

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА

Д 212.285.24 НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ «УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ПЕРВОГО ПРЕЗИДЕНТА РОССИИ Б.Н. ЕЛЬЦИНА», МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК.

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 01.10.2015 г. № 5

О присуждении Семирову Александру Владимировичу, гражданство Российской Федерации, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Высокочастотный импеданс и магнитные свойства аморфных и нанокристаллических ферромагнитных проводников при термическом, деформационном и магнитополевом воздействиях» по специальности 01.04.11 – Физика магнитных явлений принята к защите 22 мая 2015 г., протокол № 2 диссертационным советом Д 212.285.24 на базе ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Минобрнауки России, 620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19; созданным приказом Минобрнауки России № 714/нк от 02.11.2012 г.

Соискатель Семиров Александр Владимирович 1966 года рождения, диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Движение доменных границ и доменов в тонких FeNiCo пленках» защитил в 1995 г. в диссертационном совете, созданном при Уральском государственном университете им. А.М.Горького, работает в должности директора Педагогического института ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный университет», Минобрнауки России.

Диссертация выполнена на кафедре физики ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный университет», Минобрнауки России.

Научный консультант – доктор физико-математических наук, Курляндская Галина Владимировна, ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», кафедра магнетизма и магнитных наноматериалов, профессор – исследователь.

*Официальные оппоненты:*

- Грановский Александр Борисович, доктор физико-математических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», физический факультет, кафедра магнетизма, профессор;
  - Аплеснин Сергей Степанович, доктор физико-математических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнева», кафедра физики, заведующий;
  - Калинин Юрий Егорович, доктор физико-математических наук, профессор, ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет", кафедра физики твердого тела, заведующий,
- дали положительные отзывы о диссертации.

*Ведущая организация* – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теоретической и прикладной электродинамики Российской академии наук, г. Москва, в своем положительном заключении, подписанном Антоновым Анатолием Сергеевичем, доктором физико-математических наук, главным научным сотрудником лаборатории нанотехнологии композиционных материалов и тонкопленочных структур, указала, что диссертационная работа А.В.Семирова удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук (пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 г.), а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.11 – Физика магнитных явлений.

Соискатель имеет 142 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации 106 работ, опубликованных в рецензируемых научных

изданиях 29. Другие публикации по теме диссертации представлены в виде: 1 статьи депонированной в ВИНТИ; 2 патентов на изобретения; 21 статьи и 53 тезисов докладов в сборниках трудов и материалах 22 международных и 13 всероссийских конференций и симпозиумов. Общий объем научных изданий 32 п.л. / 16 п.л. – авторский вклад.

*Наиболее значительные научные работы по теме диссертации:*

1. А.А. Анашко, А.В. Семиров, А.А. Гаврилюк. Магнитоимпедансный эффект в аморфных FeCoMoSiV лентах. // Журнал технической физики, 2003, вып. 73, № 4, с. 49-52; 4 с./ 2 с.
2. А.В. Семиров, В.О. Кудрявцев, А.А. Гаврилюк, А.А. Моисеев. Влияние упругих напряжений растяжения на дифференциальную магнитную проницаемость аморфных ферромагнитных проволок в широком частотном диапазоне. // Письма в Журнал технической физики, 2006, вып. 32, № 15, с. 24-29; 6 с./ 3 с.
3. А.В. Семиров, Д.А. Букреев, В.О. Кудрявцев, А.А. Моисеев, А.А. Гаврилюк, А.Л. Семенов, Г.В. Захаров. Влияние температуры на магнитоимпеданс упругодеформированной фольги состава Fe<sub>4</sub>Co<sub>67</sub>Mo<sub>1.5</sub>Si<sub>16.5</sub>B<sub>11</sub> // Журнал технической физики, 2009, вып. 79, № 11, с. 25-29; 5 с./ 3 с.
4. А.В. Семиров, А.А. Моисеев, Д.А. Букреев, В.О. Кудрявцев, Г.В. Захаров, А.А. Гаврилюк, А.Н. Сапожников. Магнитоимпедансное детектирование структурной релаксации аморфных ферромагнитных сплавов. // Дефектоскопия, 2010, № 12, с. 26-31; 6 с./ 3 с.
5. А.В. Семиров, Д.А. Букреев, А.А. Моисеев, В.А. Лукшина, Е.Г. Волкова, С.О. Волчков. Влияние особенностей эффективной магнитной анизотропии на температурные зависимости магнитоимпеданса нанокристаллических лент Fe<sub>73.5</sub>Si<sub>16.5</sub>B<sub>6</sub>Nb<sub>3</sub>Cu<sub>1</sub> // Известия высших учебных заведений. Физика, 2011, вып.54, № 5, с. 95-100; 6 с./ 3 с.
6. А.В. Семиров, Д.А. Букреев, А.А. Моисеев, В.А. Лукшина, Е.Г. Волкова, С.О. Волчков, Г.В. Курляндская. Температурная зависимость магнитных

свойств и магнитоимпеданса нанокристаллических лент Fe<sub>73.5</sub>Si<sub>16.5</sub>B<sub>6</sub>Nb<sub>3</sub>Cu<sub>1</sub>  
// Журнал технической физики, 2011, вып. 81, № 3, с. 80-84; 5 с./ 2 с.

7. А.В. Семиров, Д.А. Букреев, А.А. Моисеев, М.С. Деревянко, В.О. Кудрявцев. Связь температурных изменений константы магнитострикции и импеданса упругодеформированных магнитомягких аморфных лент на основе кобальта. // Известия ВУЗов. Физика, 2012, вып.55, № 9, с. 3-7; 5 с./ 3 с.

8. A.V. Semirov, D.A. Bukreev, A.A. Moiseev, S.O. Volchkov, G.V. Kurlyandskaya, V.A. Lukshina, E.G. Volkova. Temperature Dependences of Magnetoimpedance of Nanocrystalline Fe-Based Ribbons. // Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 2012, vol. 12, p. 7446-7450; 5 с./ 2 с.

9. А.В. Семиров, В.О. Кудрявцев, А.А. Моисеев, Д.А. Букреев, Н.П. Ковалева, Н.В. Васюхно. Высокочастотные электрические свойства аморфного магнитомягкого провода на основе кобальта, прошедшего отжиг постоянным электрическим током. // Известия ВУЗов. Черная металлургия, 2013, вып. 12, с. 46-50; 5 с./ 3 с.

10. А.В. Семиров, М.С. Деревянко, Д.А. Букреев, А.А. Моисеев, Г.В. Курляндская. Высокочастотный импеданс магнитомягких аморфных лент на основе кобальта вблизи температуры Кюри. // Известия РАН. Серия физическая, 2014, вып. 78, № 2, с. 147-150; 4 с./ 2 с.

11. A.V. Semirov, M.S. Derevyanko, D.A. Bukreev, A.A. Moiseev, G.V. Kurlyandskaya. Magnetoimpedance of Amorphous Ferromagnetic CoFeSiB Ribbons in the Wide Temperature Range. // Solid State Phenomena, 2014, vol. 215, p. 337-341; 5 с./ 2 с.

12. А.В.Семиров, А.А.Моисеев, В.О.Кудрявцев, Д.А.Букреев, Н.П.Ковалева, Н.В.Васюхно. Компонентный анализ комплексного сопротивления магнитомягкого провода состава CoFeNbSiB с неоднородной магнитной структурой. // Журнал технической физики, 2015, вып. 85, № 5, с. 137-141; 5 с./ 3 с.

*На автореферат поступило 11 положительных отзывов:*

1. от доктора физико-математических наук, профессора, заведующего кафедрой экспериментальной физики Таврической академии Крымского

- федерального университета имени В.И. Вернадского, Республика Крым, г. Симферополь, Бержанского Владимира Наумовича;
2. от доктора физико-математических наук, профессора, директора Саратовского филиала Института радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова РАН, г.Саратов, Филимонова Юрия Александровича;
  3. от доктора физико-математических наук, старшего научного сотрудника ООО «Газпром ВНИИГАЗ» Московская область, п. Развилка, Бузникова Никиты Александровича;
  4. от доктора физико-математических наук, профессора, заведующего лабораторией «Физики магнитных пленок» Института физики СО РАН им. Л.В.Киренского, г. Красноярск, Исхакова Рауфа Садыковича; к.ф.-м.н., снс ИФ СО РАН Комогорцева Сергея Викторовича;
  5. от доктора технических наук, главного научного сотрудника Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г.Москва, Семенова Владимира Семеновича;
  6. от доктора физико-математических наук, доцента, декана физико-технического факультета Бурятского государственного университета, г.Улан-Уде, Дамдинова Батра Батуевича;
  7. от доктора физико-математических наук, профессора кафедры экспериментальной физики и инновационных технологий Сибирского федерального университета, г.Красноярск, Столяра Сергея Викторовича;
  8. от доктора физико-математических наук, профессора кафедры радиофизики и радиоэлектроники Иркутского государственного университета, г.Иркутск, Аграфонова Юрия Васильевича;
  9. от доктора физико-математических наук, профессора кафедры радиофизики и информационной безопасности Балтийского федерального университета им. И.Канта, г.Калининград, Куприяновой Галины Сергеевны;
  10. от доктора физико-математических наук, профессора кафедры электроэнергетики транспорта Иркутского государственного университета путей сообщения, г.Иркутск, Саломатова Владимира Николаевича.

11. от доктора физико-математических наук, профессора кафедры физики низкоразмерных структур Дальневосточного федерального университета, г.Владивосток, Чеботкевич Людмилы Алексеевны;

*Отзывы содержат следующие критические замечания:*

– Утверждается, что на частотах выше 0,5 МГц для лент сплава  $Fe_{73,5}Si_{16,5}B_6Nb_3Cu_1$ , нанокристаллизованного в поперечном магнитном поле, причиной уменьшения импеданса с ростом температуры является уменьшение намагниченности насыщения и угла отклонения ОЛН от поперечной ориентации ленты, но ничего не говорится о влиянии величины эффективного поля анизотропии, увеличение которого с повышением температуры также должно приводить к изменению импеданса. В автореферате приводятся также частотные зависимости максимальных значений приведенных температурных чувствительностей мнимой и действительной компонент импеданса аморфных лент (рис.21), но не поясняется как они вычислялись (Бержанский В.Н.);

– К замечаниям можно отнести использование разносистемных единиц измерения напряженности магнитного поля и температуры, а также отсутствие в автореферате данных о длительности термообработок и отжига электрическим током лент и проводов (Семенов В.С.)

– При анализе влияния подмагничивающего тока на асимметричный МИ (магнитоимпеданс) аморфного провода проводится сопоставление экспериментальных данных с расчетными зависимостями циркулярной магнитной проницаемости от внешнего поля (рис.4 и рис.5). К сожалению, в автореферате не приведены использованные в работе аналитические выражения для циркулярной магнитной проницаемости. Основные результаты работы, приведенные в Заключение, сформулированы слишком детально, что затрудняет их восприятие. На мой взгляд, следовало бы привести основные результаты в более краткой форме (Бузников Н.А.).

– В работе следовало бы уделить больше внимания структуре поверхности использованных магнитомягких лент (Саломатов В.Н.)

– В автореферате не приведено ни одного изображения доменной структуры и не указано, каким способом автор определял типы магнитной анизотропии. На рис.4 приведен график зависимости  $\mu_{\phi} = f(H)$ . По оси ординат отложена величина  $\mu_{\phi}$ , отн. Что это за единица измерения? Для докторской диссертации слишком много выводов. Число выводов можно было бы сократить, тем более что в некоторых есть повтор (Чеботкевич Л.А.).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой компетентностью по тематике исследований, выполненных в диссертационной работе.

*Диссертационный совет отмечает*, что на основании выполненных соискателем исследований:

- *разработан* уникальный по ряду параметров автоматизированный измерительный комплекс магнитоимпедансной спектроскопии и резистометрии, отличающийся возможностью варьирования режимов теплового, деформационного и магнитополевого воздействий на магнитомягкие проводники;
- *предложены*: модель магнитной доменной структуры ферромагнитного аморфного провода с низкой положительной константой магнитострикции; метод определения константы магнитострикции насыщения исходя из зависимостей импеданса от внешнего магнитного поля и механических напряжений, исключая влияние геометрических параметров образца на получаемый результат; метод изучения структурной релаксации аморфных сплавов на основе анализа частотных зависимостей компонент комплексного электрического сопротивления;
- *доказано*, что: причиной наличия граничной температуры, выше и ниже которой влияние механических напряжений на импеданс и эффект магнитоимпеданса магнитомягких проводников различно, является смена знака константы магнитострикции; немонотонный характер температурной зависимости высокочастотного импеданса магнитомягких лент по мере приближения к температуре Кюри обусловлен конкурирующим влиянием температурных изменений намагниченности насыщения и константы

магнитной анизотропии; компенсационный характер изменения циркулярных магнитных проницаемостей областей с аксиальным и геликоидальным типами магнитной анизотропии при упругой деформации растяжения провода с низкой положительной магнитострикцией обуславливает наличие узкого интервала частот в котором стрессимпедансный эффект снижается до нулевых значений; обнаруженные магнитополевой, термо- и деформационнозависимый эффекты высокочастотного импеданса в аморфных ферромагнитных материалах, полученных быстрой закалкой из расплава, а также прошедших последующую нанокристаллизацию имеют перспективу использования при создании магнитных материалов с заданными свойствами;

– *введено* понятие мягкой термообработки аморфных сплавов; конкретизированы понятия эффектов магнито-, стресс- и термоимпеданса, магнитоимпедансной спектроскопии магнитных проводников;

*Теоретическая значимость исследования* обоснована тем, что:

– *доказан* ряд положений: о более высокой чувствительности мнимой компоненты импеданса к ориентационным изменениям намагниченности; о компенсационном механизме магнитополевых изменений магнитных проницаемостей доменов в объеме скин-слоя обуславливающим наличие интервала магнитных полей, в котором изменение высокочастотного импеданса магнитомягких проводников планарной и цилиндрической геометрии близко к нулю; о возможности применения метода магнитоимпедансной спектроскопии для детектирования отдельных температурных стадий процесса структурной релаксации аморфных магнитомягких сплавов и получения данных для анализа их доменной структуры в объеме вещества;

– *применительно к проблематике диссертации* результативно использован комплекс существующих базовых методов исследования, в т.ч. численных методов, экспериментальных методов: магнитоимпедансной спектроскопии; индукционной магнитометрии; просвечивающей электронной микроскопии и микродифракции; малоуглового вращения намагниченности (SAMR); рентгеноструктурных методов;

- *изложены* обоснования: модели магнитной доменной структуры магнитомягкого провода с низкой положительной константой магнитострикции, включающей помимо аксиально симметричных, соосных слоев с геликоидальной и аксиальной, керн с циркулярной ориентациями намагниченности; допустимости вычислений импеданса магнитомягкого проводника на частотах до 100 МГц исходя из циркулярной магнитной проницаемости, определяемой на основе квазистатической модели однородного вращения намагниченности;
- *раскрыты* механизмы влияния на высокочастотный электрический импеданс и магнитные свойства магнитомягких проводников термического, деформационного, магнитополевого и их совместного воздействий, основанные на неоднородностях магнитной доменной структуры, объемного распределения механических закалочных напряжений и структурных дефектов в аморфных материалах, полученных быстрой закалкой из расплава и их эволюции при последующих различных видах термообработки, а также температурной зависимости их магнитных параметров;
- *изучены* особенности совместного магнитополевого, деформационного и термического воздействий на высокочастотный импеданс магнитомягких проводников;
- *проведена* модернизация методики расчета константы магнитострикции насыщения магнитомягких проводников исходя из данных магнитоимпедансной спектроскопии, позволившая оптимизировать процедуру ее определения.

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

- *разработаны и внедрены* в практику экспериментальных исследований магнитоимпедансная спектроскопия структурной релаксации аморфных сплавов; новые методы определения температур Кюри и смены знака константы магнитострикции магнитомягких проводников исходя из их термо-, стресс- и магнитоимпедансных зависимостей;

магнитомягких проводников с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике, в тех случаях, когда такое сравнение является обоснованным;

– использованы: современные автоматизированные способы сбора и обработки экспериментальных данных, апробированные методики теоретических расчетов; объекты исследования – магнитомягкие проводники, прошедшие сертификацию в ведущих научно-исследовательских центрах на современном измерительном оборудовании.

*Личный вклад соискателя состоит в:*

самостоятельном выборе темы исследования, постановке задач и определении направлений их решения, разработке исследовательского измерительного комплекса, участии автора в получении исходных данных в ходе научных экспериментов, обработке и интерпретации экспериментальных данных, подготовке публикаций по теме исследования, подготовке заявок на патенты.

На заседании 01.10.2015 г. диссертационный совет принял решение присудить Семирову А.В. ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 17 докторов наук по специальности защищаемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, проголосовали: за 16, против – нет, недействительных бюллетеней – 1.

Председатель  
диссертационного совета

Ученый секретарь  
диссертационного совета

01.10.2015 г.



Памятных Евгений Алексеевич

Овчинников Александр Сергеевич