

## Отзыв

официального оппонента на диссертацию

**Огнева Алексея Вячеславовича**

«Анизотропия и микромагнитная структура низкоразмерных ферромагнетиков»,  
представляемую к защите на соискание ученой степени доктора физико-  
-математических наук  
по специальности 01.04.11 – физика магнитных явлений

### **Актуальность темы исследования**

В современной наноэлектронике выделяют пять основных функций: преобразование информации (сенсоры, актуаторы) ее передача (линии связи), её обработка, хранение информации и её защита. Предмет исследований диссертации – планарные ферромагнитные структуры с характерными топологическими размерами отдельных элементов в диапазоне сотен нанометров – относится к двум разделам наноэлектроники. Это создание высокочувствительных сенсоров и носителей информации с высокой плотностью записи. Помимо прикладной направленности, исследование физических свойств планарных ферромагнитных систем и выявление характеристик, обусловленных нанодиапазоном, имеет фундаментальный интерес. В этой связи диссертация Огнева А.В. представляется актуальной.

### **Оценка проведенного исследования и полученных результатов**

Диссертация содержит введение, четыре главы, заключение и список литературы из 276 наименований.

Во введении автор обосновал актуальность работы, сформулировал её задачи, отметил новизну, научное и практическое значение результатов, а также привел сведения об апробации работы.

В 1-й главе представлены технологические методики получения магнитных пленок и планарных композитных систем и наноструктур, а также методы исследования атомной и морфологической структуры планарных систем, состояния поверхности, прямые и косвенные методы исследования магнитных свойств и магнитной структуры, используемые автором. Здесь же представлена методическая новация автора – использование микромагнитного моделирования для интерпретации экспериментальных данных.

Во 2-й главе описаны результаты экспериментального исследования магнитных свойств и магнитной структуры планарных композитов Co/Cu/Co (со слабой обменной связью индивидуальных слоев) и Co/Ru/Co (случай сильной обменной связи). Автор показал, что приближение намагниченности к насыщению осуществляется по закону, теоретически предсказанному для сред с двумерными корреляциями намагниченности. Обсуждается связь коэрцитивной силы и параметров стохастического магнитного домена, оцененных из кривых намагничивания. Обнаружено, что на эти параметры оказывает

существенное влияние антиферромагнитная обменная связь ферромагнитных слоев, как и на особенности доменной структуры в этих слоях.

В 3-й главе представлены результаты исследований магнитных свойств и магнитной структуры нанопроволок электролитически осажденного Ni; нанополосок Co, полученных самоорганизацией при напылении на эшалонизированную поверхность кремния и нанополосок Co, вырезанных из сплошного покрытия вицинальной поверхности Si (111). Отметим широко используемый в этой главе метод микромагнитного моделирования.

В 4-й главе приведены многочисленные примеры применения развиваемых методов изучения магнитной микроструктуры на новых объектах – массивов нанодисков Co, Ru, Fe. Толщина металлического пятна много меньше его диаметра, расстояние между центрами пятен существенно превышает их диаметр. В таких пятнах возникает новое магнитное состояние – вихревое. Предложены способы контроля вихревого состояния в пятнах с помощью нанесения на пятно (через прослойку Cu) нанополоски или нанодиска, создающего асимметричное магнитостатическое взаимодействие.

К наиболее важным научным результатам, полученным диссертантом, относятся:

- Обнаружение влияния антиферромагнитного обменного взаимодействия между ферромагнитными слоями Co в планарных композитах Co/Cu/Co и Co/Ru/Co на параметры стохастических доменов в слоях Co, определяющих интегральные магнитные характеристики (такие как коэрцитивность) этих композитов;
- Выявление механизма перемагничивания в нанополосках Co и демонстрация способа управления доменной структурой и процессами перемагничивания в нанополосках Co и Co/Cu/Co;
- Экспериментальное доказательство способа управления вихревым состоянием в асимметричных планарных системах «диск/полоска, диск» в статическом и динамическом режимах.

### **Практическая значимость работы**

Развитые автором методы анализа микромагнитных моделей, имитирующих реальный магнитный материал, могут быть полезны как для выявления механизмов перемагничивания, так и для подгонки соответствующих параметров системы. Предложенные способы управления параметрами магнитного вихря могут быть использованы компаниями, занимающимися разработкой магниторезистивной памяти.

### **Личный вклад автора**

В начале 00-х годов было установлено, что морфология наноструктур, наряду с кристаллической структурой, создание различных нанокомпозитов, существенно влияет на формирующуюся в них магнитную микроструктуру и механизмы её модификации под действием внешнего поля. Диссертанту удалось развить эти идеи и, на основе

экспериментального исследования разнообразных планарных нанокompозитов, представить стройную и логическую концепцию использования петель гистерезиса, кривых намагничивания в статике, ФМР и магнитных резонансов в динамике, для анализа особенностей магнитной микроструктуры различных классов планарных наноструктурированных магнитных материалов.

### **Замечания по диссертации**

Рецензируемая работа не свободна от отдельных недостатков, в частности:

1. Редакционные погрешности, неизбежные в столь обширном материале. Методические погрешности – зачастую толщины используемых слоев рецензент узнавал из подписей к рисункам. Физические погрешности – формула (1.3.3) на стр. 34 состоит из безразмерной левой части и размерной правой; рис. 2.1.1 на стр. 50 где фрагмент дифрактограммы трактуется: как Fe(111) – ГЦК Fe.

2. Диссертация сложена из многочисленных экспериментальных результатов, физическая значимость которых неравноценна. По мнению рецензента, результаты по системам (Fe/Pd)<sub>10</sub> и (Fe/Fe)<sub>10</sub> без ущерба для смысла диссертации могут быть удалены (стр. 49-56), тогда как описание динамических исследований планарных структур «диск на диск» (стр. 208-218) для лучшего понимания результатов, должно быть расширено.

3. Рецензент не согласен с 6-м выводом диссертации (см. заключение). Я считаю методически неправильным сопрягать достоверный экспериментальный результат (зависимость поля зарождения вихря от N в массиве NxN для разных ориентаций поля H) – с теоретической интерпретацией, которая во много спорна из-за большого числа допущений и предположений.

### **Общий вывод**

Критический анализ диссертации Огнева А.В. позволяет сделать заключение о высоком научном уровне и практической значимости полученных в ней результатов. Работа обладает четкой структурой, материал, в основном, подается автором в логической последовательности, продиктованной поставленной целью. Диссертация содержит большое количество экспериментального материала, хорошо апробированного на российских и международных конференциях.

В целом, считаю, что работа Огнева А.В. представляет собой самостоятельное, законченное исследование, в котором содержится решение важной научной задачи, связанной с анализом особенностей магнитной микроструктуры планарных нанокompозитов и её модификации в ходе процессов намагничивания. Автореферат полностью отражает содержание диссертации и представленные в ней выводы.

Диссертация по актуальности, новизне, масштабу проведенных исследований и по совокупности полученных результатов полностью соответствует профилю диссертационного совета, паспорту заявленной специальности и всем требованиям, предъявляемым ВАК Министерства образования и науки РФ к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук (пп. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней» в редакции, утвержденной Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 с изменениями от 21.04.2016 г. № 335), а её автор, Огнев Алексей Вячеславович, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.11 – Физика магнитных явлений.

доктор физико-математических наук, профессор,  
зав. лабораторией физики магнитных плёнок,  
Институт физики им. Л. В. Киренского Сибирского отделения Российской  
академии наук – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН  
Адрес: 660036, г. Красноярск, Академгородок, д. 50, стр. 38  
Тел. +7(391) 243-26-35  
Факс +7(391)243-89-23  
E-mail: rauf@iph.krasn.ru

« 6 » марта 2017 г.

Исхаков Рауф Садыкович

Подпись заведующего лабораторией физики магнитных плёнок д.ф.-м.н.,  
проф. Исхакова Р.С. заверяю.

Ученый секретарь

Института физики им. Л. В. Киренского Сибирского отделения Российской  
академии наук – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН  
к.ф.-м.н. \_\_\_\_\_ Попков С.И.

