

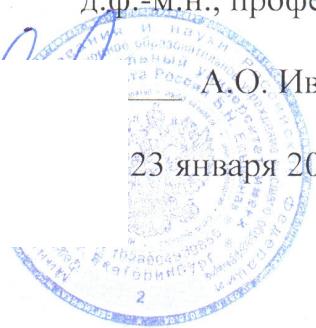
УТВЕРЖДАЮ

Заместитель проректор по науке
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный
университет имени первого
Президента России Б.Н. Ельцина

д.ф.-м.н., профессор

А.О. Иванов

23 января 2017 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу И.В. Блинова «Магнитные и магниторезистивные свойства слоистыхnanoструктур на основе антиферромагнитного тройного сплава Ni-Fe-Mn», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 – Физика магнитных явлений.

Диссертационная работа И.В. Блинова является экспериментальным исследованием, ориентированном на изучение механизмов формирования антиферромагнитного состояния в многослойных плёнках системы Ni-Fe-Mn, и оценке возможности использования таких структур в качестве сред для магнитомикроэлектронных элементов типа «спиновый клапан». Функциональной основой подобных элементов служит эффект гигантского магнитосопротивления. Он, в частности, может реализовываться в плёночных структурах, содержащих ферромагнитные слои с обменным магнитным смещением (закреплением), которое возникает в результате обменной связи этих слоёв с антиферромагнитными слоями. Таким образом, антиферромагнитные слоистые элементы в спиновых клапанах играют вспомогательную, но важную роль, обеспечивая возможность изменения взаимной ориентации магнитных моментов ферромагнитных слоёв. То, насколько устойчиво обменное закрепление к температурным воздействиям, во многом задаёт температурные характеристики спиновых клапанов в целом. В этой связи задачи изучения межслойного взаимодействия в плёночных структурах ферромагнетик/антиферромагнетик, поиска новых композиций и условий реализации на их основе слоистых антиферромагнетиков с повышенной температурой Нееля являются весьма актуальными. Они поставлены и успешно решаются в диссертационной работе в рамках системы Ni-Fe-Mn, обладающей наибольшим соответствующим потенциалом, что определяет **актуальность** данного исследования.

Рецензируемая диссертационная работа имеет традиционную структуру и включает в себя введение, пять глав, заключение, список сокращений и условных обозначений и список литературы. Общий объем диссертации составляет 101 страницу, включая 44 рисунка, 3 таблицы, 10 формул и список цитируемой литературы из 141 наименования. По материалам работы опубликовано 6 статей в научных журналах, входящих в перечень ВАК, её результаты представлены в 13 тезисах докладов на международных и всероссийских конференциях.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цели и задачи исследования, показаны научная новизна и практическая значимость результатов работы, описаны основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена обзору литературы по тематике диссертации. В ней представлена информация о магнитных и магниторезистивных свойствах пленочных структур с внутренним магнитным смещением. Подробно рассматривается явление однонаправленной магнитной анизотропии, возникающий в магнитоупорядоченных слоистых комбинациях ферромагнетик/антиферромагнетик, приведены данные о механизмах и способах его формирования. Анализируются материалы, используемые в средах с обменным смещением. В конце главы сформулированы выводы и поставлены задачи исследования.

Во второй главе дано достаточно подробное и квалифицированное описание способов подготовки поликристаллических и монокристаллических подложек, технологического оборудования и методик магнетронного и электронно-лучевого получения тонкопленочных образцов, исследуемых в работе. Описаны методы композиционно-структурной аттестации плёнок и измерения их магнитных и магниторезистивных свойств. В целом, представленный материал показывает высокий уровень методического обеспечения исследований, а использование прецизионного аналитического и измерительного оборудования свидетельствуют о достоверности полученных научных результатов.

В третьей главе представлены результаты исследования структурного состояния и гистерезисных свойств многослойных пленок, содержащих слои пермаллоя и тройного сплава Fe-Ni-Mn с различной концентрацией компонентов. Установлены закономерности изменения поля обменного смещения в зависимости от типа подложек, состава, толщин слоев и условий термомагнитной обработки. Даны их физически обоснованная интерпретация. В частности, показано, что важную роль в установлении кристаллической текстуры типа <111>, определяющей уровень обменной связи между магнитоупорядоченными слоями, играет шероховатость подложек. Найдены оптимальные условия термообработки, позволившие получить в пленках $Fe_{20}Ni_{80}/(Ni_{70}Fe_{30})_{20}Mn_{80}/Co_{90}Fe_{10}$ достаточно высокие значения температуры магнитной блокировки (до 170°C).

Четвертая глава посвящена описанию экспериментов, направленных на реализацию в рамках системы Fe-Ni-Mn упорядоченной антиферромагнитной

фазы с повышенной температурой Нееля. Для этого использовались однослойные плёнки разного состава и двухслойные плёнки Mn/Fe-Ni, а главным способом воздействия на их структурное состояние являлась термомагнитная обработка. Автору удалось получить ряд оригинальных и интересных результатов, относящихся, в первую очередь, к двухслойным образцам. Этому способствовало эффективное применение метода Оже-электронной спектроскопии, позволившее восстановить картину межслойного перемешивания на разных стадиях отжига и сформулировать модель зернограничной диффузии марганца в пермаллой. Практически значимым итогом этой деятельности явилось создание среды с обменным смещением, характеризующейся температурой блокировки около 270 °С.

В пятой главе приводятся результаты оптимизации функциональных свойств магниторезистивной среды типа «спиновый клапан» с закрепляющим антиферромагнитным слоем Fe-Ni-Mn. Автором, в частности, был разработан оригинальный вариант структуры стекло/Ta/Ni₈₀Fe₂₀/Co₉₀Fe₁₀/Cu/Co₉₀Fe₁₀/(Ni₇₀Fe₃₀)₂₀Mn₈₀/Ta с величиной магниторезистивного эффекта ~ 7% и предложена методика изготовления спинового клапана на основе упорядоченной фазы Ni-Fe-Mn, обладающего повышенной температурой блокировки.

В целом данная диссертация представляет собой концептуально выдержанное и законченное исследование, выполненное на актуальную тему. Автором получены **новые** результаты, расширяющие представления о закономерностях образования обменного смещения в плёнках с закрепляющими антиферромагнитными слоями и даны рекомендации по их **практическому использованию**. К наиболее значимым результатам работы относятся: установление кинетики композиционных превращений в плёночной структуре Mn/(Fe-Ni), инициированных термообработкой; формулировка модельных представлений о зёрнограничной локализации упорядоченной антиферромагнитной фазы Mn-Fe-Ni; разработка методик создания магниторезистивных сред типа «спиновый клапан» с повышенной температурой блокировки.

Диссертационная работа содержит и ряд недостатков, заключающихся в следующем.

1. Цель работы, сформулированная как «...определение механизмов формирования обменного взаимодействия...» не в полной мере адекватна представленным результатам. Реально выполненное исследование состоит в поиске и описании композиционных, структурных и функциональных свойств магниторезистивных сред типа «спиновый клапан» с высокой температурой блокировки.

2. Исследование влияния состава слоя Fe-Ni-Mn на свойства плёнок пермаллой/Fe-Ni-Mn выполнено фрагментарно с использование всего двух композиций (Ni₃₂Fe₈Mn₆₀ и Ni₂₁Fe₉Mn₇₀). Причём по итогам исследований плёночных структур такого рода, отраженных в главе 3, делается вывод об

оптимальности свойств плёнок, содержащих слои иного состава – $\text{Ni}_{14}\text{Fe}_6\text{Mn}_{80}$.

3. В главе 4 много говорится об упорядоченной антиферромагнитной фазе NiFeMn , однако сколько-нибудь подробная структурно-химическая характеристика этой фазы отсутствует. Следует также заметить, что формула NiFeMn , которой пользуется автор, подразумевает эквивалентный состав сплава, тогда как действительный состав его неизвестен.

4. В работе неверно трактуется изменение поля обменного смещения в плёночной структуре ферромагнетик/антиферромагнетик при увеличении толщины ферромагнитного слоя как линейно спадающая зависимость.

5. В диссертационной работе присутствуют опечатки и стилистические неточности, число которых, на наш взгляд, превышает среднестатистический показатель. В качестве примеров можно привести высказывания: «...ферромагнитные области с упорядоченной антиферромагнитной фазой...», «... охлаждение через температуру Нееля...», «...система минимизирована...», «... антиферромагнитная анизотропия...», «...обменный сдвиг – эффект границы раздела...».

Отмеченные недостатки не являются принципиальными и не влияют на общую положительную оценку работы, ее научную и практическую значимость. Её результаты достаточно широко освещены в периодической печати и представлены на научных конференциях различного уровня. **Личный вклад** автора во всех составляющих проведённого исследования не вызывает сомнений. Автореферат полностью отражает содержание диссертации. Результаты работы могут быть использованы в научно-исследовательских организациях и вузах, занимающихся исследованиями в области физики магнитных явлений и разработки магнитных материалов, в частности, в Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова, Уральском федеральном университете имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институте физики им.Л.В. Киренского, Челябинском государственном университете, Дальневосточном федеральном университете и др.

Представленное диссертационное исследование соответствует характеристике отрасли физико-математических наук по пункту 2 «Экспериментальные исследования магнитных свойств и состояний веществ различными методами, установление взаимосвязи этих свойств и состояний с химическим составом и структурным состоянием, выявление закономерностей их изменения под влиянием различных внешних воздействий» и содержит исследования, отвечающие пункту 5 «Разработка различных магнитных материалов, технологических приёмов, направленных на улучшение их характеристик, приборов и устройств, основанных на использовании магнитных явлений и материалов» паспорта специальности 01.04.11 – Физика магнитных явлений. Таким образом, диссертационная работа Блинова И.В. «Магнитные и магниторезистивные свойства слоистых наноструктур на основе антиферромагнитного тройного сплава Ni-Fe-Mn »

полностью удовлетворяет требованиям пункта 9 Положения «О присуждении ученых степеней» ВАК Министерства образования и науки РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Блинов Илья Викторович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 – Физика магнитных явлений.

Отзыв рассмотрен и одобрен после обсуждения диссертационной работы Блинова И.В. на объединённом семинаре кафедры магнетизма и магнитных наноматериалов и отдела магнетизма твёрдых тел УрФУ (Протокол № 71 от 13 января 2017 г.).

Профессор кафедры магнетизма
и магнитных наноматериалов
ФГАОУ ВО УрФУ, с.н.с.

620002, г. Екатеринбург,
ул. Мира, 19
тел.: (343) 261-68-23
e-mail: mikhail.bartashevich@urfu.ru



Барташевич
Михаил Иванович

С отзывом ознакомлен 24.01.2017

— /Блинов И.В./

Сведения о ведущей организации

Полное наименование: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Краткое наименование: УрФУ

Почтовый адрес: 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19

Тел.: +7 (343) 375-44-44

E-mail: rector@urfu.ru

<http://urfu.ru>

Основные научные направления

1. Физика конденсированного состояния
2. Физика магнитных явлений
3. Физика полупроводников и диэлектриков
4. Физика кинетических явлений

Публикации в сфере исследований, которым посвящена диссертация

1. Svalov A.V., Kurlyandskaya G.V., Vas'kovskiy V.O. Thermo-sensitive spin valve based on layered artificial ferrimagnet// Appl. Phys. Lett.-2016.-V.108.-P. 063504 (1-4).

2. Gorkovenko A.N., Lepalovskij V.N., Adanakova O.A. and Vas'kovskiy V.O. Using granular Co-Al₂O₃ spacer for optimization of functional parameters of the FeMn/Fe₂₀Ni₈₀ magnetoresistive films// Materials Science and Engineering.- 2016.-V.108.-P. 012041(1-5)

3. Peter Savin, Jorge Guzmán, Vladimir Lepalovskij, Andrey Svalov, Galina Kurlyandskaya, Agustina Asenjo, Vladimir Vas'kovskiy, Manuel Vazquez. Exchange bias in sputtered FeNi/FeMn systems: Effect of short low-temperature heat treatments//JMMM.-2016.-V.402. P.49-54

4. Kulesh N., Balymov K., Adanakova O., Kudukov E., Vas'kovskiy V., Sorokin A./ Magnetic and magnetoresistive properties of Fe10Ni90/Tb-Co films with modified interlayer interface// Journal of Magnetism and Magnetic Materials. - 2016. - V. 415, I. . - P. 57-60.

5. Olga Adanakova, Vladimir Lepalovskij, Andrey Svalov, Aitor Larrañaga, Anton Trubin and Vladimir Vas'kovskiy. Magnetic properties of Ni_xFe_{100-x} layers in exchange-coupled FeMn/Ni_xFe_{100-x} film structures //AIP Conf. Proc.-2016.- V.1767.- P.020001-6.

6. V.O. Vas'kovskiy, O.A. Adanakova, A.N. Gorkovenko, V.N. Lepalovskij, A.V. Svalov, E.A. Stepanova. Exchange Bias in FeMn/M (M = FeNi, Gd, Tb) Films// Physics Procedia 82 (2016) 56 – 62

7. Vladimir Lepalovskij, Andrey Svalov, Konstantin Balymov and Vladimir Vaskovskiy. Exchange Coupling in Ni_xMn_{100-x}/Fe₂₀Ni₈₀ Films//Physics Procedia 82 (2016) 63 – 68

8. Васьковский В.О., Горьковенко А.Н., Кулеш Н.А., Лепаловский В.Н., Савин П.А., Свалов А.В., Степанова Е.А., Щёголева Н.Н., Ювченко А.А. Магниторезистивная среда на основе плёночной структуры Fe₂₀Ni₈₀/Fe₅₀Mn₅₀// ЖТФ.-2015.-Т. 85, вып.1.-С.118-125.

9. Svalov A.V., Kurlyandskaya G.V., Lepalovskij V.N., Savin P.A., Vas'kovskiy V.O. Exchange bias in FeNi/FeMn/FeNi multilayers//Superlattices and Microstructures.- 2015.-V.83.-P. 216–223

10. Yuvchenko A.A., Lepalovskij V.N., Savin P.A., Gor'kovenko A.N., Kulesh N.A., Vas'kovskiy V.O. Optimization of Functional Parameters of Magnetoresistive Fe₂₀Ni₈₀/Fe₅₀Mn₅₀/Fe₂₀Ni₈₀ Films// IEEETr.Magn. -2015.-V.51.-P.2500304.