

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Блинова Ильи Викторовича

«Магнитные и магниторезистивные свойства слоистых наноструктур 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

Актуальность темы диссертационной работы. Диссертационная работа Блинова И.В., посвященная решению проблемы создания наноструктур типа «спиновый клапан», обладающих существенным магниторезистивным эффектом и магниторезистивной чувствительностью, а также высокой температурной стабильностью, является, безусловно, актуальной и важной.

Для усиления обменного взаимодействия в системах ферромагнетик (ФМ)/антиферромагнетик (АФ) (входящих в структуру спинового клапана) и, соответственно, увеличения таких ключевых характеристик, как поле смещения H_{ex} , и температура блокировки T_b (при которой величина H_{ex} для бислоя ФМ/АФ становится равной нулю), а также с целью повышения коррозионной стойкости автором было предложено использовать в качестве АФ слоя трехкомпонентные сплавы системы Ni-Fe-Mn. На момент начала рецензируемой работы информация, необходимая для применения этих сплавов в качестве закрепляющих слоев в спиновых клапанах, в мировой литературе отсутствовала (использовались, главным образом, лишь бинарные сплавы, содержащие марганец).

В научном плане И.В. Блинову потребовалось впервые установить физические закономерности формирования однонаправленной магнитной анизотропии в наноструктурах ферромагнетик/антиферромагнетик, содержащих антиферромагнитный тройной сплав Ni-Fe-Mn.

Тема работы предполагает также изучение возможностей использования сплавов системы Ni-Fe-Mn в качестве закрепляющего слоя в спиновых клапанах. Это же касается создания оригинальных типов спиновых клапанов, а также выполнения трудоемких исследований по оптимизации магнитных и магниторезистивных свойств посредством варьирования толщин слоев с целью получения высоких значений магнитосопротивления и поля смещения. Безусловно, актуальна также разработка полного технологического цикла приготовления наноструктур спиновый клапан с нижним расположением упорядоченной АФ фазы Ni-Fe-Mn, обладающей высокой температурной стабильностью.

Структура и содержание диссертационной работы. И.В. Блиновым получен и проанализирован значительный экспериментальный материал. Были рассмотрены следующие классы материалов: обменносвязанные двухслойные наноструктуры, характеризующиеся однонаправленной анизотропией, содержащие антиферромагнитный сплав Ni-Fe-Mn, и наноструктуры спиновый клапан, в которых в качестве закрепляющего слоя использовался сплав $(\text{Ni}_{70}\text{Fe}_{30})_{20}\text{Mn}_{80}$ и упорядоченная АФ фаза NiFeMn, полученная в результате термомагнитной обработки наноструктур пермаллой/марганец.

Диссертационная работа содержит введение, обзор литературы (глава 1), описание материалов и методов исследования (глава 2), 3 экспериментальные главы (главы 3-5), заключение, список сокращений и условных обозначений и список литературы. **Во введении** сформулирована актуальность работы, а также её цели и задачи. **В первой главе** дан обзор литературы, посвященной исследованию магнитных и магнитотранспортных свойств наноструктур, обладающих внутренним магнитным смещением. Рассмотрены физические основы явления гигантского магнитосопротивления. Дан подробный анализ природы обменного взаимодействия на границе раздела в наноструктурах ФМ/АФ. Проанализировано влияние толщины ФМ и АФ слоев на эффективность межслойной связи. Описаны основные свойства наноструктуры типа «спиновый клапан». Приводятся характеристики материалов, используемых для обменного смещения в спиновых клапанах. В заключении поставлена цель и сформулированы задачи и исследования диссертационной работы. **Во второй главе** дано описание методов получения образцов и использованных экспериментальных методик. **В третьей главе** приведены результаты исследования магнитных свойств двухслойных пленок, содержащих антиферромагнитный тройной сплав Ni-Fe-Mn. Важным преимуществом данного сплава является простота изготовления мишеней для магнетронного напыления и невысокая стоимость входящих в его состав компонентов. Описаны установленные автором впервые физические закономерности поведения поля обменного сдвига в зависимости от используемого типа подложки, толщины слоев и концентрации компонент в антиферромагнитном слое Ni-Fe-Mn. **В четвертой главе** приведены результаты исследований образования упорядоченной антиферромагнитной фазы NiFeMn в наноструктурах, состоящих из монослоев Ni-Fe-Mn и двухслойных пленок пермаллой/марганец. В результате исследования структуры, магнитных характеристик, поэлементного состава в бислоях марганец/пермаллой определен оптимальный режим термомагнитной обработки, приводящий к формированию упорядоченной АФ фазы NiFeMn с максимальным полем смещения и высокой температурой блокировки. **В пятой**

главе И.В. Блиновым исследованы магнитные и магниторезистивные свойства спинового клапана, содержащего антиферромагнитный закрепляющий слой $(\text{Ni}_{70}\text{Fe}_{30})_{20}\text{Mn}_{80}$. Приводится разработанная автором оригинальная методика создания спинового клапана с упорядоченной антиферромагнитной фазой NiFeMn. В заключении резюмировано основное содержание диссертационной работы.

Достоверность представленных результатов. Достоверность представленных в диссертации результатов обеспечена применением современного сертифицированного оборудования, набором большого объема статистической информации, а также воспроизводимостью результатов эксперимента. Несомненным плюсом работы является контроль элементного состава приготовленных пленок.

Полученные экспериментальные данные и предложенные автором модели не противоречат фундаментальным научным принципам, а также приемлемо согласуются с результатами, полученными ранее другими авторами. В силу сказанного **обоснованность** защищаемых автором **положений и выводов** по диссертационной работе не вызывает каких-либо сомнений.

Работа прошла апробацию более чем на 10 российских и международных научных конференциях и получила высокую оценку специалистов. Основные результаты опубликованы в 6 научных статьях из перечня изданий, рекомендуемых ВАК РФ (входящих в базы данных SCOPUS и Web of Science).

Среди полученных результатов, характеризующих **научную значимость работы**, следует выделить следующие:

1. Впервые установлен механизм формирования упорядоченной антиферромагнитной NiFeMn фазы при термомагнитной обработке бислоев марганец/пермаллой. Показано, что при отжиге марганец проникает в пермаллой по границам кристаллитов, а затем диффундирует от границ в приграничные объемы матрицы. Установлено, что сплошной АФ слой между слоями не образуется. Формирование упорядоченной антиферромагнитной фазы NiFeMn в бислоях $\text{Mn}/\text{Ni}_{77}\text{Fe}_{23}$ приводит к высокой величине обменного смещения с температурой блокировки $T_b = 270$ °С. Полученные характеристики сопоставимы с характеристиками дорогостоящих сплавов IrMn и MnPt.

2. На основе многочисленных экспериментов с изменением состава сплава Ni-Fe-Mn, типа подложки, толщины слоёв и технологических режимов обработки установлены оптимальные условия получения слоистых наноструктур с заданными магнитными свойствами (температурой блокировки и полем смещения петли магнитного гистерезиса).

3. 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 магнитосопротивлением $\sim 7\%$ в малых магнитных полях и магниторезистивной чувствительностью $= 0,75\%/Э$.

Практическая значимость. И.В. Блиновым разработана технология приготовления наноструктуры спиновый клапан с антиферромагнитным тройным сплавом Ni-Fe-Mn, которая позволяет получать слоистые образцы с приемлемыми магнитными и магниторезистивными свойствами, обладающие высокой температурной стабильностью.

Диссертационная работа выполнена на высоком научно-методическом уровне. Она логично и последовательно изложена. Автореферат диссертации правильно отражает её содержание.

По диссертационной работе имеются следующие вопросы и замечания:

1. Для однозначного восприятия рентгеновских дифрактограмм (Рис 3.5 и Рис 4.1) в подписях к рисункам желательно было бы дать информацию о типе использованного излучения, что указано автором лишь в методике.

2. Из диссертации не совсем ясно, в чем же собственно состоит преимущество тройного сплава $(\text{Ni}_{70}\text{Fe}_{30})_{20}\text{Mn}_{80}$ перед $\text{Fe}_{50}\text{Mn}_{50}$, тогда как спиновые клапаны на их основе имеют близкие функциональные характеристики и температурную стабильность?

3. Имеются отдельные неточности и опечатки. Например, некоторые ссылки на литературные источники указаны неверно. Так, на стр. 59 вместо [9] следует указать источник [7] и, аналогично, на стр. 64, последний абзац, где дана ссылка на источник [138], следует указать [139]).

Отмеченные недочеты не снижают общей положительной оценки работы.

Диссертационное исследование соответствует отрасли физико-математических наук п. 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 общезначимого характера по п. 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.

Считаю, что рецензируемая диссертационная работа является весьма трудоемким, актуальным и важным законченным научным исследованием, обладающим несомненной

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

Заведующий лабораторией
пучковых воздействий,
главный научный сотрудник
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Института электрофизики УрО РАН
доктор физ.-мат. наук, профессор

В.В. Овчинников

« 23 » 01 2017 г.

Почтовый адрес: 620016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, 106

Тел: +7(343)267-87-74, +7(343)267-87-12

E-mail: vladimir@iep.uran.ru, viae05@rambler.ru

Ученый секретарь ИЭФ УрО РАН

кандидат физ.-мат. наук

Е.Е. Кокорина

С отзывом ознакомлен 23.01.2017
/Блинов И.В./

СВЕДЕНИЯ ОБ ОФИЦИАЛЬНОМ ОППОНЕНТЕ

по диссертации Блинова Ильи Викторовича на тему
«Магнитные и магниторезистивные свойства слоистых наноструктур
на основе антиферромагнитного тройного сплава Ni-Fe-Mn»
по специальности 01.04.11 – Физика магнитных явлений
на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

Фамилия, имя, отчество	Овчинников Владимир Владимирович
Гражданство	Российская Федерация
Ученая степень (с указанием шифра специальности по которой защищена диссертация)	Доктор физико-математических наук, 01.04.07
Основное место работы	
Должность	Заведующий лабораторией
Наименование подразделения	Лаборатория пучковых воздействий
Полное наименование организации в соответствии с уставом	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт электрофизики Уральского отделения Российской академии наук
Почтовый индекс, адрес, веб-сайт, телефон, адрес электронной почты организации	620016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, 106 http://www.iep.uran.ru (343) 267-87-96 admin@iep.uran.ru
<p>Список основных публикаций официального оппонента, составляющего отзыв, за последние пять лет по теме диссертации:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Ovchinnikov V. V., Gushchina N. V., Bedin S.A. Combined ion (Ar^+, 20 keV) and light irradiation of the quenched Fe-8.25 at % Mn alloy. Separation between thermal and radiation induced long-range effects // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – V. 110. – 012027.2. Gushchina N.V., Ovchinnikov V.V., Makhin'ko F.F., Remnev G.E. Gusel'nikov V.I. Effect of powerful pulsed and continuous ion beams on the Al-Cu-Mg alloy structure // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – V. 110. – 012102.3. Овчинников В.В., Гущина Н.В., Овчинников С.В. Мессбауэровское и	

- резистометрическое исследование индуцированного ионной бомбардировкой α (ОЦК) \rightarrow γ (ГЦК) фазового превращения и внутрифазовых процессов в сплаве Fe + 8,25 ат. % Mn // ФММ. – 2015. – Т. 116. – № 12. – С. 1-11.
4. Gushchina N.V., Ovchinnikov V.V. Mücklich A. Acceleration of volume decomposition of supersaturated Al + 4 wt.%Cu solid solution under irradiation with Ar⁺ ions // Phys. Status Solidi B. – 2016. – Vol. 253. – № 4. – P. 770-777.
 5. Ovchinnikov V.V., Gushchina N.V., Gapontseva T.M., Chashchukhina T.I., Voronova L.M., Pilyugin V.P., Degtyarev M.V. Optimal deformation and ion irradiation modes for production of a uniform submicrograin structure in molybdenum // High Pressure Research. – 2015. – № 5. – P. 1-10.
 6. Ovchinnikov V.V., Makhin'ko F.F., Solomonov V.I. Thermal-spikes temperature measurement in pure metals under argon ion irradiation (E = 5-15 keV) // Journal of Physics: Conference Series. – 2015. – V. 652. P. 012070.
 7. Чердынцев В.В., Медведева Е.В., Махинько Ф.Ф., Гущина Н.В., Овчинников В.В., Александрова С.С. Влияние ионного облучения на процесс механоактивационного синтеза порошкового сплава Al₇₃Cu₁₁Cr₁₆ // Физика и химия обработки материалов. – 2015. – № 2. – С. 20-28.
 8. Medvedeva E.V., Tcherdyntsev V.V., Makhinko F.F., Gushchina N.V., Ovchinnikov V.V. Mechanical Alloying of Al₇₃Cu₁₁Cr₁₆ Alloy from Ion Irradiated Powders // Acta Physica Polonica A. – 2014. – Vol. 126. – № 4. – P. 979-983
 9. Овчинников В.В., Можаровский С.М., Гущина Н.В., Махинько Ф.Ф., Колобнев Н.И., Хохлатова Л.Б. Исследование возможности радиационного отжига сплава 1424 (Al-Li-Mg-Zn-Mn) пучками ускоренных ионов аргона // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2014. – Т. – 57. – № 3/3. – С. 216-219.
 10. Гущина Н.В., Овчинников В.В., Клепикова А.А., Махинько Ф.Ф., Кайгородова Л.И. Влияние облучения ионами Ar⁺ средних энергий на структуру и свойства холоднодеформированного сплава системы Al-Cu-Mg-Mn // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2014. – Т. 57. – № 3/3. – С. 281-284.
 11. Овчинников В.В., Гущина Н.В., Можаровский С.М., Кайгородова Л.И. Исследование процессов формирования наноразмерных интерметаллидных фаз в сплаве 1441 системы Al-Li-Cu-Mg-Mn в ходе облучения пучками ускоренных ионов // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2013. – Т. 56. – № 1/2. – С.163-166.
 12. Овчинников В.В., Гущина Н.В., Махинько Ф.Ф., Сдобнов Н.В., Федяй А.В. Ионно-лучевая обработка порошков карбонильного железа с целью улучшения функциональных характеристик сердечников для электронных устройств из композита «диэлектрик – карбонильное железо» // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2013. – Т. 56. –

№ 1/2. – С. 167-170.

13. Чемеринская Л.С., Овчинников В.В., Сачков И.Н. Иницируемое ионным облучением упорядочение сплава FePd_2Au // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2013. – Т.56. – № 1/2. – С. 171-174.

14. Овчинников В.В., Махинько Ф.Ф., Соломонов В.И., Гущина Н.В., Кайгородова О.А. Свечение поверхности металлических мишеней при облучении ионами Ar^+ с энергией 5-20 кэВ // ПЖТФ – 2012. – Т. 38. – Вып. 1. – С. 86-94.

Даю согласие на обработку моих персональных данных и на размещение их в свободном доступе в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и в единой информационной системе.

Официальный оппонент

В.В. Овчинников

Ученый секретарь Института,
кандидат физ.-мат. наук

Е.Е. Кокорина

