

УТВЕРЖДАЮ

Проректор

МГУ имени М.В. Ломоносова

профессор А.А. Федянин.



«12» марта 2015 г.

О Т З Ы В

ведущей организации на диссертацию Важениной Ирины Георгиевны на тему «Развитие метода спин-волновой спектроскопии для исследования магнитных неоднородностей нанокристаллических, мультислойных и градиентных пленок Fe-Ni, Co-Ni и Co-P», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики.

Диссертационная работа Важениной И.Г. посвящена изучению возможностей метода спин-волновой спектроскопии при исследовании влияния неоднородностей в распределении магнитных параметров в пленках, а также процессов распространения спиновых волн. Тема этой работы **актуальна** по целому ряду причин, имеющих как самостоятельное научное, так и прикладное значение. Методы спин-волновой спектроскопии могут быть использованы для неразрушающего контроля магнитной микроструктуры различных наноматериалов, что, в свою очередь, может найти практическое применение в таких областях, как спинтроника, магнитоэлектроника, биоэлектроника. В этом состоит **практическая значимость** данной работы.

С точки зрения фундаментальной науки методы спин волновой спектроскопии интересны тем, что позволяют определять параметры обменного взаимодействия в случаях, когда это невозможно сделать

стандартными магнитометрическими методами. Они открывают возможность изучения систем с флуктуациями магнитных параметров.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка цитированной литературы из 154 наименований, изложена на 131 страницах, включает 69 рисунков и 8 таблиц.

Во введении изложена актуальность работы, сформулирована цель работы, основные задачи исследований, приводится краткое содержание диссертационной работы, а также основные результаты, выносимые на защиту.

Первая глава представляет собой обзор литературы по теме диссертационного исследования. Обзор написан достаточно полно, в нем рассмотрены основы теоретического описания и условия экспериментального наблюдения спин-волнового резонанса, а также наблюдаемые модификации дисперсионного соотношения для обменных спиновых волн.

Во второй главе рассмотрены используемые в работе экспериментальные методы измерений структурных и магнитных параметров: рентгеноструктурный анализ, ферромагнитный и спин-волновой резонанс (ФМР и СВР), корреляционная спин-волновая спектроскопия, а также сформулированы предложения для развития метода спин-волновой спектроскопии для исследования магнитных неоднородностей нанокристаллических, мультислойных и градиентных пленок. Описаны также применяемые технологии синтеза образцов: термическое напыление и химическое осаждение.

В третьей главе описаны результаты исследования нанокристаллических однослойных Fe-Ni пленок методом спин-волнового резонанса, а также проведена идентификация магнитных неоднородностей в исследованных пленках. Данные рентгеноструктурного анализа демонстрируют наличие как ОЦК, так и ГЦК кристаллических фаз. Пленки, синтезированные методом химического осаждения, показывают двухфазное

состояние (ОЦК+ГЦК) в концентрационной области от 40 до 60 ат. % Ni. На основании разработанных подходов к обработке результатов измерений установлены размеры магнитных неоднородностей (нанометровых диапазонов) и определены стохастические характеристики дисперсионной кривой.

Четвертая глава посвящена исследованиям многослойных пленок Fe-Ni и Co-P сплавов методами ФМР и СВР спектроскопии. Автором обнаружено возбуждение обменных спиновых волн в модулированных структурах Fe-Ni-P/Pd, на основании разработанного алгоритма обработки данных определены величины парциальных обменных констант для спиновой волны, распространяющейся через поляризованные металлические слои палладия.

В **пятой главе** описываются результаты экспериментов на объектах с крупномасштабными неоднородностями. В качестве таких объектов автор рассматривает многослойные пленки Co-P и Co-Ni, а также градиентные пленки данных составов. Регистрация спектров СВР для градиентных пленок позволяет говорить о развитии теории спин-волновой спектроскопии на системы, в которых флуктуации магнитных параметров рассматриваются как случайные процессы со стационарными приращениями.

Из результатов диссертационной работы И.Г.Важениной, обладающих **научной новизной**, следует отметить следующие:

1. Впервые предложен метод определения таких стохастических параметров системы как среднее значение величины обменной жесткости ($\langle \eta \rangle$) и её дисперсия ($\Delta \eta$) на основе результатов измерений методом корреляционной спин-волновой спектроскопии изотропных (нанокристаллических Fe-Ni пленок) и анизотропных (мультислойных пленок Fe-Ni/Pd) структур.
2. Впервые исследовано влияние случайно распределенных магнитных неоднородностей на процессы распространения обменных спиновых волн в ферромагнитных пленках Fe-Ni с учетом технологии синтеза.

Проведен анализ зависимостей значений магнитных параметров от состава и продемонстрирована возможность синтеза структур с заданными размерами магнитных неоднородностей с учетом корреляций между значениями критических волновых векторов и размерами самих неоднородностей.

3. Впервые отработана технология синтеза пленок Co-Ni и Co-P методом химического осаждения с заданным видом распределения магнитного параметра.
4. Впервые получены композитные ферромагнитные пленки, с помощью манипулирования магнитными параметрами по толщине образца, с искусственно созданным профилем магнитного потенциала, что определило модификации дисперсионного соотношения вида: $H_n \sim n$ и $H_n \sim n^{2/3}$.
5. Показана применимость метода спин-волновой спектроскопии для регистрации спектров СВР в средах с распределением магнитных параметров, описываемых случайной функцией со стационарными первыми и вторыми приращениями.

Достоверность результатов не вызывает сомнений. Материал диссертации изложен четко, представлен большой фактический материал, работа достаточно хорошо структурирована и оформлена. Полученные результаты согласуются с литературными данными.

По существу сделанных выводов замечаний нет. Тем не менее, работа не свободна от **недостатков**:

1. В диссертации, посвященной развитию нового экспериментального метода, отсутствует анализ ошибок измерений. Например, на рисунке 3.3 автор приводит концентрационные зависимости постоянных решетки синтезированных Fe-Ni плёнок и делает вывод о том, что закон Вегарда в данном случае соблюдается для ОЦК структуры только в

диапазоне концентраций никеля 12-33%. Такой вывод не представляется возможным сделать, не приводя ошибок в определении параметров решетки.

2. В таблице 3.2 приведены результаты рентгеноструктурного анализа полученных пленок. Из текста соответствующего раздела диссертации не ясно, каким образом определялся параметр L - размер нанокристаллита.
3. В разделе о личном вкладе автора ничего не говорится о вкладе в развитие метода спин-волнового резонанса, хотя диссертация посвящена именно ему.
4. Учитывая методическую направленность работы, следовало бы изменить последовательность выводов диссертации, перечислив сначала пункты 5,7,8, а уж потом остановиться на полученных, с помощью развития методики, результатах.
5. В диссертации и автореферате диссертации встречаются опечатки, отдельные орфографические и стилистические ошибки. Например, цель работы формулируется как "развитие метода СВР путем измерения....", что стилистически неверно. На странице 53 есть фраза "Одновременно прилагалось магнитное поле....", хотя следовало бы использовать глагол "прикладывалось" или "создавалось".

Как следует из самого характера сделанных замечаний, они не влияют на выводы работы и на положительную оценку полученных автором результатов.

Полученные в диссертации результаты могут быть использованы в МГУ имени М.В. Ломоносова, НИЦ «Курчатовский институт», ИФМ РАН, ИФМ УрО РАН, ИФП СО РАН, КФТИ РАН, ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, ВГТУ, Дальневосточном ФУ, Пермском ГУ, Южном ФУ, Сибирском ФУ и др.

Результаты диссертации достаточно полно опубликованы в научных журналах, докладывались на всероссийских и международных научных

конференциях, хорошо известны специалистам. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации.

Резюмируя сказанное, диссертация представляет собой законченную научно-исследовательскую работу на актуальную тему. В ней получен ряд новых и полезных результатов. Выводы и рекомендации работы достаточно обоснованы. Диссертационная работа по своему научному уровню, значению и достоверности новых результатов полностью соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 01.04.01– приборы и методы экспериментальной физики, а ее автор Важенина И.Г. заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук.

Отзыв рассмотрен и утвержден на заседании научного семинара Кафедры магнетизма физического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова 2 марта 2015 г. (протокол № 3, присутствовало 22 человек, за - 22).

119991 Москва ГСП-1 Ленинские горы МГУ

д.1 стр.2, физический факультет, кафедра магнетизма

тел.495-939-1847, E-mail:kaf-magn@physics.msu.ru

Зав. кафедрой магнетизма

профессор д.ф.-м.н

Ученый секретарь кафедры

магнетизма доцент к. ф.-м. н.



Н.С. Перов

А.А.Радковская

Список избранных публикаций сотрудников кафедры магнетизма, имеющих отношение к теме рецензируемой диссертации Важениной Ирины Георгиевны на тему «Развитие метода спин-волновой спектроскопии для исследования магнитных неоднородностей нанокристаллических, мультислойных и градиентных пленок Fe-Ni, Co-Ni и Co-P»

1. Чернавский П.А., Лунин Б.С., Захарян Р.А., Панкина Г.В., Перов Н.С. Установка для исследования топохимических превращений наночастиц ферромагнетиков Приборы и техника эксперимента 1 2014
2. Лотин А.А., Новодворский О.А., Рыльков В.В., Зуев Д.А., Храмова О.Д., Панков М.А., Аронзон Б.А., Семисалова А.С., Перов Н.С., Lashkul A., Lahderanta E., Панченко В.Я. Свойства пленок $Zn_{1-x}Co_xO$, полученных методом импульсного лазерного осаждения с использованием скоростной сепарации осаждаемых частиц Физика и техника полупроводников 4 48 2014
3. Мусорин А.И., Перепелкин П.В., Шарипова М.И., Четвертухин А.В., Долгова Т.В., Федянин А.А. ПОЛЯРИЗАЦИОННО-ЧУВСТВИТЕЛЬНАЯ КОРРЕЛЯЦИОННАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ФЕМТОСЕКУНДНОЙ ДИНАМИКИ ЭФФЕКТА ФАРАДЕЯ Известия РАН. Серия физическая 1 78 2014 DOI:10.7868/S0367676514010141
4. Chechenin N.G., Chernykh P.N., Dushenko S.A., Dzhun I.O., Goikhman A.Y., Rodionova V.V. Asymmetry of Magnetization Reversal of Pinned Layer in NiFe/Cu/NiFe/IrMn Spin-Valve Structure Journal of Superconductivity and Novel Magnetism 27 6 2014 DOI:10.1007/s10948-013-2473-0
5. Shalygina E.E., Shalygin A.N., Kharlamova A.M., Molokanov V.V., Umnova N.V., Umnov P.P. Structural and Magnetic Properties of "Thick" Co-rich Microwires Produced by the Ulitovsky-Taylor Method Universal Journal of Physics and Application 2 10.13189 2014
6. Chernavskii P.A., Kazak V.O., Pankina G.V., Perov N.S. Effect of External Magnetic Field on the Co_3O_4 Reduction Kinetics Kinetics and Catalysis 1 55 2014 DOI:10.1134/S0023158414010017
7. Chernavskii P.A., Lunin B.S., Zakharyan R.A., Pankina G. V., Perov N.S. Experimental setup for investigating topochemical transformations of ferromagnetic nanoparticles Instruments and Experimental Techniques 1 57 2014 DOI:10.1134/S0020441214010035
8. Yildirim O., Butterling M., Cornelius S., Mikhailovskiy Yu, Novikov A.I., Semisalova A., Orlov A., Gan'shina E., Perov N., Anwand W., Wagner A., Potzger K., Granovsky A.B., Smekhova A. Ferromagnetism and structural defects in V-doped titanium dioxide physica status solidi (c) 5-6 2014 DOI:11 10.1002/pssc.201300722
9. Чуева Т.Р., Молоканов В.В., Заболотный В.Т., Умнов П.П., Умнова Н.В., Шалыгина Е.Е., Шалыгин А.Н., Харламова А.М. Составы, получение, структура и свойства "толстых" ферромагнитных аморфных микропроводов Физика и химия обработки материалов 2 2014
10. Sukhorukov Yu P., Telegin A.V., Bessonov V.D., Gan'shina E.A., Kaul' A.R., Korsakov I.E., Perov N.S., Fetisov L.Yu, Yurasov A.N. Magnetorefractive effect in the $La(1-x)K(x)MnO(3)$ thin films grown by MOCVD Journal of Magnetism and Magnetic Materials 367 2014 DOI:10.1016/j.jmmm.2014.04.055
11. Бакеева И.В., Егорова Е.А., Перов Н.С., Деменцова И.В., Черникова Е.В., Зубов В.П. МАГНИТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ОРГАНОФЕОРГАНИЧЕСКИЕ ГИБРИДНЫЕ ГИДРОГЕЛИ Высокомолекулярные соединения, Серия Б 3 56 2014 DOI:10.7868/S2308113914030036
12. Lotin A.A., Novodvorsky O.A., Rylkov V.V., Zuev D.A., Khramova O.D., Pankov M.A., Aronzon B.A., Semisalova A.S., Perov N.S., Lashkul A., Lahderanta E., Panchenko V.Ya Properties of $Zn_{1-x}Co_xO$ films produced by pulsed laser deposition with fast particle separation Semiconductors 4 48 2014 DOI:10.1134/S1063782614040186

13. Bakeeva I.V., Egorova E.A., Perov N.S., Dementsova I.V., Chernikova E.V., Zubov V.P. Magnetosensitive Organic-Inorganic Hybrid Hydrogels Polymer Science - Series B 3 56 2014 DOI:10.1134/S1560090414030038
14. Vinnik D.A., Zharebtsov D.A., Mashkovtseva L.S., Nemrava Sandra, Bischoff M., Perov N.S., Semisalova A.S., Krivtsov I.V., Isaenko L.I., Mikhailov G.G., Niewa Rainer Growth, Structural and Magnetic Characterization of Al-substituted Barium Hexaferrite Single Crystals Journal of Alloys and Compounds 615 2014 DOI:http://dx.doi.org/10.1016/j.jallcom.2014.07.126
15. Дзтдзигури Э.Л., Карпачева Г.П., Перов Н.С., Самохин А.В., Шатрова Н.В. ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ НА СВОЙСТВА НАНОПОРОШКОВ КОБАЛЬТА Известия Томского политехнического университета 3 324 2014
16. Igor Dubenko, Abdiel Quetz, Tapas Samanta, Saleheen A.U., Prudnikov Valerii N., Granovsky Alexander B., Shane Stadler, Naushad Ali Asymmetric magnetoresistance in bulk In-based off-stoichiometric Heusler alloys Physica status Solidi(c) 5-6 11 2014 DOI:10.1002/pssc.201300662
17. Buznikov N.A., Antonov A.S., Granovsky A.B. Asymmetric magnetoimpedance in amorphous microwires due to bias current: Effect of torsional stress JMMM 355 2014
18. Zhukova V., Ipatov M., Granovsky A., Zhukov A. Magnetic properties of Ni-Mn-In-Co Heusler-type glass-coated microwires Journal of Applied Physics 115 2014 doi: 10.1063/1.4868919

Зав.кафедрой магнетизма
профессор

 .С.Перов