

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 004.003.01 НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ФИЗИКИ МЕТАЛЛОВ ИМЕНИ М.Н. МИХЕЕВА УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (ИФМ УрО РАН) ФЕДЕРАЛЬНОГО АГЕНСТВА НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 10.02.2017, № 1

О присуждении Блинову Илье Викторовичу, гражданину России, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Магнитные и магниторезистивные свойства слоистых наноструктур на основе антиферромагнитного тройного сплава Ni-Fe-Mn» по специальности 01.04.11 – Физика магнитных явлений принята к защите 02.11.2016, протокол № 11 диссертационным советом Д 004.003.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской Академии наук (ИФМ УрО РАН), Федеральное агентство научных организаций, 620990, Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 18, приказы Минобрнауки РФ № 714/нк от 02.11.2012 и № 188/нк от 26.02.2015.

Соискатель Блинов Илья Викторович, 1982 года рождения, в 2005 году окончил Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский государственный университет им. А.М. Горького», по окончании решением Государственной аттестационной комиссии присуждена квалификация физик по специальности «Физика». Освоил программу подготовки научно-педагогических кадров в очной аспирантуре при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской Академии наук, год окончания аспирантуры 2008, работает в должности научного сотрудника в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, Федеральное агентство научных организаций.

Диссертация выполнена в лаборатории диффузии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, Федеральное агентство научных организаций.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Попов Владимир Владимирович, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Института физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, лаборатория диффузии, заведующий лабораторией.

Официальные оппоненты:

1. Андреева Марина Алексеевна, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник кафедры физики твердого тела физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», г. Москва.

2. Овчинников Владимир Владимирович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией пучковых воздействий, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт электрофизики Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург.

Ведущая организация Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» в своем положительном заключении, подписанном Барташевичем Михаилом Ивановичем, доктором физико-математических наук, профессором, старшим научным сотрудником кафедры магнетизма и магнитных наноматериалов ФГАОУ ВО УрФУ, указала, что диссертационная работа Блинова И.В. «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».

Соискатель имеет 47 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 20 работ, из них: статей, опубликованных в рецензируемых российских и зарубежных научных изданиях – 6; статей, опубликованных в сборниках тезисов и докладов в материалах всероссийских и международных конференций – 13. Общий объем научных изданий по теме диссертации 5.9 печатных листа. Автором разработана технология получения многослойных наноструктур с однонаправленной анизотропией при использовании методов электронно-лучевого и магнетронного напыления. Получены новые данные о магнитных характеристиках слитных наноструктур NiFe/Ni-Fe-Mn. Предложен механизм формирования упорядоченной антиферромагнитной Ni-Fe-Mn фазы при термомагнитной обработке бислоев марганец/пермаллой. Установлены

закономерности изменения магниторезистивных и магнитных свойств наноструктур, содержащих антиферромагнитный сплав Ni-Fe-Mn в зависимости от толщин слоев, режима термомагнитной обработки, порядка нанесения слоев и типа используемой подложки

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Блинов И.В. Влияние термомагнитной обработки на магнитные свойства двухслойных пленок пермаллой/марганец / И.В. Блинов, Т.П. Креницина, С.А. Матвеев, М.А. Миляев, П.Н. Седова, В.В. Попов, В.В. Устинов // Физика металлов и металловедение. — 2011. — V. 112. — P. 372—377.
2. Блинов И.В. Исследование наноструктур на основе бислоев  $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_{20}\text{Mn}_{80}$  с однонаправленной обменной анизотропией / И.В. Блинов, А.В. Королев, Т.П. Креницина, С.А. Матвеев, М.А. Миляев, В.В. Попов, В.В. Устинов // Физика металлов и металловедение. — 2012. — V. 113. — P. 791—797.
3. Blinov I.V. Diffusion Mechanism of Exchange Bias Formation in Permalloy-Manganese Nanostructures at Thermo-Magnetic Treatment / I. V. Blinov, T. P. Krinitsina, S. A. Matveev, M. A. Milyaev, P. N. Sedova, V. V. Popov, V. V. Ustinov // Journal of Nanoscience and Nanotechnology. — 2012. — V. 12. — P. 7562—7565.
4. Блинов И.В. Исследование возможности использования сплавов системы Ni – Fe – Mn в качестве материала для закрепляющих слоев в спиновых клапанах / И. В. Блинов, А. В. Королев, Т. П. Креницина, С. А. Матвеев, М. А. Миляев, В. В. Попов, В. В. Устинов // Перспективные материалы. — 2013. — V. 4. — P. 5—12.
5. Блинов И.В. Образование упорядоченной антиферромагнитной фазы NiFeMn в бислоях пермаллой/марганец в процессе термомагнитной обработки / И.В.Блинов, Т.П.Креницина, А.В.Королев, С.А.Матвеев, Н.К.Архипова, М.А.Миляев, В.В.Попов, В.В.Устинов // Физика металлов и металловедение. — 2014. — V. 115. — P. 360—367.
6. Blinov I.V. Unidirectional Anisotropy In Nanostructures With Antiferromagnetic NiFeMn Layer / I.V. Blinov, T.P. Krinitsina, M.A. Milyaev, V.V. Popov, V.V. Ustinov // Sol. Stat. Phenomena. — 2015. — V. 233-234. — P. 517—521.

На диссертацию и автореферат поступило 8 отзывов. Все отзывы положительные. В них отмечается актуальность темы диссертационной работы, научная новизна полученных результатов, их теоретическая и практическая значимость. Отзывы без замечаний поступили от: Семенова Валентина Георгиевича, доктора физико-математических наук, профессора, Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург; Камзина Александра Сергеевича, доктора физико-математических наук, профессора, ведущего научного сотрудника лаборатории физики

сегнетоэлектричества и магнетизма Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе РАН, г. Санкт-Петербург; Ремпелья Андрея Андреевича, член-корр. РАН, профессора, доктора физико-математических наук Институт химии твердого тела УрО РАН, г. Екатеринбург; Лобанова Михаила Львовича, доктора технических наук, профессора кафедры физики металлов и термообработки Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург; Варнакова Сергея Николаевича, кандидата технических наук, доцента, старшего научного сотрудника ФГБОУ ВО «Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнёва», г. Красноярск; Грабовецкой Галины Петровны доктора физико-математических наук, ведущего научного сотрудника, Институт физики прочности и материаловедения СО РАН. г. Томск; Повзнера Александра Александровича, доктора физико-математических наук, профессора, заведующего кафедрой физики «Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург

Замечания содержатся в следующих отзывах:

От кандидата физ.-мат. наук, Огнева Алексея Вячеславовича, ведущего научного сотрудника ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет» г. Владивосток

Замечания:

- 1) При обсуждении результатов измерений  $H_{ex}$  от толщины слоя пермаллоя, автор указывает, что величина поля обменного смещения убывает обратно пропорционально толщине ферромагнитного слоя. Однако вид зависимости  $H_{ex} = f(t_{FM})$  в диссертации (см. рис. 3.3 на стр. 53) не соответствует зависимости  $1/t_{FM}$ . Также при обсуждении этих результатов не использованы данные для пленок с толщиной антиферромагнитного слоя  $t_{AFM} = 10$  нм (см.рис 2. в автореферате).
- 2) Автор утверждает, что стеклянные подложки имеют поликристаллическую структуру, однако не указывает как были получены поликристаллические стекла из аморфных.
- 3) Проведенные рентгенографические исследования образцов осажденных на подложки из стекла, показали присутствие острой аксиальной текстуры  $\langle 111 \rangle$ . Этот вывод подтверждается дифрактограммами на рис. 3.5. в диссертации. К

сожалению автор не объясняет почему произошел сдвиг пиков NiFe(111) и NiFeMn (111) на рис.4 в автореферате, по сравнению с данными на рис. 3.5 в диссертации.

- 4) В основных результатах работы желательно было указать конкретные условия получения слоистых наноструктур, а также значение минимальной толщины АФ слоя.

Выбор официальных оппонентов доктора физико-математических наук, Андреевой Марины Алексеевны и доктора физико-математических наук, профессора, Овчинникова Владимира Владимировича, а также ведущей организации обосновывается публикациями оппонентов, основными научными направлениями ведущей организации, тематикой структурного подразделения и публикациями, относящимися к сфере исследований, которым посвящена диссертация.

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

1. Установлен механизм формирования упорядоченной антиферромагнитной фазы Ni-Fe-Mn с концентрацией Mn  $\approx$  40-60 ат.%, в соответствии с диаграммой магнитного состояния системы Ni-Fe-Mn, при термомагнитной обработке двухслойных пленок пермаллой/марганец. При отжиге марганец проникает в пермаллой по границам кристаллитов, а затем диффундирует от границ в приграничные объемы матрицы. При этом сплошной антиферромагнитный слой между слоями не образуется;

2. Формирование упорядоченной антиферромагнитной фазы Ni-Fe-Mn с концентрацией Mn  $\approx$  40-60 ат.% приводит к высокой величине обменного смещения с температурой блокировки 270 °С;

3. Установлены оптимальные условия получения слоистых наноструктур с заданными магнитными свойствами (температурой блокировки и полем смещения петли магнитного гистерезиса), полученные в результате изменения состава сплава Ni-Fe-Mn:  $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_{40}\text{Mn}_{60}$ ,  $(\text{Ni}_{70}\text{Fe}_{30})_{30}\text{Mn}_{70}$ ,  $(\text{Ni}_{70}\text{Fe}_{30})_{20}\text{Mn}_{80}$  типа подложки, толщин слоёв и технологических режимов;

4. Показано, что тройной сплав  $(\text{Ni}_{70}\text{Fe}_{30})_{20}\text{Mn}_{80}$  может быть использован в качестве закрепляющего слоя в спиновом клапане. Создан оригинальный спиновый клапан с верхним расположением сплава  $(\text{Ni}_{70}\text{Fe}_{30})_{20}\text{Mn}_{80}$ , с магнитосопротивлением  $\sim 7\%$  и магниторезистивной чувствительностью  $\sim 0,75\%/Э$ ;

5. Разработан полный технологический цикл приготовления наноструктур спиновый клапан с нижним расположением упорядоченной антиферромагнитной фазы Ni-Fe-Mn с концентрацией Mn  $\approx$  40-60 ат.%, обладающей высокой температурной стабильностью.

**Теоретическая значимость** исследования состоит в том, что:

1. Получены данные о влиянии различных типов антиферромагнитных материалов на основе Ni-Fe-Mn, используемых в качестве закрепляющего слоя, режимов термомагнитной обработки, толщин слоев и используемой подложки на гистерезисные и магниторезистивные свойства металлических наноструктур, обладающих внутренним магнитным смещением.

2. Показано, что при термомагнитной обработке выше 300 °С однослойных пленок, приготовленных из тройных сплавов  $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_{60}\text{Mn}_{40}$  и  $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_{40}\text{Mn}_{60}$ , образования упорядоченной антиферромагнитной фазы Ni-Fe-Mn не происходит, а происходит распад на две фазы – марганец и пермаллой.

3. Показана возможность образования упорядоченной антиферромагнитной фазы Ni-Fe-Mn при термомагнитной обработке бислоев марганец/пермаллой. Ключевую роль в образовании упорядоченной антиферромагнитной фазы Ni-Fe-Mn играет диффузия марганца по границам кристаллитов в нанокристаллической пленке пермаллоя.

**Практическая значимость** работы заключается в разработке технологии изготовления наноструктуры «спиновый клапан» с закрепляющим антиферромагнитным слоем  $(\text{Ni}_{70}\text{Fe}_{30})_{20}\text{Mn}_{80}$ , обладающей повышенными функциональными характеристиками. Создан оригинальный спиновый клапан с верхним расположением сплава  $(\text{Ni}_{70}\text{Fe}_{30})_{20}\text{Mn}_{80}$ , с магнитосопротивлением  $\sim 7\%$  в поле 16 Э и магниторезистивной чувствительностью = 0,75%/Э. Разработан полный технологический цикл приготовления наноструктур спиновый клапан с нижним расположением упорядоченной антиферромагнитной фазы Ni-Fe-Mn с концентрацией Mn  $\approx$  40-60 ат.%, обладающей высокой температурной стабильностью. Магниторезистивный эффект такого типа структур составляет  $(\Delta R/R_s) \sim 4\%$ .

**Достоверность** полученных в работе данных, аргументированность заключений и выводов обеспечивается использованием аттестованных образцов и аттестованного современного экспериментального оборудования. Результаты исследований, приведенные

в диссертации, согласуются между собой и не противоречат известным научным представлениям и результатам.

**Личный вклад соискателя.** Совместно с научным руководителем автор участвовал в постановке задач и выборе объектов исследования. Автором совместно с Матвеевым С.А. и Архиповой Н.К. изготовлены образцы методом электронно-лучевого напыления. Изготовление образцов методом магнетронного напыления проведено автором при участии Проглядо В.В. и Наумовой Л.И. Автором лично проведены магнитные и магниторезистивные измерения на вибрационном магнитометре. Оже-спектроскопические исследования проводились автором при участии Степанова К.А. и Седовой П.Н. Лично автором проведена термомагнитная обработка образцов, исследовано распределение концентрации элементов по глубине образцов. Автор принимал непосредственное участие в обсуждении результатов работы, написании статей и тезисов докладов. Результаты исследований докладывались автором на всероссийских и международных конференциях.

Диссертация представляет собой научно-квалификационную работу и соответствует критериям п.9 и п.14, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842.

На заседании 10.02.2017 года диссертационный совет принял решение присудить Блинову Илье Викторовичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 5 докторов по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, проголосовали: за – 18, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Заместитель председателя диссертационного совета,  
доктор физ.-мат. наук



Н.Г. Бебенин

Ученый секретарь диссертационного совета,  
доктор физ.-мат. наук



Т.Б. Чарикова

13 февраля 2017 г.