

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.285.24 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО 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
23 марта 2017г. № 3

О присуждении Огневу Алексею Вячеславовичу, гражданство Российской Федерации, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Анизотропия и микромагнитная структура низкоразмерных ферромагнетиков» по специальности 01.04.11 – Физика магнитных явлений принята к защите 15 декабря 2016 г., протокол № 8, диссертационным советом Д 212.285.24 на базе Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», Министерство образования и науки Российской Федерации, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19; приказ Министерства образования и науки Российской Федерации о создании диссертационного совета № 714/нк от 02 ноября 2012 г.

Соискатель Огнев Алексей Вячеславович, 1977 года рождения, диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Магнитная анизотропия нанокристаллических пленок Co/Cu/Co» защитил в 2003 году в диссертационном совете, созданном на базе Дальневосточного государственного университета; в 2017 году досрочно (срок окончания – 31 мая 2018 г.) окончил докторантуру Федерального

государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Дальневосточный федеральный университет», Министерство образования и науки Российской Федерации по специальности 01.04.07 - Физика конденсированного состояния; работает в должности ведущего научного сотрудника Дирекции научно-исследовательского комплекса Департамента научной и инновационной деятельности Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Дальневосточный федеральный университет», Министерство образования и науки Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре физики низкоразмерных структур Школы естественных наук Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Дальневосточный федеральный университет», Министерство образования и науки Российской Федерации.

Научный консультант – доктор физико-математических наук, профессор Чеботкевич Людмила Алексеевна, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный федеральный университет», кафедра физики низкоразмерных структур, профессор.

Официальные оппоненты:

Грановский Александр Борисович, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (г. Москва), Физический факультет, кафедра магнетизма, профессор;

Грузнев Дмитрий Вячеславович, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт автоматизации и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук (г. Владивосток), отдел физики поверхности, ведущий научный сотрудник;

Исхаков Рауф Садыкович, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики им. Л. В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук (г. Красноярск), лаборатория физики магнитных плёнок, заведующий, -

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация - Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, в своем положительном заключении, подписанном Мушниковым Николаем Варфоломеевичем, доктором физико-математических наук, академиком РАН, заведующим лабораторией ферромагнитных сплавов указала, что «Работа полностью соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук по специальности 01.04.11 – Физика магнитных явлений, а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени».

Соискатель имеет 223 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 85 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях – 34. Другие публикации по теме диссертации представлены в виде 3 патентов на изобретения; 2 свидетельств о регистрации программы для ЭВМ; 1 статьи в рецензируемом журнале не входящим в перечень ВАК; 45 статей, опубликованных в материалах международных (44) и всероссийских (1) научных конференций. Общим объемом 12,8 п.л./7,1 п.л. – авторский вклад. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

Наиболее значительные научные работы по теме диссертации:

Статьи в рецензируемых научных журналах:

1. Stebliy, M.E., Influence of the properties of soft collective spin wave modes on the magnetization reversal in finite arrays of dipolarly coupled magnetic dots / M.E. Stebliy, A.V. Ognev, A.S. Samardak, L.A. Chebotkevich, R. Verba, G.

- Melkov, V. Tiberkevich, A. Slavin // *J Magn Magn Mater.* –2015. -V.384. - P.166-174 (0,56 п.л./0,3 п.л.).
2. Stebliy, M.E. Vortex manipulation and chirality control in asymmetric bilayer nanomagnets / M.E. Stebliy, A.V. Ognev, A.S. Samardak, A.G. Kolesnikov, L.A. Chebotkevich, X.F. Han // *J Appl Phys.* -2015. -V.117. –17, -P.17A317-1 - 17A317-3 (0,19 п.л./0,15 п.л.).
 3. Davydenko, A.V. Néel coupling in Co/Cu/Co stripes with unidirectional interface roughness / A.V. Davydenko, E.V. Pustovalov, A.V. Ognev, A.G. Kozlov, L.A. Chebotkevich, X.F. Han // *J Magn Magn Mater.* -2015. -V.377. - P.334-342 (0,56 п.л./0,2 п.л.).
 4. Stebliy, M.E. Manipulation of magnetic vortex parameters in disk-on-disk nanostructures with various geometry / M.E. Stebliy, A.G. Kolesnikov, A.V. Ognev, A.S. Samardak, L.A. Chebotkevich // *Beilstein J Nanotechnology.* - 2015; -V.6. -1. -P.697-703 (0,44 п.л./0,4 п.л.).
 5. Samardak, A.S. Conversion of magnetic anisotropy in electrodeposited Co-Ni alloy nanowires / A.S. Samardak, F. Nasirpouri, M. Nadi, E.V. Sukovatitsina, A.V. Ognev, L.A. Chebotkevich, S.V. Komogortsev // *J Magn Magn Mater.* - 2015. -V.383. -P.94-99 (0,38 п.л./0,1 п.л.).
 6. Nasirpouri, F. Electrodeposited $\text{Co}_{93,2}\text{P}_{6,8}$ nanowire arrays with core-shell microstructure and perpendicular magnetic anisotropy / F. Nasirpouri, S.M. Peighambari, A.S. Samardak, A.V. Ognev, E.V. Sukovatitsina, E.B. Modin, L.A. Chebotkevich, S.V. Komogortsev, S.J. Bending // *J Appl Phys.* -2015. - V.117, -P17E715-1 - 17E715-4 (0,25 п.л./0,07 п.л.).
 7. Stebliy, M.E. High-frequency switching of magnetic bistability in an asymmetric double disk nanostructure / M.E. Stebliy, A.V. Ognev, A.S. Samardak, A.G. Kolesnikov, L.A. Chebotkevich, X. Han // *Appl Phys Lett.* – 2014. -V.104. -P.112405-1 – 112405-4 (0,25 п.л./0,15 п.л.).
 8. Ермаков, К.С. Исследование магнитных свойств пленок Co, выращенных на модифицированной поверхности Si(111) / К.С. Ермаков, А.В. Огнев, Л.А. Чеботкевич // *ФТТ*, -2014. -Т. 56, -10, -С.1924-1929 (0,38 п.л./0,22 п.л.).

9. Samardak, A.S. Magnetic vortex state and multi-domain pattern in electrodeposited hemispherical nanogranular nickel films / A.S. Samardak, E. Sukovatitsina, A. Ognev, M. Steblyi, A. Davydenko, L. Chebotkevich, Y. K. Kim, F. Nasirpouri, S.J. Janjan // *Magn Magn Mater.* -2014. -V.371. -P.149-156 (0,5 п.л./0,15 п.л.).
10. Ognev, A.V. An influence of mechanical deformations on crystal structure and spin configuration in magnetic nanowires / A.V. Ognev, A.S. Samardak, L.A. Chebotkevich, E.V. Sukovatitsina, M.E. Steblyi, E.B. Modin, E.V. Pustovalov, V.S. Plotnikov, F. Nasirpouri // *J Appl Phys.* -2013. -V.113. -17. -P.17A334-1-17A334-3 (0,19 п.л./0,15 п.л.).
11. Steblyi, M.E. Magnetoresistive properties of the small disk on a big disk nanostructure / M.E. Steblyi, A.V. Ognev, A.S. Samardak, L.A. Chebotkevich // *J Appl Phys.* -2013. -V.113. -P17B527-1 - 17B527-3 (0,19 п.л./0,1 п.л.).
12. Davydenko, A.V. Mechanism of reversing the Neel domain walls in the Co nanostripes with transverse magnetic anisotropy / A.V. Davydenko, A.V. Ognev, E.V. Pustovalov, L.A. Chebotkevich // *Appl Phys Lett.* -2012. -V.101. -25. -P.252412-1-252412-4 (0,25 п.л./0,15 п.л.).
13. Ognev, A.V. An influence of boundary effects and spatial symmetry on magnetization reversal of nanodisk arrays / A.V. Ognev, M.E. Steblyi, A.S. Samardak, L.A. Chebotkevich // *IEEE Trans Magn.* -2012. -V.48. -11. -P.3651–3653 (0,19 п.л./0,15 п.л.).
14. Steblyi, M.E. 3-D architectural approach for manipulation of the micromagnetic configuration in nanodisks / M.E. Steblyi, A.V. Ognev, A.S. Samardak, K.S. Diga, L.A. Chebotkevich // *IEEE Trans Magn.* -2012. -V.48. -11. -P.4406–4408 (0,19 п.л./0,13 п.л.).
15. Ulrichs, H., Linear and nonlinear collective modes in magnetic microstructures formed by coupled disks / H. Ulrichs, V.E. Demidov, S.O. Demokritov, A.V. Ognev, M.E. Steblyi, L.A. Chebotkevich, A.S. Samardak // *Phys Rev B Condens Matter Mater Phys.* -2011. -V.83. -P.184403-1–184403-5 (0,31 п.л./0,05 п.л.).

16. Стеблій, М.Е. Магнитная структура нанодисков с короной / М.Е. Стеблій, А.В. Огнев, А.С. Самардак, А. Nogaret, Л.А. Чеботкевич // Известия Российской Академии наук: Серия физическая, -2011. -Т.75. - С.212-213 (0,13 п.л./0,1 п.л.).
17. Стеблій, М.Е. Особенности магнитных свойств пленок и наноточек Pd/Fe/Pd / М.Е. Стеблій, А.В. Огнев, Ю.П. Иванов, Е.В. Пустовалов, В.С. Плотников, Л.А. Чеботкевич // Известия Российской Академии наук: Серия физическая. -2010. -Т.74. -10, -С.1468–1470 (0,19 п.л./0,1 п.л.).
18. Чеботкевич, Л.А. Структура и магнитные свойства пленок кобальта на Si (111) и Si (100) / Л.А. Чеботкевич, К.С. Ермаков, В.В. Балашов, А.В. Давыденко, Ю.П. Иванов, А.В. Огнев // ФММ. -2010. -Т. 109, -6, -С.644-650 (0,44 п.л./0,2 п.л.).
19. Чеботкевич, Л.А. Влияние диффузии и напряжений на магнитные свойства многослойных пленок Fe/Pd и Fe/Ge/ Л.А. Чеботкевич, А.В. Огнев, Ю.П. Иванов, К. Lenz, А.И. Ильин, К.С. Ермаков // ФТТ. -2009. -Т.51, -9. -С.1761-1765 (0,31 п.л./0,25 п.л.).
20. Чеботкевич, Л.А. Коэрцитивная сила и наведенная анизотропия многослойных пленок / Л.А. Чеботкевич, Ю.П. Иванов, А.В. Огнев // ФТТ. -2007. -Т.49. -11. -С.2039-2044 (0,38 п.л./0,27 п.л.).
21. Чеботкевич, Л.А. Доменная структура многослойных, нанокристаллических пленок с косвенной обменной связью / Л.А. Чеботкевич, А.В. Огнев, Ю.П. Иванов, Б.Н. Грудин // ФММ. -2005. -Т. 100. -6. -С.42–49 (0,5 п.л./0,35 п.л.).
22. Огнев, А.В. Магнитная анизотропия нанокристаллических Co/Cu/Co пленок / А.В. Огнев, Ю.Д. Воробьев, Л.А. Чеботкевич // ФММ. -2004. -Т.97. -6, -С.47-52 (0,38 п.л./0,32 п.л.).

Патенты:

1. Пат. №. 2323485 Российская Федерация, МПК G11B 5/716. Улучшение характеристик магнитных носителей информации, состоящих из двух или более ферромагнитных слоев, разделенных немагнитной прослойкой

- [Текст]/ А.В. Огнев, Ю.Д. Воробьев, Л.А. Чеботкевич. -№ 2006113561/28; заявл. 21.04.2006; опубл. 27 04.2008 Бюл. № 12.
2. А.с. 2011611831 Российская Федерация. Анализ петель магнитного гистерезиса – AutoHysteresis [Текст] / Огнев А.В., Стеблей М.Е. - № 2011610142; заявл. 11.01.2011, опубл. 28.02.2011.
 3. А.с. 2011617029 Российская Федерация. Программно-аппаратный комплекс AutoMagTrans [Текст] / Огнев А.В., Стеблей М.Е., Самардак А.С. - № 2011615184; заявл. 12.04.2011; опубл. 09.09.2011.
 4. Пат. № 2522844 Российская Федерация, МПК H01L 21/20 B82Y 40/00. Способ формирования эпитаксиальных наноструктур меди на поверхности полупроводниковых подложек [Текст] / Огнев А.В, Ермаков К.С., Чеботкевич Л.А., Самардак А.С.- № 2013103122/28; заявл. 23.01.2013, опубл. 20.07.2014, Бюл. № 20.
 5. Пат. 2528124 Российская Федерация, МПК G01R 33/02 G11C 11/02 Магнитный элемент и способ контроля параметров магнитного вихря в ферромагнитных дисках [Текст] / Огнев А.В., Стеблей М.Е., Самардак А.С, Чеботкевич Л.А. - № 012128784/28; заявл. 09.07.2012; опуб. 10.09.2014, Бюл. № 25.

На автореферат поступили положительные отзывы: **Комогорцева Сергея Викторовича**, доктора физико-математических наук, доцента кафедры физики и **Фелька Владимира Александровича**, кандидата физико-математических наук, доцента кафедры технической физики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнева» (г. Красноярск). В отзыве отмечается, что представлен значительный экспериментальный материал по исследованию корреляций магнитной анизотропии и микромагнитной структуры в сэндвичах со знакопеременным межслойным взаимодействием, нанополосках выращенных на ступенчатой поверхности монокристалла, нанопроволоках и массивах магнитных нанодисков. Интересен новый способ управления вихревым состоянием в магнитных дисках с помощью

асимметрично расположенных на них наноструктурах меньшего размера: нанодиска или нанополосок; **Никитова Сергея Апполоновича**, доктора физико-математических наук, профессора, член-корр. РАН, директора Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук (г. Москва). В отзыве отмечается разнообразие методов получения и исследования структуры и магнитных свойств экспериментальных образцов, использованных автором диссертации. При этом результаты, полученные разными методами, дополняют и усиливают друг друга; **Писарева Романа Васильевича**, доктора физико-математических наук, профессора, главного научного сотрудника, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук (г. Санкт-Петербург). В отзыве отмечается, что в диссертации изложен большой экспериментальный материал, проводилась подробная паспортизация полученных образцов с использованием современных диагностических методов. Это позволяет говорить о высокой степени новизны, оригинальности и надежности полученных результатов, которые были использованы для формулировки основных выводов диссертационной работы; **Таскаева Сергея Валерьевича**, доктора физико-математических наук, доцента, декана физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Челябинский государственный университет» (г. Челябинск). В отзыве отмечается, что наиболее важными результатами являются обнаружение в пленках Co/Cu(Ru)/Co с косвенной антиферромагнитной связью двухосной магнитной анизотропии и сложной доменной структуры, формирование вихрей в нанополосках с конкурирующими анизотропиями и разработанные способы управления киральностью вихревого состояния в нанодисках с размещенными на них наноструктурами.

Отзывы на автореферат замечаний и вопросов не содержат.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их широкой известностью и достижениями в области физики

магнитных явлений, наличием аналитических работ и цитируемых публикаций с результатами исследований магнитных материалов и способностью определить научную и практическую значимость диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана концепция управления процессами перемагничивания и микромагнитной структурой низкоразмерных объектов с помощью магнитной анизотропии и косвенной обменной связи, открывающая возможности создания сред для записи информации с высокой плотностью;

предложены оригинальные методы управления киральностью вихревого состояния в нанодисках с помощью магнитных наноструктур, связанных диполь-дипольным взаимодействием с нанодисками;

показана перспективность использования структур типа «диск на диске» для создания магниторезистивной памяти с тремя устойчивыми состояниями (-1, 0, 1), которая может быть использована в вычислительных устройствах с троичной системой счисления;

доказано наличие связи между косвенным обменным взаимодействием, случайной магнитной анизотропией, коэрцитивной силой и доменной структурой в многослойных поликристаллических магнитных пленках с немагнитной прослойкой;

введено понятие «анизотропия процессов намагничивания» применительно к описанию магнитных свойств поликристаллических пленок с косвенной обменной связью и массивов нанодисков.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказано с помощью микромагнитного моделирования и продемонстрировано экспериментально образование магнитных вихрей и антивихрей в доменных границах пленок Co/Ru/Co с антиферромагнитным косвенным обменным взаимодействием и двухосной магнитной анизотропией процессов намагничивания;

применительно к проблематике диссертации использованы методы микромагнитного моделирования в сочетании с расчётами изображений

магнитной силовой микроскопии и Лоренцевой электронной микроскопии, метод расчета мнимой части магнитной восприимчивости, а также аналитические расчеты полей зарождения и аннигиляции магнитных вихрей в нанодисках, и показана эффективность применимость этих методов в подобных исследованиях;

предложена расширенная модель случайной магнитной анизотропии, учитывающая наведенную магнитную анизотропию и косвенное обменное взаимодействие в многослойных поликристаллических магнитных пленках с немагнитной прослойкой, которая объясняет осцилляции коэрцитивной силы и радиуса ферромагнитной корреляции, обнаруженные в пленках Co/Cu/Co в зависимости от толщины немагнитной прослойки;

раскрыты особенности процесса перемагничивания нанополосок Co с конкурирующими анизотропиями: показано, что в процессе перемагничивания изменение полярности доменных границ Нееля происходит через зарождение, смещение и аннигиляцию магнитных вихрей в границах;

сформулированы идеи об источнике осциллирующего поведения поля зарождения вихрей в зависимости от размера массивов нанодисков пермаллоя. Показано, что в конечных массивах нанодисков диполь-дипольное взаимодействие влияет на процесс перемагничивания и, в частности, приводит к осцилляциям поля зарождения вихря.

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

разработаны способ формирования массивов магнитных нанополосок, которые могут служить основой для создания магниторезистивной памяти с подвижными доменами; способ улучшения характеристик магнитных носителей информации, состоящих из двух или более ферромагнитных слоёв, разделённых немагнитной прослойкой; методика манипулирования магнитными нанопроволоками с помощью кантилевера сканирующего зондового микроскопа, которая позволяет

локально модифицировать магнитную анизотропию и изменять магнитную структуру проволок;

определены перспективы практического использования наноструктур, с возможностью управления киральностью вихревого состояния, для создания магниторезистивной памяти;

создана система практических рекомендаций по управлению процессами перемагничивания ферромагнитных структур размерами от десятка нанометров до нескольких микрометров с помощью магнитной анизотропии;

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ использовано современное научно-исследовательское оборудование и методы получения магнитных пленок и наноструктур, применены взаимодополняющие методики исследования магнитных и магнитотранспортных свойств низкоразмерных структур;

идеи базируются на результатах экспериментальных исследований магнитной анизотропии, косвенной обменной связи, микромагнитной структуры в тонких магнитных пленках и наноструктурах;

установлено качественное и количественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в литературе для поликристаллических магнитных нанодисков и нанополосок, трехслойных пленок с косвенной обменной связью, результатами микромагнитного моделирования конфигураций спинов в наноструктурах и динамических свойств магнитных вихрей в нанодисках;

использована комбинация современных методов и подходов прогнозирования магнитных свойств наноструктур и интерпретации экспериментальных данных, базирующихся на микромагнитном моделировании и сопоставлении рассчитанных и экспериментально полученных результатов.

Личный вклад соискателя состоит в:

постановке задач исследования, анализе, описании и представлении результатов в печати. Получение, обработка и интерпретация

экспериментальных данных сканирующей зондовой микроскопии, вибромагнетометрии, а также измерения магнитосопротивления выполнены автором лично. Во всех остальных экспериментальных исследованиях автор принимал непосредственное участие. В работах, опубликованных в соавторстве, автору принадлежат результаты, сформулированные в защищаемых положениях и выводах. Исследования магнитной структуры пленок Fe/Ge и Fe/Pd проводились совместно с Ивановым Ю.П., исследование структуры пленок Co/Cu/Co - совместно с Самардаком А.С., экспериментальные исследования структуры пленок Co/Ru/Co методами просвечивающей электронной микроскопии - совместно с Пустоваловым Е.В., разработка способа получения эпитаксиальных полосок Co методом самоорганизации - совместно с Ермаковым К.С., исследование процессов перемагничивания полосок с конкурирующими анизотропиями - совместно с Давыденко А.В., исследование процессов перемагничивания структур «диск на диске» - совместно со Стеблием М.Е., разработка модели, описывающей осцилляции поля зарождения вихрей в массивах – совместно с Верба Р., Тиберкевичем В.С. и Славиним А.Н.

Диссертационная работа Огнева Алексея Вячеславовича соответствует п. 9 Положения о присуждении ученых степеней и является значимой научно-квалификационной работой, в которой, на основании выполненных автором исследований, поставлены и раскрыты многие вопросы нового научного направления – физика низкоразмерных магнитных структур. Диссертационная работа представляет завершённое научное исследование. Полученные в ней фундаментальные и прикладные результаты, предложенные обобщающие положения, рассматриваются как важный вклад в развитие физики магнитных явлений в целом, а также как значительное достижение, обеспечивающее прогресс в наиболее актуальных областях магнетизма.

На заседании 23 марта 2017 г. диссертационный совет принял решение присудить Огневу 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 рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, проголосовали: за – 17, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета




Памятных Евгений Алексеевич


Овчинников Александр Сергеевич

23 марта 2017 г.