

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 003.055.02 НА БАЗЕ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ  
НАУКИ ИНСТИТУТА ФИЗИКИ ИМ. Л.В. КИРЕНСКОГО СИБИРСКОГО  
ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА  
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 23 мая №4

О присуждении Голыгину Евгению Александровичу (Россия) ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Влияние температуры на  $\Delta E$ -эффект в аморфных металлических сплавах на основе переходных металлов» по специальности 01.04.11 – физика магнитных явлений принята к защите 14.03.2014, протокол № 2 диссертационным советом Д 003.055.02 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики им. Л.В.Киренского Сибирского отделения Российской академии наук (ИФ СО РАН) 660036, г. Красноярск, Академгородок 50, строение № 38, приказ Минобрнауки №714/НК от 2 ноября 2012 г.

Соискатель Голыгин Евгений Александрович 1987 года рождения, в 2009 году окончил Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Иркутский государственный университет» (ГОУ ВПО «ИГУ»)

Голыгин Е. А. в 2012 г. окончил аспирантуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Иркутский государственный университет (ФГБОУ ВПО «ИГУ»), где работает инженером группы материаловедения НИЧ. Диссертация выполнена на кафедре электроники твёрдого тела физического факультета ФГБОУ ВПО «ИГУ».

Научный руководитель: доктор физико-математических наук, доцент Гаврилюк Алексей Александрович работает в ФГБОУ ВПО «ИГУ», заведующий кафедрой электроники твёрдого тела физического факультета.

Официальные оппоненты: Лепешев Анатолий Александрович, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет» (ФГАОУ ВПО СФУ), заведующий кафедрой ЮНЕСКО «Новые материалы и технологии»; Комогорцев Сергей Викторович, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики им. Л. В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук дали положительные отзывы на диссертацию. Ведущая организация Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Дальневосточный федеральный университет» (г. Владивосток) в своём положительном заключении, подписанном зав. кафедрой «Физика низкоразмерных структур», доктором физико-математических наук, профессором, чл.-корр. РАН Сараниным А. А. и доктором физико-математических наук, профессором Чеботкевич Л. А. указала, что Е. А. Голыгин обладает высокой квалификацией в области физики магнитных явлений и заслуживает искомой степени по специальности 01.04.11.

Соискатель имеет 24 опубликованные работы по теме диссертации, в том числе пять из них в журналах из перечня ВАК РФ, один патент РФ на полезную модель.

1. Гаврилюк А. А. Возбуждение магнитоупругих колебаний в аморфных металлических лентах с одноосной наведенной анизотропией / А. А. Гаврилюк, А. Л. Семенов, Е. А. Голыгин, Н. В. Морозова, А. В. Гаврилюк, З. Л. Ярычева, А. Р. Гафаров, А. Ю. Моховиков // Известия вузов. Физика. – 2012. – Т. 55. – № 6. – С. 62–68.

2. Гаврилюк А. А. Влияние температуры на  $\Delta E$ -эффект в аморфных металлических лентах состава  $Fe_{64}Co_{21}B_{15}$  / А. А. Гаврилюк, А. Л. Семенов, Е. А. Голыгин, А. А. Зинченко, А. Р. Гафаров // ФММ – 2013. – Т. 114, В. 4. – С. 325–328.

3. Гаврилюк А. А. Влияние температуры на  $\Delta E$ -эффект в аморфных металлических лентах  $Fe_{67}Co_{10}Cr_3Si_5B_{15}$  / А. А. Гаврилюк, А. Л. Семенов, А. В. Гаврилюк, Е. А. Голыгин, А. Р. Гафаров, М. Ю. Просекин, И. Г. Просекина, Б. В. Гаврилюк, Н. В. Морозова, А. Ю. Моховиков // Материаловедение. – 2013. – В. 3. – С. 13–18.

4. Семенов А. Л. Влияние термоциклирования на динамические магнитные характеристики быстрозакаленных лент FeCoCrSiB и FeCoB/ А. Л. Семенов, А. А. Гаврилюк, Е. А. Голыгин, А. Р. Гафаров, Н. В. Морозова, Ю. В. Пузанков // Вестник БГУ. – 2013. – В. 3. – С. 119–123.

5. Семёнов А. Л. Влияние термомагнитной обработки на температурную стабильность динамических магнитных характеристик аморфных металлических лент / А. Л. Семёнов, А. А. Гаврилюк, А. А. Гафаров, Е. А. Голыгин, А. Ю. Моховиков, Н. В. Морозова // Известия вузов. Чёрная металлургия – 2013. – № 12. – С. 65–67.

6. Гаврилюк А. А. Датчик температуры на аморфной металлической ленте / А. А. Гаврилюк, А. Л. Семёнов, А. Ю. Моховиков, Е. А. Голыгин, С. М. Зубрицкий // Патент РФ на полезную модель № 129634. – 2013.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы: 1. ФГАОУ ВПО «Дальневосточный федеральный университет» (ведущая организация). Замечания: а). На рис. 3.1.1.12 скорее всего приведена не доменная структура, а шум, обусловленный внешними причинами (наводками). Тем более это не рябь намагниченности. Рябь намагниченности не может иметь параллельную тонкую структуру. Рябь намагниченности показывает дисперсию вектора намагниченности, а на данном рисунке никакой дисперсии вектора намагниченности нет; б). На стр. 88 написано, что при увеличении температуры нагрева до 270–300°C в лентах наблюдается положительный  $\Delta E$ -эффект. На графике 3.2.1 приведена только температура 300°C. Также нет графиков для температуры 330°C на рис. 3.2.3; в). На протяжении всей работы автор говорит о поведении доменной структуры и даже о типе доменных границ. Однако в работе нет ни одного изображения доменной структуры и тем более доменных границ, подтверждающих утверждение автора; г). Непонятно почему Голыгин Е. А. не пользовался моделированием доменной структуры, что позволило бы ему увидеть разворот спинов в границах; д). В работе приведены формулы (3.2.1) и (3.2.2), по которым можно оценить модуль упругости с учетом блоховских и неелевских доменных границ. Однако в работе не приведены значения параметров, входящих в формулы, а также не приведены оценки значений модулей упругости, поэтому, не понятен вывод, что формула (3.2.1) описывает уменьшение, а формула (3.2.2) –

увеличение модуля упругости; е). На стр. 93 написано «Петли гистерезиса свидетельствуют о наличии в них при комнатной температуре выраженной наведённой одноосной анизотропии». Однако форма петель гистерезиса говорит как раз об обратном; 2. Лепешева А. А., д.т.н., профессора ФГАОУ ВПО СФУ (оппонент). Замечания: а). Рассматриваемая в работе наведённая анизотропия является результатом протекающих в сплавах кинетических процессов. Однако исследование кинетики в работе отсутствует. Непонятно, является этот процесс моноактивационным или протекает при наличии нескольких механизмов активации? Каковы энергии активации? б). Процесс формирования наведённой анизотропии сравнимый по времени экспозиции при термообработке эффективно протекает в определённых температурных областях. Каковы они? в). В работе считается, что основным механизмом формирования наведённой анизотропии является упорядочение пар магнитоактивных ионов Fe-Fe. Однако, наряду с этим возможно упорядочение пар Fe-Co, Co-Co, Fe-Me, Co-Me, где Me – металлоид. Какова их роль? г). Термическая обработка вблизи области стеклования может приводить к фазовому расслоению и выделению нанокристаллических образований. По сути это также может формировать наведённую анизотропию и изменение  $\Delta E$ -эффекта. Однако в работе исследований в данном направлении не приведено. Неизвестно также мнение соискателя. 3. Комогорцева С. В., к.ф.м.н., с.н.с. (ИФ СО РАН). Замечания: а). Автор обсуждает  $\Delta E$ -эффект в тесной связи с доменной структурой и кривой намагничивания. Почему на кривых намагничивания присутствует магнитный гистерезис, а на полевых зависимостях  $\Delta E$ -эффекта гистерезиса нет? б). В качестве образцов лент вырезались полоски шириной 1 мм. В результате вырезания на краях отреза должны остаться пластические деформации, способные значительно повлиять на свойства исследуемого образца. Поскольку это не упоминается в тексте, очевидно автор считает, что такие деформации незначительны. Контролировалось ли это? в). Как температуры термообработки соотносятся с температурой начала кристаллизации и температурой Кюри исследуемых сплавов? 4. Калинина Ю. Е. – д.ф.м.н., проф., зав.кафедрой физики твёрдого тела ВГТУ. Замечание: Отсутствие убедительной физической трактовки возникновения отрицательного  $\Delta E$ -эффекта,

связываемого автором с блох-неелевском переходом структуры доменных границ; 5. Грановского А. Б. – д.ф.-м.н., проф. кафедры магнетизма физического факультета МГУ. Замечаний нет; 6. Семёнова В. С. – д.т.н., гл.н.с. Института проблем управления РАН. Замечаний нет. 7. Скулкиной Н. А. – д.ф.-м.н., проф. кафедры общей и молекулярной физики ИЕН Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина. Замечаний нет. 8. Васьковского В. О. – д.ф.-м.н., проф., зав. кафедрой магнетизма и магнитных наноматериалов Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина. Замечания: а). Не совсем удачное, на наш взгляд, название работы, в котором отсутствует проблемное звучание; б). Наличие в тексте громоздких формулировок, затрудняющих его восприятие; в). Из автореферата не ясно, какие из полученных в работе результатов и как могут быть применены при проектировании чувствительных элементов датчиков; 9. Ленкова С. В. – д.т.н., заведующего лабораторией электромагнитных явлений Физико-технического института УрО РАН. Замечания: а). В диссертации в пункте 2.1 не описана методика нарезки образцов. Что очень важно, так как при механической нарезке появляются заусенцы и возникает неравномерность по ширине ленты типа трапеции. Известно, что качество боковой поверхности лент и неравномерность по ширине ленты сильно влияет на точность работы феррозондовых датчиков магнитного поля использующих ленты из аморфных металлических сплавов. Удовлетворительные требования по качеству поверхности даёт только электроискровая нарезка пачки лент; б). В диссертации в пункте 2.4. при описании методики измерения не приведены величины резонансных частот, которые важно знать для оценки величины скин-слоя и величины потерь; в).  $E_0$  – модуль упругости ферромагнитного сплава в размагниченном состоянии при отсутствии магнитного поля. В описании измерительной установки не приведена процедура компенсации магнитного поля Земли и процедура размагничивания ленты; г). В работе приведены рисунки петель гистерезиса после термомагнитной обработки без координатной сетки, что затрудняет точное определение параметров петли, и не приведены численные значения коэрцитивной силы и остаточной намагниченности. Величина коэрцитивной силы

позволяет оценить поле необходимое для размагничивания образца и влияние поля Земли; д). В работе приведены исследования  $\Delta E$ -эффекта и петель гистерезиса, но не приведены результаты исследования других динамических магнитных (проницаемость) и магнитоупругих характеристик (коэффициент магнитоупругой связи, пьезомагнитные постоянные), что не позволяет установить корреляционную связь между изменением величины  $\Delta E$ -эффекта и изменением величин динамических магнитных и магнитоупругих характеристик сплавов используемых при разработке актюаторов и датчиков.

Обзор отзывов. Среди важных результатов отмечено, что в работе показано и объяснено, почему в аморфных металлических лентах  $\text{Fe}_{67}\text{Co}_{10}\text{Cr}_3\text{Si}_5\text{B}_{15}$  наблюдается только положительный  $\Delta E$ -эффект. Также предложен метод измерения температурной зависимости наведённой одноосной анизотропии в аморфных металлических лентах  $\text{Fe}_{64}\text{Co}_{21}\text{B}_{15}$ . Также отмечено, что в работе влияние температуры на полевые зависимости  $\Delta E$ -эффекта в аморфных металлических проволоках  $\text{Fe}_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$  объяснено изменением магнитоупругой связи между ядром и приповерхностной областью. Также отмечена важность сбора и обобщения значительного фактического материала по влиянию термомагнитных обработок на  $\Delta E$ -эффект и кривые намагничивания аморфных металлических сплавов в виде лент и проволок.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что оппоненты диссертационной работы являются ведущими, как в России, так и в мире специалистами в области физики магнитных явлений и физики аморфных и наноструктурированных материалов.

Диссертационный совет отмечает, что целью выполненных соискателем исследований являлось выявление закономерностей влияния режимов термообработок на  $\Delta E$ -эффект аморфных металлических сплавов на основе железа в виде лент и проволок, прошедших различные виды предварительной обработки. На основании выполненных соискателем исследований получены следующие основные результаты:

1. Установлено, что в аморфных металлических лентах состава  $\text{Fe}_{67}\text{Co}_{10}\text{Cr}_3\text{Si}_5\text{B}_{15}$  при температурах термомагнитной обработки 330–410°C и последующего на-

грева от 30°C до 300°C реализуется только положительный  $\Delta E$ -эффект. В аморфных металлических лентах  $\text{Fe}_{64}\text{Co}_{21}\text{B}_{15}$ , прошедших термомагнитную обработку в интервале температур 250–350°C, при их нагреве до 210°C наблюдается отрицательный  $\Delta E$ -эффект. Различия в ходе полевых зависимостей  $\Delta E$ -эффекта лент  $\text{Fe}_{67}\text{Co}_{10}\text{Cr}_3\text{Si}_5\text{B}_{15}$  и  $\text{Fe}_{64}\text{Co}_{21}\text{B}_{15}$  обусловлены отсутствием выраженной наведённой одноосной анизотропии в образцах первого состава и с её наличием в образцах второго состава.

2. В аморфных проволоках состава  $\text{Fe}_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ , прошедших обработку постоянным электрическим током при одновременном действии растягивающих напряжений, рост плотности электрического тока обработки приводит к переходу от отрицательного  $\Delta E$ -эффекта к положительному. Фактором, влияющим на полевые зависимости  $\Delta E$ -эффекта в исследованных проволоках, является магнитоупругое взаимодействие их ядра и приповерхностной области.

3. Обнаружено, что в аморфных металлических проволоках состава  $\text{Fe}_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ , прошедших термомагнитную обработку, наблюдается отрицательный  $\Delta E$ -эффект, поле достижения максимального абсолютного значения которого  $H_{\max}$  определяется температурой обработки. Зависимость  $H_{\max}$  от температуры нагрева  $T$  подчиняется соотношению  $H_{\max} = AT^\beta$ , где параметры  $A$  и  $\beta$  ( $\beta = 0,4 \div 0,7$ ) зависят от температуры термомагнитной обработки.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- впервые в магнитострикционных аморфных металлических лентах на основе железа и кобальта подтверждена модель линейной зависимости поля наведенной термомагнитной обработкой анизотропии от температуры нагрева;
- показана возможность влияния магнитоупругого взаимодействия ядра и приповерхностной области аморфной металлической проволоки на основе железа на температурную и магнитополевою зависимость  $\Delta E$ -эффекта.

Значения полученных соискателем результатов для практики подтверждается тем, что им подобраны режимы предварительных обработок, позволяющие получать стабильные полевые зависимости  $\Delta E$ -эффекта в аморфных металлических лентах и проволоках на основе железа, и продемонстрированы возможности широкого направленного варьирования температурных зависимо-

стей их магнитоупругих параметров при помощи вариации режимов их предварительной обработки.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что в работе использованы современные и высокоточные методы исследований, апробированные методики измерений.

Личный вклад соискателя состоит в создании температурной установки для исследования полевых зависимостей  $\Delta E$ -эффекта в высокомагнотриксционных аморфных металлических лентах и проволоках, проведении экспериментальных исследований, обработке и интерпретации результатов, подготовке публикаций.

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного и четкого плана исследования, непротиворечивой методологической платформы, согласованностью и взаимосвязанностью выводов.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней, и принято решение присудить Голыгину Евгению Александровичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

Зам. председателя  
диссертационного совета Д 003.055.02  
д.ф.-м.н., профессор

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 003.055.02  
д.ф.-м.н., с.н.с.

27.05.2014 г.



Игнатченко В.А.

Втюрин А.Н.