у Вас где-то в конце, в выводах и положениях, выносимых на защиту. Там у Вас фигурирует цифра 9%.

Ширяев А.О.:

Да.

Жук А.З.:

Почему 9%? Получается, что это какая-то универсальная постоянная? Понятно, что при увеличении концентрации частиц простые соотношения перестают работать за счет того, что частицы, вкрапления между собой начинают взаимодействовать. Для другого материала будет 15%, для третьего 5%.

Ширяев А.О.:

Значение 9% это именно для этого образца: для частиц сендаста определенного размера и определенной толщины. Мы проводили дополнительные измерения и частиц других размеров и форм, там качественные зависимости были те же самые, но точные значения мы не измерили.

Жук А.З.:

По-моему, цифра просто лишняя.

Ширяев А.О.:

Ну понятно, что при больших концентрациях работает, а при больших становится неприменима.

Жук А.З.:

Хорошо.

Председатель:

Еще вопросы, пожалуйста, коллеги? Нет вопросов? Тогда, пожалуйста, слово предоставляется научному руководителю Константину Николаевичу Розанову.

Розанов К.Н.:

Спасибо. Артем Олегович работает у нас около 7 лет по окончании физического факультета МГУ. Все эти 7 лет он занимается экспериментальными исследованиями СВЧ свойств композитных материалов как магнитных, так и диалектических. С моей точки зрения, за это время он приобрел очень большой опыт и очень хорошую специализацию во всех областях, которые связаны с этими задачами. Занимался практически всеми аспектами, начиная с изготовления композитов, исследования структуры полученных материалов, СВЧ измерением и анализом полученных данных. Особенно что касается СВЧ измерений в поле коаксиальной

линии, сейчас это один из лучших специалистов, которых я знаю. Естественно за 7 лет получен огромный массив данных, соответственно, далеко не все они вошли в диссертацию, мы ограничились темой измерений в магнитном поле и тем, что из этого можно получить. Туда вошло все, что к этому относится: и поддерживающие данные, и экспериментальные результаты, которые наиболее полно и четко отражают полученные особенности. Кроме этого Артем Олегович активно занимался прикладными работами, участвовал во всех НИРах и ОКРах, которые выполняла лаборатория электрофизики композитных материалов. На сколько я помню, даже был ответственным исполнителем, но полученные там материалы, естественно, в диссертацию не вошли. Участвовал в выездных работах, полигонных. Кроме того, за это время он поступил и успешно окончил аспирантуру ИТПЭ РАН. Участвовал в выполнении грантов, причем был у него грант РФФИ аспирантский, работу по которому он практически сделал самостоятельно. Достаточно много публикаций, опять же показал свое умение координировать все этапы написания и публикации статьи: результаты, анализ результатов, обоснование актуальности. С моей точки зрения, он доказал свою способность к ведению самостоятельной научной работы. Ещё я бы хотел отметить его трудолюбие, упорство и внимание к деталям, что достаточно ценно для экспериментатора. Спасибо.

Председатель:

Спасибо Вам. Слово предоставляется ученому секретарю для оглашения заключения организации, и так далее.

Ученый секретарь:

Я коротко зачитываю некоторые моменты из заключения организации – ИТПЭ РАН:

Тема диссертации является актуальной и непосредственно связана с планом научно-исследовательских работ ИТПЭ РАН. Результаты работы могут быть использованы при разработке различных устройств СВЧ техники (антенн, радиопоглощающих покрытий и т.д.) Изложенные в диссертации результаты оригинальны и достаточно полно представлены в работах, опубликованных диссертантом.

О своих работах диссертант рассказал, его индекс Хирша равен 4, что уже говорит о том, что его работы цитируются

Диссертационная работа соответствует профилю диссертационного совета, паспорту специальности 1.3.13 – электрофизика, электрофизические установки.

Дальше, я думаю, можно перейти к различным отзывам, во-первых, замечания ведущей организации. Отзыв положительный, замечания состоят в следующем, их 5 штук:

1. В литературном обзоре и главе, посвященной тонким пленкам уделено большое внимание закону Аше. Однако в главах, посвященных композитным материалам, его применимость не исследована.

2. Парафин довольно мягкий материал. Не приводит ли сильное магнитное поле к изменению положения включений в образце? Интересно было бы сравнить с другим типом наполнителя.

3. Частота резонанса, судя по данным рисунка 3.19 немонотонно зависит от внешнего магнитного поля, но данный факт в работе не обсуждается.

4. В подразделе 5.3 показано, что при концентрации включений менее 7% внешнее размагничивание происходит не на всем образце, а на отдельных частицах. В работе следовало бы подробнее обсудить, с чем связаны критерии такого размагничивания для концентрации частиц, их размера и формы.

5. В работе использованы термины, не являющиеся общепринятыми, такие как, «коаксиальная ось», «пики магнитных потерь», «поле размагничивается на образце» и т.п. В небольшом числе имеются и опечатки, например, в подписи к рисунку 3.7 идёт отсылка к рисунку 3.5, вместо 3.6.

Председатель:

Там еще другие отзывы?

Ученый секретарь:

Потом замечания на автореферат, мне сразу читать или после ответа?

Председатель:

Нет, мы должны огласить и отзывы, и другие поступившие отзывы на автореферат диссертанта, как здесь написано.

Ученый секретарь:

Хорошо, тогда сразу прочитаю отзывы на автореферат тоже, потом Артем Олегович ответит на все. У нас поступило довольно много отзывов, аж 9 отзывов на автореферат. Они все положительные и все с замечаниями.

Первый отзыв от Удмуртского федерального исследовательский центра, подписал главный научный сотрудник, зав. отделом теоретической физики, д.ф.-м.н., Аржников А.К. Отзыв положительный, с пожеланием: было бы логично дополнить эти исследования влиянием скин-эффекта на ферромагнитный резонанс во внешнем магнитном поле. Судя по результатам такое влияние возможно.

Второй отзыв от Южно-Уральского государственного университета, подписал заведующий кафедрой «Материаловедение и физико-химия материалов», д.х.н., доцент Винник Д.А. Отзыв положительный, с замечаниями:

- Автор проводит исследование тонких плёнок супермаллоя и композитных материалов на основе парафина с включениями сендаста, однако выбор данных материалов в автореферате никак не обоснован.

- В диссертации изучены СВЧ магнитные свойства композитных материалов в зависимости от концентрации и ориентации включений. Было бы интересно исследовать зависимость свойств ещё и от формы включений.

Третий отзыв из Уральского федерального университета имени Б.Н. Ельцина, подписала профессор-исследователь кафедры магнетизма и магнитных наноматериалов Института естественных наук и математики, д.ф.-м.н., Курляндская Г.В. Отзыв положительный, с замечаниями:

- Некорректность формулировок и недостаточность иллюстративного материала, несколько затрудняющее чтение. Например, в описании решенных задач нет ни одного конкретного упоминания о составе пленочных образцов, композитов, гибких подложек и т.д.

- Чрезмерная лаконичность подписей к рисункам, не позволяющая понять суть без прочтения основной части, наличие некоторых пробелов в цитировании работ по нерезонансному микроволновому поглощению в малых полях и отсутствие сравнения данных по микроволновым свойствам пленочных структур, полученных на твердых гибких подложках с использованием существующих СВЧ методик. В то же самое время следует отметить, что данная информация может содержаться в самом тексте диссертационной работы, она не является основной при представлении работы по данной специальности.

Четвертый отзыв из Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского, подписал профессор кафедры экспериментальной физики Физико-технического института, д.ф.-м.н., профессор Пономаренко В.И. Отзыв положительный, с пожеланием: наряду с результатами измерений дисперсии магнитной проницаемости образцов автору следовало бы привести и результаты измерения диэлектрической проницаемости, тем более, что последняя измеряется одновременно с магнитной.

Пятый отзыв из Института физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, подписал главный научный сотрудник, д.ф.-м.н., член-корреспондент РАН Ринкевич А.Б. Отзыв положительный, с замечанием: в автореферате не сделан акцент на тензорном характере магнитной проницаемости во внешнем магнитном поле. Учет этого важного обстоятельства позволил бы получить новые данные об исследуемых материалах.

Шестой отзыв из Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н.Г. Чернышевского, подписал заведующий кафедрой физики твердого тела, д.ф.-м.н., профессор Скрипаль А.В. Отзыв положительный, с замечанием: необходимо обосновать уменьшение ошибки определения собственной проницаемости ферромагнитных включений при использовании широкого диапазона концентраций включений исследуемых композитных материалов.

Седьмой отзыв из Института металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова, подписала главный научный сотрудник, д.т.н., профессор Шефтель Е.Н. Отзыв положительный, замечание такое: тексте автореферата зачастую отсутствуют конкретные экспериментальные результаты, полученные автором, и сведения об их аналитической обработке, а только приводится словесное обобщение этих данных. Далее некоторые примеры.

Восьмой отзыв из Балтийского федерального университета имени Иммануила Канта, подписала директор Высшей Школы Междисциплинарных исследований и инжиниринга, к.ф.-м.н., Родионова В.В. Отзыв положительный, с замечаниями: к небольшому замечанию можно отнести ограниченное число композитных материалов, исследованных предложенным методом. Например, исследование материалов, магнитные потери которых имеют несколько максимумов в СВЧ диапазоне, могло бы помочь в понимании динамических магнитных свойств малых частиц.

Заключительный девятый отзыв ИБХФ им. Н.М. Эмануэля, подписал заведующий лабораторией 0205, к.ф.-м.н., Бибилов С.Б. Отзыв положительный, с замечанием: в автореферате желательно было бы указать более подробно геометрию и методику изготовления коаксиальных образцов (толщины подложек, ферромагнитных слоёв, количество витков ленты).

На этом отзывы на автореферат закончились.

Председатель:

У меня предложение такое: сейчас наш диссертант будет отвечать на замечания, у меня предложение не отвечать на пожелания, потому что пожелания — это отдельно, а замечания другое. Согласны, коллеги? Хорошо, прошу.

Ширяев А.О.:

Первое кажется было пожелание.

Председатель:

На пожелания не надо.

Кисель В.Н.:

Да, пожелание не отвечать не пожелания.

Ширяев А.О.:

Скажу все равно, что в автореферате этого действительно не было, но в самой диссертации мы исследовали более подробно. Потом Уральский про выбор материалов, согласен с замечанием, в автореферате я это не расписывал, однако в самой диссертации это было расписано более

подробно. Выбор материалов связан с легкостью интерпретации данных, а также с малым полем насыщения и малой толщиной. Парафин был выбран потому что с ним довольно легко работать, он имеет малую температуру плавления и дает возможность изготовления образцов с анизотропной ориентацией включений. Композитные материалы были выбраны потому что они подчинялись самой простой формуле смешения Винера, на которой легко было верифицировать нашу методику.

Следующий отзыв про некорректность формулировок.

Председатель:

Согласитесь.

Ширяев А.О.:

Да, согласен, это обосновано тем, что место в автореферате место было ограничено, также и второе замечание тоже с этим связано.

Крымский – это профессор Пономаренко. Здесь нам наиболее интересны именно магнитные свойства образцов, потому что диэлектрическая проницаемость в поле не меняется. К тому же, частотная дисперсия в СВЧ диапазоне она практически не имеет, поэтому мы исследовали именно магнитную проницаемость, но в диссертации, конечно же, эти данные приведены.

Затем Ринкевич: тензорный характер в самой диссертации был исследован, однако в автореферате мы решили не заострять на этом внимание из-за ограничения и многие эффекты не рассматривали.

Председатель:

То есть тензорный характер не исследовался в диссертации?

Ширяев А.О.:

Он был обозначен, что тензорный характер имеется.

Председатель:

Что значит обозначен? Конечно, магнитная проницаемость пленки имеет тензорный характер.

Ширяев А.О.:

В литературном обзоре сказано, что это тензор, рассмотрены диагональные компоненты этого тензора, от чего они зависят и как ФМР влияет на магнитную проницаемость.

Председатель:

Понятно, спасибо.

Ширяев А.О.:

По поводу «обосновать уменьшение ошибки»: восстановление собственной магнитной проницаемости – это некая экстраполяция, чем шире концентрация, тем эта экстраполяция лучше. В диссертации получена формула, где погрешность восстановления собственной магнитной проницаемости с помощью формулы Оделевского была определена численно. С помощью формулы Оделевского было рассчитано влияние форм-фактора, концентрации, ошибки измерения эффективных свойств на ошибку определения собственной магнитной проницаемости. Было показано, в том числе экспериментально, что эта ошибка может достигать довольно больших значений и препятствовать нахождению собственной магнитной проницаемости включений.

Отзыв Шефтель: здесь тоже «недостаточность иллюстративного материала, экспериментальных результатов», в диссертации все эти замечания были подробно расписаны, а в автореферате я решил из-за ограничения по объему не заострять на этом внимание.

«Отсутствует обоснование выбора материала-основы» - этот вопрос тоже задавал Винник, про это я уже говорил. Да, я с этим замечанием согласен, следовало бы более подробно указать в автореферате, а в диссертации, конечно, это расписано подробно.

«Ограниченное количество материалов». Целью работы была модификация методики измерений, разработка методики анализа, проверка этого метода на композитных материалах. Поэтому мы выбрали именно сендаст, потому что он подчиняется простейшей формуле смешения. Это позволяет достаточно легко объяснить наблюдаемые эффекты. И мы эти эффекты объяснили. Другие материалы тоже исследовались, но результаты этих исследований в диссертацию не вошли.

Замечание Бибикова. Замечание тоже связано с более подробным описанием методики изготовления и свойств материалов. В диссертации всё это расписано, а в автореферате из-за ограничений по объёму не хватило места.

Далее отзывы ведущей организации. По поводу закона Аше. Использование закона Аше на композитных материалах затруднительно из-за медленной сходимости интеграла Аше. Интеграл может не сходиться из-за влияния скинирования, оно может быть незаметно на магнитной проницаемости, но на интеграл оно может оказывать довольно сильное влияние. Также наличие погрешностей измерений может очень слабо влиять на магнитную проницаемость, но сильно влиять на этот интеграл. А в случае тонких плёнок интеграл Аше применяется очень легко, как в интегральной форме, так и в параметрической.

Второе замечание по поводу сильного магнитного поля. Прикладываемого внешнего магнитного поля недостаточно, чтобы изменить положение включений в образце, а переменное поле на порядок меньше, чем постоянное. Это подтверждалось тем, что экспериментальные результаты повторялись при снятии магнитного поля. Композитные образцы с сендастом исследовали только в парафине. С другой матрицей не исследовали, но это, действительно, интересно, далее мы это исследуем.

Третье замечание. Действительно, на данном рисунке видно, что частота резонанса с ростом внешнего магнитного поля сначала уменьшается, потом начинает увеличиваться. Подобное поведение также может быть описано теорией Киттеля. В данном случае направления оси магнитной анизотропии и внешнего магнитного поля перпендикулярны. Подобное поведение хорошо исследовано в литературе, и мы не стали заострять на этом внимания.

Четвёртое замечание. В диссертации было экспериментально показано, что при концентрации менее 7 % размагничивание происходит на отдельных частицах, более 12 % – на всём образце. Как эти концентрации изменятся для композитов с частицами других размеров и форм мы не исследовали.

Для частиц других размеров: менее 40 микрон и более 63. Мы исследования проводили только качественно. Поведение в поле такое же, также наблюдалось размагничивание на частицах при малой концентрации, и на целом образце – при большой, но конкретные цифры не получали.

И последнее замечание. Использование этих терминов – это хороший способ облегчить текст. Например, вместо «пика магнитных потерь» пришлось бы использовать термин «Локальный максимум частотной зависимости мнимой части магнитной проницаемости», что гораздо дольше и писать, и произносить. А опечаток не удалось избежать, прошу прощения.

Председатель:

Всё да, по-моему, всё. Спасибо большое. Присаживайтесь, слово предоставляется официальному оппоненту доктору физико-математических наук, Костишину Владимиру Григорьевичу.

Костишин В.Г.

Зачитывает отзыв на работу и замечания (не стенографируется, отзыв Костишина В.Г. приложен к аттестационному делу)

Председатель:

Спасибо большое, Владимир Григорьевич. Вам надо ответить на замечания.

Ширяев А.О.:

Первое замечание по поводу погрешностей. Погрешность определения материальных параметров зависит от довольно-таки многих величин: от частоты, от величины измеряемых коэффициентов прохождения и отражения, величины самих материальных параметров и толщины образца. Из-за наличия микрозазоров между образцом и электродами ячейки есть дополнительная погрешность измерения диэлектрической проницаемости. Также высшие моды могут сильно влиять на диэлектрическую проницаемость. Чтобы минимизировать погрешности, я проверял повторяемость измерений, независимость измерений от толщины образца, также сравнивал результаты с другими методами: ФМР и магнитостатическими измерениями (где это было возможно), а также с измерениями в свободном пространстве. Для уменьшения погрешности из-за микрозазоров образцы в ячейке мы дополнительно прессовали. С замечанием я согласен, следовало более подробно это расписать.

Второе замечание по поводу формулы смещения Винера. Сейчас я скажу именно про второй эффект, который связан с влиянием размагничивания. У нас получалось, что при малой концентрации размагничивающие поля возникают на частицах, а при большой размагничивание возникает на всём образце. В связи с этим в магнитном поле при одной концентрации пик магнитных потерь искажается, а при другой – не искажается. Это приводит к тому, что никакая формула смещения становится неприменима. Для того, чтобы избавиться от этого эффекта нужно исследовать образцы с анизотропным распределением включений, и это мы планируем делать в дальнейшем.

Третье замечание по поводу частиц других размеров. Получается так, что это мы исследовали, но в диссертации не указывали. Чем больше размер сита, тем ниже частота максимума магнитных потерь и тем больше статическая магнитная проницаемость. Я исследовал частицы именно от 40 до 63 мкм, т.к. посчитал их свойства оптимальны для нашего исследования. Если взять слишком крупные частицы, то магнитные потери сместятся слишком низко и не будет видно весь спектр целиком. А если взять слишком мелкие, то магнитная проницаемость будет мала, и это из-за чувствительности метода может привести к большей погрешности.

Четвёртое замечание, по поводу отсутствия подраздела. В первом разделе диссертации представлен обзор литературы. В подразделе «Измерения СВЧ магнитных свойств материалов» рассмотрено порядка 20 работ со схожей тематикой. Там указаны их недостатки, что сделано, чего не было сделано. С замечанием я, конечно, согласен, это следовало выделить более явно.

По поводу пятого замечания по оформлению работы. Я с замечанием соглашусь, прошу прощения, не удалось избежать незначительных помарок.

Председатель:

Спасибо. Слово предоставляется официальному оппоненту, доктору физико-математических наук Никовскому Сергею Евгеньевичу.

Розанов К.Н.:

Бузников Никита Александрович.

Председатель:

Это ошибка, техническая, я прошу прощения. Мне секретарь положил радостно эту бумагу, и я её зачитал, точно так же радостно. Поскольку я уже вижу, что официальный оппонент Бузников Никита Александрович, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник института природных газов, то предоставляю Вам слово.

Бузников Н.А.:

Зачитывает отзыв на работу и замечания (не стенографируется, отзыв Бузникова Н.А. приложен к аттестационному делу)

Председатель:

Спасибо большое. Вам отвечать опять на замечания. Но не очень долго постарайтесь.

Ширяев А.О.:

По поводу скин-эффекта. Довольно-таки частый вопрос среди отзывов. Влияние скин-эффекта на магнитную проницаемость учитывают путём перенормировки. Мы это в диссертации сделали и выяснили, что скин-эффект очень слабо влияет на магнитную проницаемость, а эффекты, которые мы наблюдали с ним не связаны. Например, Скин-эффектом нельзя было объяснить разное искажение магнитных потерь в высоких полях при разных концентрациях.

Под тонкими плёнками (это второе замечание) обычно подразумевают материалы, свойства которых отличаются от свойств однородных материалов. Обычно толщина тонких плёнок меньше или сравнима со скин-слоем. Понятие тонких плёнок вообще является общепринятым, поэтому я не стал расшифровывать это в диссертации. Но с замечанием в принципе согласен, нужно было описать это подробнее.

Материалы со сферическими включениями действительно рассматривались без приложения внешнего поля, однако в поле их не рассматривали. Сферические частицы обладают гораздо большим форм-фактором по сравнению с пластинчатыми включениями, из-за чего их гораздо труднее намагнитить в имеющемся у нас магнитном поле. Поэтому зависимость магнитной проницаемости в нулевом поле и в максимальном доступном практически не отличались. Можно было провести только качественный анализ, а не количественный.

Четвёртое замечание. С замечанием согласен, это следовало бы указать. Нижняя граница диапазона определяется величинами измеряемых коэффициентов прохождения и отражения от образца. Провести корректные измерения на более низких частотах (меньше 100 МГц) возможно. Для этого можно использовать другие методы калибровки, например, SOLT калибровку (мы в работе использовали TRL калибровку), либо измерять образцы большей толщины. Верхняя граница измерительного частотного диапазона ограничена частотой возникновения высших мод. Считается, что выше частот 18-20 ГГц на малейшей неоднородности в материале начинают возникать высшие моды, и мерить на более высоких частотах уже нельзя. Также невозможны измерения выше частоты, на которой возникает полуволновой резонанс. Всё.

Председатель:

Спасибо, спасибо. Так. Присаживайтесь пожалуйста. Переходим к дискуссии, дискуссии присутствующих. Кто-нибудь хочет выступить, что-нибудь сказать, коллеги?

Василяк Л.М.:

Я считаю, что очень хорошая экспериментальная работа. Работа мне очень понравилась. Сделана на высоком экспериментальном научном уровне, потому что очень сложные эксперименты. Если бы он рассказывал более подробно, как он это проводил. Просто он это пропустил. А на самом деле, это очень сложный эксперимент. И получены новые научные результаты, которые важны как для теории, так и для практики. И я предлагаю работу поддержать, я буду голосовать за и призываю членов учёного совета поддержать это предложение.

Председатель:

спасибо большое. Ну коллеги, если больше никто не хочет выступить. Я думаю ситуация достаточно ясная и мы приступим к голосованию. Перед этим нам нужно выбрать счётную комиссию, ваши предложения.

Секретарь:

Счетная комиссия. Я бы предложил Александра Александровича Пухова, Алексея Петровича Виноградова и Александра Михайловича Мерзликина.

Председатель:

Есть ли какие-нибудь возражения против такого состава счётной комиссии? Тогда прошу проголосовать. Кто за? Против? Воздержался? Принято единогласно. Прошу приступить к голосованию, после этого у нас ещё обсуждение проекта заключения и открытое голосование по проекту заключения, правильно я понимаю? Прошу проголосовать коллеги.
(Проводится процедура голосования на сайте ОИВТ РАН)

Председатель:

Коллеги! У меня такое предложение. Чтобы не терять времени, пока у нас с вами голосуют по очереди, давайте с вами обсудим проект заключения. Посмотрите.
(Идёт обсуждение проекта заключения)

Председатель:

Кто за то, чтоб утвердить? Против? Воздержался? Единогласно. Принято.
(Проект заключения с учётом высказанных замечаний принят единогласно)

Председатель:

Если бы мы знали результаты голосования, то мы бы радостно закончили заседания учёного совета. Пожалуйста, кто у вас председатель комиссии? Алексей Петрович Виноградов.

Виноградов А.П.:

Все проголосовали?

Председатель:

Результаты огласите, мы же не знаем.

Виноградов А.П.:

17 проголосовали положительно. Единогласно.
(Принято единогласно)

Председатель:

Так, ну. Торжественней.

Виноградов А.П.:

кто за правильность компьютера?

Председатель:

Итак, единогласно. Я сделал ошибку, уважаемые коллеги. я прошу прощения. Поскольку мы были так увлечены процессом голосования, я не предоставил заключительное слово соискателю. Я это сейчас делаю. Тем более, что Вы теперь защищённый, можете с пафосом говорить. Прошу.

Ширяев А.О.

Спасибо всем присутствующим. Хотел бы особенно поблагодарить своего научного руководителя, Розанова Константина Николаевича. Если бы не он, этой работы не было. Хочу сказать спасибо коллегам из моей лаборатории электрофизики композиционных материалов. Они внесли существенный вклад в проделанную работу, особенно большое спасибо Дмитрию Александровичу Петрову и Сергею Николаевичу Старостенко. Также хочу сказать спасибо своим коллегам из лаборатории нанотехнологии композиционных материалов и пленочных структур за серьёзную помощь в исследованиях. Спасибо диссертационному совету за сегодняшнюю продуктивную работу, официальным оппонентам и коллегам, предоставившим отзыв. Благодарю жену и родителей за поддержку. Всем спасибо!

Председатель:

Давайте поаплодируем. Всё, спасибо большое.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 99.1.044.02
(Д 999.138.02), СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ
ИНСТИТУТА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ПРИКЛАДНОЙ
ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ ПРИ УЧАСТИИ ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 07.09.2022 г. № 3

О присуждении Ширяеву Артему Олеговичу, гражданину Российской Федерации ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Экспериментальное исследование СВЧ свойств композитных материалов во внешнем постоянном магнитном поле» по специальности 1.3.13 – электрофизика, электрофизические установки принята к защите 29.06.2022г., (протокол заседания № 2) диссертационным советом 99.1.044.02 (Д 999.138.02), созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной электродинамики (125412, г. Москва, ул. Ижорская, д.13, (495) 484-2383, <http://www.itae.ru/>) при участии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (125412, г. Москва, Ижорская ул., д. 13, стр. 2, (495) 485-8345, jih.ru), утвержденного Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 411/нк от 10.05.2017 г.

Соискатель Ширяев Артем Олегович 1991 года рождения, в 2015 году окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова».

Работает в должности младшего научного сотрудника лаборатории № 5 – электрофизики композиционных материалов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной электродинамики Российской академии наук.

В 2021 году окончил очную аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной электродинамики Российской академии наук (ИТПЭ РАН).

Диссертация выполнена в лаборатории № 5 – электрофизики композиционных материалов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной электродинамики Российской академии наук.

Научный руководитель доктор физико-математических наук, директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной электродинамики Российской академии наук Розанов Константин Николаевич.

Официальные оппоненты:

- доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой технологии материалов электроники Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» Костишин Владимир Григорьевич

- доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник научно-исследовательского института природных газов и газовых технологий – Газпром ВНИИГАЗ Бузников Никита Александрович
дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова» в своем положительном заключении, составленном зав. кафедрой магнетизма д.ф.-м.н. Перовым Н.С. (утвержденном 09.08.2022г. проректором профессором

Федяниным А.А.) указала, что научная значимость работы состоит в развитии методики, получении и анализе результатов, определяемых частотной дисперсией СВЧ магнитной проницаемости композитных материалов, и в первую очередь, изменением СВЧ магнитной проницаемости в магнитном поле. Исследование частотной дисперсии магнитной проницаемости в магнитном поле впервые позволило разделить магнитные потери, вызванные различными физическими механизмами, а учёт размагничивающего поля в коаксиальном образце – перейти к количественному описанию магнитных свойств.

Результаты диссертации могут быть использованы в научных и образовательных организациях, где ведутся теоретические и экспериментальные исследования композитных материалов, проводятся измерения высокочастотных свойств материалов и осуществляется разработка СВЧ устройств, например, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Удмуртский государственный университет» (г. Ижевск), Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ижевский государственный технический университет» (г. Ижевск), Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук (г. Екатеринбург), Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук» (г. Ижевск), Акционерное общество «Сарапульский электрогенераторный завод» (г. Сарапул), Акционерное общество «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара, Закрытое акционерное общество «СуперОкс», и других научно-исследовательских учреждениях.

Соискатель имеет 16 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 11 работ, из них в рецензируемых научных

изданиях опубликовано 11 работ:

1. Starostenko S.N., Rozanov K.N., Shiryaev A.O., Shalygin A.N., Lagarkov A.N. Determination of sendust intrinsic permeability from microwave constitutive parameters of composites with sendust spheres and flakes // *J. App. Phys.* 2017. V. 121 N.24. P. 245107.

2. Старостенко С.Н., Розанов К.Н., Ширяев А.О., Лагарьков А.Н., Шалыгин А.Н. Определение сверхвысокочастотной магнитной проницаемости альсифера из измеренной проницаемости композитных материалов // *Физика твердого тела.* 2017. Т. 59. № 11. С. 2183–2190.

3. Shiryaev A.O., Rozanov K.N., Vyzulin S.A., Kevraletin A.L., Syr'ev N.E., Vyzulin E.S., Lahderanta E., Maklakov S.A., Granovsky A.B. Magnetic resonances and microwave permeability in thin Fe films on flexible polymer substrates // *J. Magn. Magn. Mater.* 2018. V. 461. P. 76–81.

4. Starostenko S.N., Rozanov K.N., Shiryaev A.O., Lagarkov A.N. A technique to retrieve high-frequency permeability of metals from constitutive parameters of composites with metal inclusions of arbitrary shape, estimate of the microwave permeability of Nickel // *Pier M.* 2018. V. 76. P. 143–155.

5. Starostenko S.N., Rozanov K.N., Shiryaev A.O., Lagarkov A.N., Shalygin A.N. Selection of a mixing model and determination of inclusion microwave permeability for a composite filled with metal powder // *J. Magn. Magn. Mater.* 2018. V. 459. P. 305–310.

6. Yazovskikh K.A., Lomayeva S.F., Shakov A.A., Konygin G.N., Nemtsova O.M., Shiryaev A.O., Petrov D.A., Rozanov K.N. Structure and microwave properties of fe75si25 alloys produced by high-energy wet ball milling in organic media // *Письма о материалах.* 2018. Т. 8. № 4 (32). С. 419–423.

7. Shiryaev A.O., Rozanov K.N., Starostenko S.N., Bobrovskii S.Y., Osipov A.V., Petrov D.A. The bias effect on the frequency dispersion of microwave permeability of composites filled with metal films or flakes // *J. Magn. Magn. Mater.* 2019. V. 470. P. 139–142.

8. Shiryayev A.O., Bobrovskii S.Y., Granovsky A.B., Osipov A.V., Naboko A.S., Lahderanta E., Lagarkov A.N., Rozanov K.N., Zezyulina P.A. Coaxial measurements of microwave permeability of thin supermalloy films under magnetic bias // J. Magn. Magn. Mater. 2019. V. 477. P. 329–333.

9. Старостенко С.Н., Розанов К.Н., Бобровский С.Ю., Ширяев А.О. Двухкомпонентная гетерогенная система с формированием порога протекания за счет инверсии матричной структуры // Радиотехника и электроника. 2020. Т. 65. № 12. С. 1190–1197.

10. Shiryayev A.O., Rozanov K.N., Naboko A.S., Artemova A.V., Maklakov S.S., Bobrovskii S.Y., Petrov D.A. Splitting of the Magnetic Loss Peak of Composites under External Magnetic Field // Physics. 2021. V. 3. N. 3. P. 678–688.

11. Shiryayev A.O., Rozanov K.N., Artemova A.V., Bobrovskii S.Y., Naboko A.S., Osipov A.V., Petrov D.A., Zezyulina P.A. Experimental Study Of Microwave Magnetic Properties Of Composites Under Magnetic Bias // 2021 IEEE Int. Magn. Conf. (Intermag). 2021. P. 1-5.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук»** (главный научный сотрудник, заведующий отделом теоретической физики, д.ф.-м.н. Аржников А.К.) – отзыв положительный, с пожеланием:

- Было бы логично дополнить эти исследования влиянием скин-эффекта на ферромагнитный резонанс во внешнем магнитном поле. Судя по результатам, такое влияние возможно.

2. **Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»** (Заведующий кафедрой «Материаловедение и физико-химия материалов», д.х.н. доцент Винник Д.А.) – отзыв положительный, с замечаниями:

- Автор проводит исследование тонких плёнок супермаллоя и композитных материалов на основе парафина с включениями сендаста, однако выбор данных материалов в автореферате никак не обоснован.

- В диссертации изучены СВЧ магнитные свойства композитных материалов в зависимости от концентрации и ориентации включений. Было бы интересно исследовать зависимость свойств ещё и от формы включений.

3. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (профессор-исследователь кафедры магнетизма и магнитных наноматериалов, Институт естественных наук и математики, д.ф.-м.н. Курляндская Г.В.) – отзыв положительный, с замечаниями:

- Некорректность формулировок и недостаточность иллюстративного материала, несколько затрудняющее чтение. Например, в описании решенных задач нет ни одного конкретного упоминания о составе пленочных образцов, композитов, гибких подложек и т.д.

- Чрезмерная лаконичность подписей к рисункам, не позволяющая понять суть без прочтения основной части, наличие некоторых пробелов в цитировании работ по нерезонансному микроволновому поглощению в малых полях и отсутствие сравнения данных по микроволновым свойствам пленочных структур, полученных на твердых гибких подложках с использованием существующих СВЧ методик. В то же самое время следует отметить, что данная информация может содержаться в самом тексте диссертационной работы, она не является основной при представлении работы по данной специальности.

4. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского» (профессор кафедры экспериментальной физики Физико-технического института, д.ф.-м.н. профессор Пономаренко В.И.) – отзыв положительный, с пожеланием:

- Наряду с результатами измерений дисперсии магнитной проницаемости образцов автору следовало бы привести и результаты измерения диэлектрической проницаемости, тем более, что последняя измеряется одновременно с магнитной.

5. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук (главный научный сотрудник, д.ф.-м.н. член-корреспондент РАН Ринкевич А.Б.) – отзыв положительный, с замечанием:

- В автореферате не сделан акцент на тензорном характере магнитной проницаемости во внешнем магнитном поле. Учет этого важного обстоятельства позволил бы получить новые данные об исследуемых материалах.

6. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» (заведующий кафедрой физики твердого тела института физики, д.ф.-м.н., профессор Скрипаль А.В.) – отзыв положительный, с замечанием:

- Необходимо обосновать уменьшение ошибки определения собственной проницаемости ферромагнитных включений при использовании широкого диапазона концентраций включений исследуемых композитных материалов.

7. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук (главный научный сотрудник, д.т.н. профессор Шефтель Е.Н.) – отзыв положительный, с замечаниями:

- В тексте автореферата зачастую отсутствуют конкретные экспериментальные результаты, полученные автором, и сведения об их аналитической обработке, а только приводится словесное обобщение этих данных.

Некоторые примеры (*наклонный шрифт –авторский*):

стр. 9-10 “...описаны особенности получения материала частиц и изготовления композитов....Представлены изображения образцов, полученные с помощью сканирующего электронного микроскопа, и результаты измерений гранулометрического распределения размеров порошков”. Указанные особенности получения частиц, изображения образцов и гранулометрического распределения размеров порошков в тексте автореферата отсутствуют.

стр. 11 “...приведены результаты измерений образцов из тонких ФМ пленок супермаллоя. ...Из измеренных зависимостей с помощью двух предложенных способов найдены намагниченность насыщения $4\pi M_0$, поле магнитокристаллической анизотропии H_k и поле магнострикции H_u ”. В автореферате результаты измерений не представлены.

- стр. 13-14 “...представлены измеренные зависимости статической диэлектрической проницаемости от концентрации включений $\epsilon_{ст}(p)$ и зависимости магнитной проницаемости от концентрации включений и частоты $\mu(p, f)$ Из найденного форм-фактора оценен диаметр пластинчатых включений, который хорошо согласуется с реальным размером частиц, определенным из микрофотографий”. В автореферате отсутствуют какие-либо экспериментальные данные, подтверждающие вышеуказанные зависимости.

стр. 14 “Для восстановления собственной магнитной проницаемости пластинчатых включений использована формула смешения Винера....” Аналитическая обработка данных с применением формулы Винера и её результаты отсутствуют в тексте автореферата.

стр.14 “...в композите, содержащем широкий диапазон концентраций ферромагнитных включений...” В автореферате концентрационный интервал ферромагнитных частиц не указан.

стр. 16 “Для исследования данного эффекта проведены измерения образцов с различной толщиной, различной концентрацией включений, а

также образцов с изотропной и анизотропной ориентацией частиц”.
“...однако магнитная проницаемость образца при наличии внешнего поля зависит от его толщины”. В автореферате не указаны ни толщины, ни интервалы концентраций, не проиллюстрирована зависимость магнитной проницаемости от толщины.

- Отсутствует обоснование выбора материала -основы композита

8. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук (Заведующий лабораторией 0205, к.ф.-м.н. Бибиков С.Б.) – отзыв положительный, с замечанием:

- В автореферате желательно было бы указать более подробно геометрию и методику изготовления коаксиальных образцов (толщины подложек, ферромагнитных слоёв, количество витков ленты).

9. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта» (директор Высшей Школы Междисциплинарных исследований и инжиниринга, к.ф.-м.н. Родионова В.В.) – отзыв положительный, с замечаниями:

- К небольшому замечанию можно отнести ограниченное число композитных материалов, исследованных предложенным методом. Например, исследование материалов, магнитные потери которых имеют несколько максимумов в СВЧ диапазоне, могло бы помочь в понимании динамических магнитных свойств малых частиц.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается:

- д.ф.-м.н., профессор **Костишин В.Г.** является ведущим ученым в области электрофизики магнитных материалов, ферритов и композитов на их основе, а также крупным специалистом по разработке материалов для применений в электронике.

1. Kostishyn V.G., Shakirzyanov R.I., Isaev I.M., et.al. Electrophysical Characteristics of Polyvinyl Alcohol/Mn–Zn Ferrite–Spinel Magnetic Polymer Composites // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. 2022. Vol. 86. No. 5. P. 618.
2. Darwish M.A., Morchenko A.T., Kostishyn V.G., et.al. Heterovalent substituted $BaFe_{12-x}Sn_xO_{19}$ ($0.1 \leq x \leq 1.2$) M-type hexaferrite: Chemical composition, phase separation, magnetic properties and electrodynamic features // J. Alloys Compounds. 2022. Vol. 896. P. 163117.
3. Trukhanov A.V., Tishkevich D.I., Kostishin V.G., et.al. Impact of the Nanocarbon on Magnetic and Electrodynamic Properties of the Ferrite/Polymer Composites // Nanomaterials. 2022. Vol. 12. No. 5. P. 868.

- д.ф.-м.н. **Бузников Н.А.** является признанным специалистом в области физики пленочных структур, композитных материалов и микропроводов.

1. Buznikov N.A., Kurlyandskaya G.V. A model for the magnetoimpedance effect in non-symmetric nanostructured multilayered film with ferrogel coverings // Sensors. 2021. V. 21. № 15. P. 5151.
2. Бузников Н.А., Свалов А.В., Курляндская Г.В.. Влияние параметров многослойных пленочных структур на основе пермаллоя на чувствительность эффекта магнитного импеданса // Физика металлов и металловедение. 2021. Т. 122. № 3. С. 241–247.
3. Buznikov N.A. Influence of bias current on off-diagonal magnetoimpedance in composite wires // J. Superconductivity Novel Magnetism. 2018. V. 31. № 12. P. 4039–4045.

- **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова»** является ведущим исследовательским центром России и мира в области физики, геофизики, астрономии, биофизике, медицинской физике и компьютерным технологиям. На кафедре

магнетизма физического факультета МГУ ведутся интенсивные работы по исследованию магнитоэлектрических свойств композитных структур, малых магнитных частиц, микропроводов и метаматериалов.

1. Шапаева Т.Б., Юмагузин А.Р., Курбатова Ю.Н., Вахитов Р.М. Влияние параметров управляющего импульса магнитного поля на динамику доменной границы // Физика металлов и металловедение. 2022. Т. 123, № 3, С. 284.
2. Ganshina E.A., Garshin V.V., Pripechenkov I.M., Ivkov S.A., Sitnikov A.V., Domashevskaya E.P. Effect of Phase Transformations of a Metal Component on the Magneto-Optical Properties of Thin-Films Nanocomposites (CoFeZr)_x(MgF₂)_{100-x} // Nanomaterials 2021. V. 11. P. 1666.
3. Komlev A.S., Karpenkov D.Y., Kiselev D.A., Ilina T.S., Chirkova A., Gimaev R.R., Usami T., Taniyama T., Zverev V.I., Perov N.S. Ferromagnetic phase nucleation and its growth evolution in FeRh thin films // J. Alloys Compounds. 2021. V. 874, P. 1-8.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- Разработана комплексная методика измерений и анализа частотной зависимости СВЧ магнитной проницаемости в коаксиальной линии во внешнем постоянном магнитном поле до 2400 Э.

- Учен вклад размагничивающих полей, возникающих на исследуемом образце, что позволило перейти к количественному анализу получаемых данных и найти магнитные характеристики тонких ферромагнитных пленок. Найденные значения поля анизотропии и намагниченности насыщения исследованных тонких пленок железа составляют 57 Э и 1500 Гс, соответственно.

- Разработанная методика позволила определить намагниченность насыщения, поле анизотропии и поле магнитоупругости пленок супермаллоя. Показано, что два способа определения магнитных характеристик, а именно с помощью формулы Киттеля и с помощью дисперсионного закона Ландау–

Лифшица–Гилберта, дают одинаковые результаты, совпадающие со справочными данными и результатами других измерений.

- Показано, что определение собственной магнитной проницаемости с помощью формул смешения может быть затруднено из-за высокой погрешности. Величина погрешности зависит от концентрации, фактора и собственной магнитной проницаемости включений, а также от ошибки измерения эффективной магнитной проницаемости композитного материала.

- Экспериментально показано, что формула смешения Винера, корректно описывающая магнитную проницаемость исследуемых композитных материалов при отсутствии внешнего поля, при наличии внешнего поля оказывается неприменима из-за изменения магнитной структуры включений.

- Предложена методика изготовления композитных материалов на основе парафиновой матрицы с анизотропным распределением пластинчатых включений.

- Экспериментально показано, что измеренные СВЧ магнитные потери в пластинчатых частицах сендаста обусловлены доменными модами – уширением естественного ферромагнитного резонанса на доменной структуре в частицах.

- Показано, что в исследуемых изотропных композитных материалах с объемной концентрацией пластинчатых частиц сендаста менее $(7,0 \pm 0,3) \%$ размагничивающие поля, возникающие на отдельных частицах при приложении поля напряженностью более 1300 Э, приводят к искажению пика магнитных потерь.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

– Наблюдаемым экспериментально эффектам дано физическое объяснение: показано, что измеренные СВЧ магнитные потери в пластинчатых частицах сендаста обусловлены доменными модами; искажение пика магнитных потерь при приложении поля более 1300 Э

вызвано влиянием размагничивающих полей, возникающих на отдельных частицах.

– экспериментально показана неприменимость стандартной формулы смещения при наличии внешнего поля из-за изменения магнитной структуры включений, ранее предсказанная теоретически.

Значение полученных соискателем результатов **исследования для практики подтверждается** тем, что:

– Разработанные методика и измерительный стенд позволяют определять количественные значения магнитных свойств материалов (СВЧ магнитная проницаемость, намагниченность насыщения, поле магнитной анизотропии), знание которых необходимо при создании магнитодиэлектрических подложек для антенн, радиопоглощающих покрытий или при решении проблем электромагнитной совместимости.

– Проведенные исследования важны для понимания магнитной структуры и динамических магнитных свойств малых магнитных частиц. На основе полученных данных могут быть созданы и использованы для ряда практических применений новые композитные материалы с уникальными радиофизическими свойствами.

Результаты работы могут быть использованы в научных и научно-образовательных центрах, а также в организациях, занимающихся разработкой композитных материалов радиотехнического назначения, среди которых можно выделить Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теоретической и прикладной электродинамики Российской академии наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего

образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук, Федеральное государственное унитарное предприятие "Крыловский государственный научный центр", Акционерное общество «Центральное конструкторское бюро автоматики», Акционерное общество «Научно-производственное предприятие «Исток»» имени А. И. Шокина, Общество с ограниченной ответственностью Научно-производственное предприятие «Радиострим».

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что достоверность полученных результатов не вызывает сомнений и обеспечена использованием стандартных методов измерений, оценкой погрешностей, хорошим соответствием теоретических и экспериментальных данных, а также соответствием экспериментальных результатов, полученных с помощью разных методов измерений.

Личный вклад соискателя состоит в постановке задач, практической реализации экспериментальных методов для их решения, проведении всего объема экспериментальных работ, связанных с измерениями СВЧ магнитной проницаемости. Анализ и интерпретация экспериментальных результатов проводились совместно с научным руководителем.

Апробация результатов исследования проводилась на 12 российских и международных конференциях и симпозиумах. Основные публикации по выполненной работе также подготовлены при определяющем участии автора.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

Соискатель Ширяев Артем Олегович ответил на вопросы, согласился с замечаниями, высказанными в ходе заседания, и привел собственную

аргументацию.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация Ширяева А.О. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям пункта 9, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013 г.

На заседании от 07.09.2022г. диссертационный совет принял решение присудить Ширяеву Артему Олеговичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.13 – электрофизика, электрофизические установки.

При проведении тайного голосования Диссертационный совет в количестве 17 человек, из них очно: 13 докторов наук по специальности 1.3.13 – электрофизика, электрофизические установки, дистанционно: 4 доктора наук по специальности 1.3.13 – электрофизика, электрофизические установки, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 17, против 0, недействительных бюллетеней - 0.

Председатель диссертационного совета 99.1.044.02 (Д 999.138.02)

д.ф.-м.н., профессор, академик РАН



Лагарьков А.Н.

Ученый секретарь диссертационного совета 99.1.044.02 (Д 999.138.02)

д.ф.-м.н., доцент

Дорофеев А.В.

07.09.2022г.