

ОТЗЫВ

официального оппонента Балымова Константина Геннадьевича на диссертационную работу Банниковой Натальи Сергеевны «**Структурные, магнитные и магнитотранспортные свойства сверхрешеток на основе меди и сплавов 3-d металлов**», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 – физика магнитных явлений

Актуальность темы диссертации

Представленная диссертационная работа Банниковой Н.С. посвящена выявлению закономерностей влияния различных типов буферных слоев на структурные, магнитные и магниторезистивные свойства сверхрешеток на основе меди и сплавов 3d- металлов. Изучение сверхрешеток довольно активно развивающееся направление. Фундаментальная составляющая такого интереса обусловлена широким возможностям целенаправленного варьирования свойств такого рода объектов путем технологии приготовления или внешнего воздействия. Возможность относительно большого изменения электросопротивления магнитным полем, например, за счет реализации гигантского магниторезистивного эффекта, позволяет рассматривать эти объекты для практических приложений в составе сенсорных элементов и в различных устройствах магнитоэлектроники и спинтроники.

Кроме того, можно отметить, что работа Банниковой Н.С. выполнена в рамках внушающего списка проектов (ст. 12), в том числе проектов выполненных совместно с крупными предприятиями, что, безусловно, подчеркивает актуальность темы диссертации.

Структура и основное содержание работы

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы. Текст содержит 132 страницы машинописного текста, 72 рисунка и 5 таблиц. Список литературы включает 75 ссылок.

Во введении сформулирована актуальность работы, ее цель и задачи, положения, выносимые на защиту, изложена новизна и практическая ценность, приведен список

конференций, на которых представлены результаты работы. Указан список проектов, которыми была поддержана данная работа.

Первая глава содержит обзор литературы, посвященный основным видам магниторезистивных эффектов, в том числе и гигантского магниторезистивного эффекта. Описываются причины его возникновения. Дается определение термину сверхрешетка. Освещаются имеющиеся литературные данные по магнитным и магнитотранспортным свойствам сверхрешеток, а также способам их получения. Из литературных источников анализируется корреляция между структурой слоев и магниторезистивными свойствами сверх решеток.

Вторая глава диссертации содержит описание объектов исследования, а также основных методик изучения магнитных и магниторезистивных свойств с указанием наименований оборудования и их характеристик. Подробно описана технология подготовки и получения пленок методом магнетронного распыления.

Третья глава посвящена отработке технологии получения сверхрешеток на примере многослойных структур Co/Cu. Приводятся результаты оптимизации технологических параметров, таких как толщина слоев, количество пар слоев Co/Cu, давление аргона при напылении, мощность подаваемая на магнетроны, позволяющие достигнуть наибольшего ГМР-эффекта и воспроизводимости свойств. Анализируется влияние типа подложки и буферного слоя на величину магниторезистивного эффекта сверхрешеток Co/Cu. Для данного типа сверхрешеток получены при комнатной температуре максимальные значения магниторезистивного эффекта около 50%. Сравниваются результаты с литературными данными.

В четвертой главе диссертации изложены результаты исследований зависимости структурных, магнитных и магниторезистивных свойств сверхрешеток CoFe/Cu от типа подложки (SiO_2 , Al_2O_3 и Si), материала (Cr, Fe, CoFe и NiFeCr) и толщины буферного слоя. Отмечается существенное увеличение гистерезиса (H_{max}) магниторезистивных кривых при изменении толщины буферного слоя хрома в интервале $15 \div 20 \text{ \AA}$, в сравнении со сверхрешетками, имеющими буферные слои Fe и CoFe. Указанная особенность интерпретируется за счет исчезновения текстуры $\langle 111 \rangle$ в слоях сверхрешетки. Отмечается, что использование буферного слоя NiFeCr приводит к более совершенной кристаллической структуре сверхрешетки по сравнению с буферными слоями Cr, Fe и

CoFe. Выраженная в сверхрешетке NiFeCr/CoFe/Cu аксиальная текстура $\langle 111 \rangle$ способствует высокому значению магнитосопротивления (до 54%) и слабому гистерезису. Отмечается изменение типа текстуры сверхрешетки в зависимости от толщины буферного слоя NiFeCr. Приводятся результаты температурных исследований магниторезистивного эффекта для сверхрешеток SiO₂/NiFeCr/CoFe/Cu. Указываются оптимальные значения толщин для буферных слоев: CoFe - 15 Å; Cr – 35 Å и NiFeCr - 50 Å.

Глава пятая посвящена исследованию влияния термообработки на структуру, магнитный гистерезис и магнитосопротивление сверхрешеток CoFe/Cu с буферными слоями Cr и CoFe различной толщины. Оценивается оптимальная температура и длительность отжига для получения высокого значения магнитосопротивления сверхрешеток. Дается оценка эффективных коэффициентов межслойной диффузии, обусловленной термическим отжигом.

В шестой главе приводятся результаты исследования микроструктуры и магниторезистивных характеристик сверхрешеток NiFeCo/Cu в зависимости от толщины используемого буферного слоя. Продемонстрирован способ минимизации гистерезиса магнитосопротивления для сверхрешеток за счет использования составного буферного слоя.

Научная новизна результатов диссертационной работы

1. Проведены систематические исследования влияния различных типов материалов буферного слоя, на структурные и магниторезистивные свойства четырех типов магнитных металлических сверхрешеток: Co/Cu, Co₉₀Fe₁₀/Cu, Ni₆₅Fe₁₅Co₂₀/Cu и Ni₇₆Fe₁₀Co₁₄/Cu. Установлено, что толщина буферного слоя оказывает влияние на кристаллическую структуру в слоях сверхрешетки и кардинальному изменению магнитных и магниторезистивных свойств.
2. Использование буферного слоя NiFeCr обеспечивает высокое значение ГМР-эффекта при небольшом количестве пар ферромагнитных и немагнитных слоев в сверхрешетках Co₉₀Fe₁₀/Cu, Ni₆₅Fe₁₅Co₂₀/Cu и Ni₇₆Fe₁₀Co₁₄/Cu.
3. Использование составного буферного слоя Ta/(Ni₈₀Fe₂₀)₆₀Cr₄₀ приводит к уменьшению гистерезиса магнитосопротивления, полей магнитного насыщения и повышению магниторезистивной чувствительности сверхрешеток Ni₆₅Fe₁₅Co₂₀/Cu и

$Ni_{76}Fe_{10}Co_{14}/Cu$. Показано, что добавление подслоя Ta приводит к формированию в слое $(Ni_{80}Fe_{20})_{60}Cr_{40}$ ГЦК-структуры и появлению в последующих слоях сверхрешетки острой аксиальной текстуры $\langle 111 \rangle$.

Достоверность представленных результатов

Достоверность полученных результатов достигается использованием в работе современного сертифицированного технологического и измерительного оборудования, тщательным подходом к подготовке и получению образцов, учету факторов влияющих на воспроизводимось параметров, согласием с результатами других независимых исследователей.

Практическая значимость полученных результатов связана разработкой технологии изготовления магнитных металлических сверхрешеток с высокими значениями функциональных параметров. В частности, на сверхрешетках Co/Cu и CoFe/Cu при комнатной температуре достигнуты высокие значения ГМР-эффекта (до 55 %) при минимальном количестве слоев, а на базе тройных магнитомягких сплавов и меди при использовании составного буферного слоя Ta/NiFeCr, получено сочетание высокой магниторезистивной чувствительности (0.1-0.3) %/Э, больших значений ГМР-эффекта (12-16) % и относительно малого гистерезиса (≤ 10 Э) при комнатной температуре. Имеются опытные образцы апробированных магниточувствительных элементов сенсоров.

Замечания по диссертационной работе

1. В работе не освещаются результаты влияния буферного слоя Cu на свойства сверхрешеток, хотя в описании объектов исследования, в таблице на стр. 36, он указан. Упоминание использования буферного слоя Cu ограничивается только рисунком 4.13 (стр. 85).
2. Указанная на стр. 10 точность воспроизведения номинальной толщины пленок «не менее 0.1 \AA » выглядит завышенной, учитывая разрешающую способность 1-2 \AA интерферометра Zygo NewView 7300, который использовался для калибровки скоростей напыления.
3. В работе имеются интересные особенности свойств, интерпретация которых не

отражена в работе. Например, отсутствует интерпретация немоного поведения величины гистерезиса H_{\max} сверхрешеток Cr/[CoFe/Cu] от температуры отжига, представленной на рисунке 5.2 стр. 95.

Указанные замечания никак не снижают общей высокой оценки диссертации.

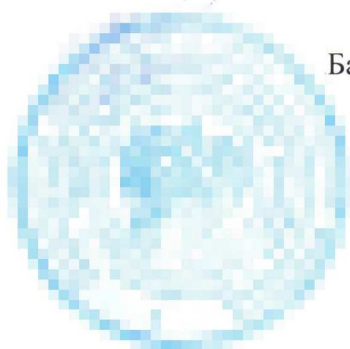
Считаю, что диссертационная работа Банниковой Натальи Сергеевны «Структурные, магнитные и магнитотранспортные свойства сверхрешеток на основе меди и сплавов 3-d металлов» полностью удовлетворяет требованиям п.9 Положения «О порядке присуждения ученых степеней» ВАК Министерства образования и науки РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Банникова Н.С. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 01.04.11 – Физика магнитных явлений.

Официальный оппонент:

старший научный сотрудник Института естественных наук и математики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (ФГАОУ ВО УрФУ), кандидат физико-математических наук.

« 18 » ноября 2016 г.

Балымов Константин Геннадьевич



*С отзывом ознакомлена
30.11.2016 г. Банникова Н.С.*

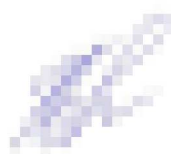
Сведения об официальном оппоненте

по диссертации Банниковой Натальи Сергеевны на тему: «Структурные, магнитные и магнитотранспортные свойства сверхрешеток на основе меди и сплавов 3-d металлов» по специальности 01.04.11 – физика магнитных явлений
на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

Фамилия, имя, отчество	Балымов Константин Геннадьевич
Гражданство	Гражданин Российской Федерации
Ученая степень (с указанием шифра специальности/ специальностей отрасли наук, по которым защищена диссертация)	Кандидат физико-математических наук 01.04.11 – физика магнитных явлений
Ученое звание (по какой кафедре/ по какой специальности)	Нет
Почтовый индекс, адрес, телефон (при наличии), адрес электронной почты (при наличии), адрес официального сайта в сети «Интернет» (при наличии)	РФ 620083, г. Екатеринбург, пр-т Ленина, 51, УрФУ, ИЕНиМ, ОМТТ НИИ ФПМ +7-912-250-06-75 k.g.balymov@urfu.ru http://urfu.ru
Полное наименование организации в соответствии с уставом	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»
Наименование подразделения (кафедра/ лаборатория и т.п.)	Институт естественных наук и математики, отдел магнетизма твердых тел НИИ ФПМ
Должность	Старший научный сотрудник
Список основных публикаций официального оппонента по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15 публикаций)	
1.	N.A. Kulesh, K.G. Balymov, A.N. Sorokin, V.O. Vas'kovskiy. Influence of permalloy layer and Ti spacer thicknesses on magnetic and magnetoresistive properties of Fe ₁₉ Ni ₈₁ /Ti/Tb-Co films // Solid State Phenomena.- 2012.- V.190.- P.451-454
2.	В.О. Васьковский, А.В.Свалов, К.Г. Балымов, Н.А. Кулеш, Влияние отжига на магнитную анизотропию и гистерезисные свойства пленочных структур, содержащих аморфные слои Tb–Co // ФММ.- 2012.- Т.113.- № 9.- С.908-912
3.	A.V. Svalov, K.G. Balymov, A. Fernández, I. Orue, A. Larrañaga, V.O. Vas'kovskiy, J. Gutiérrez, G.V. Kurllyandskaya. Influence of temperature on structure and magnetic properties of exchange coupled TbCo/FeNi bilayers // Journal of Nanoscience and Nanotechnology.- 2012.- V.12.- P.7566-7570
4.	K.G. Balymov, N.A. Kulesh, E.A. Stepanova, V.O. Vas'kovskiy, A.V. Svalov, Influence of temperature on magnetic properties of Tb ₂₆ Co ₇₄ /Co/Fe ₂₀ Ni ₈₀ films with exchange bias // Acta Physica Polonica A.- 2014.- V.126.-P.1312-1314.
5.	N.A. Kulesh, K.G. Balymov, V.O. Vas'kovskiy, A.V. Svalov, A.N. Sorokin, Anomalies in hysteresis properties of Fe ₂₀ Ni ₈₀ /Tb-Co films with unidirectional anisotropy // Thin Solid Films.- 2015.- V.577.- P.1-5.
6.	N.A. Kulesh, K.G. Balymov, V.O. Vas'kovskiy, Influence of the interface quality on magnetic properties of Fe ₂₀ Ni ₈₀ /Tb-Co films with unidirectional anisotropy // Acta Physica Polonica A.- 2015.- V.127.- P.525-527.

7.	N.A Kulesh., K.G. Balymov, O.A. Adanakova, V.O. Vas'kovskiy, Temperature stability of exchange bias field and magnetoresistance of permalloy layer in Fe ₂₀ Ni ₈₀ /Tb-Co films // IEEE Transactions on Magnetics.- 2015.- V.51.- № 11.- P.1-4
8.	К.Г. БалЫМОВ, Е.В. КудЮКОВ, Н.А. Кулеш, О.А. АданакОВА, В.О. ВасЬКОВСКИЙ, Температурные исследования гистерезисных и магниторезистивных свойств пленок Tb-Co/Fe ₂₀ Ni ₈₀ с прослойкой кобальта // Известия высших учебных заведений. Физика.- 2015.- Т.58.- № 7/2.-С.142-145
9.	N. Kulesh, K. Balymov, O. Adanakova, E. Kudukov, V. Vas'Kovskiy, A. Sorokin, Magnetic and magnetoresistive properties of Fe ₁₀ Ni ₉₀ /Tb-Co films with modified interlayer interface // Journal of Magnetism and Magnetic Materials.- 2016.- V.415.- P.57-60.

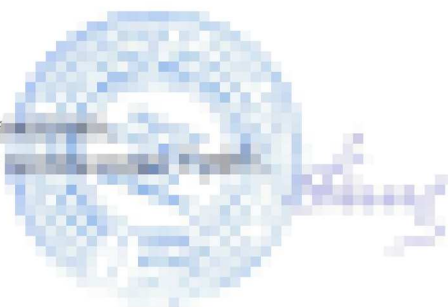
Официальный оппонент



К.Г. БалЫМОВ

Верно:

Ученый секретарь
 НИИ физики и прикладной математики
 Института естественных наук и
 к.ф.-м.н., с. н. с.



Л.А. Памятных