

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук Перовой Натальи Николаевны
на тему: «Магнитооптическое зондирование наноструктурированных
магнитных материалов»
по специальности 1.3.12 Физика магнитных явлений

Диссертационная работа Перовой Натальи Николаевны посвящена экспериментальному исследованию особенностей магнитных, структурных и магнитооптических свойств различных видов наноструктурированных магнитных материалов – пленок состава $(\text{CoFeB})_x(\text{LiNbO}_3)_{100-x}$, многослойных структур $\{[(\text{CoFeB})(\text{SiO}_2)]/\text{ZnO}\}_n$, нанокompозитов состава $(\text{Co})_x(\text{CoO})_{100-x}$, а также аморфных магнитных лент и пленок. Выбранные структуры демонстрируют разнообразные магнитные свойства в зависимости от их композиции, структуры и методов обработки. С учетом широких перспектив и возможностей практического использования наноструктурированных сред и композитов в целом ряде практически важных приложений, задача развития и апробации метода магнитооптического зондирования такого рода структур, изучение с его помощью основных магнитных свойств таких сред представляется исключительно *актуальной*. Важной и нетривиальной задачей является исследования механизмов формирования магнитного упорядочения в системах пониженной размерности, в формировании магнитных свойств которых большую роль играют интерфейсные и поверхностные эффекты. В диссертационной работе Н.Н. Перовой продемонстрированы возможности спектроскопии и микроскопии магнитооптического эффекта Керра для эффективной диагностики приповерхностных магнитных свойств и локальной микромагнитной структуры нанокompозитов. Таким образом, актуальность темы диссертационной работы Перовой Н.Н. не вызывает сомнений.

Общая характеристика работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и списка условных обозначений. Объем работы составляет 157 страниц, содержит 59 рисунков, 6 таблиц и список литературы из 196

наименований. Необходимо отметить большой объем выполненных исследований, полученных результатов, а также глубину проведенного анализа всех данных, который позволил сделать выводы о структуре и основных особенностях магнитного состояния и свойствах рассмотренных структур.

Во **введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, приведены положения, выносимые на защиту, раскрыта научная новизна и практическая значимость работы, а также приведены сведения о достоверности полученных результатов, их апробации и публикациях автора работы.

Первая глава носит обзорный характер и посвящена анализу современных представлений о свойствах наноструктурированных магнитных материалах, в том числе нанокompозитов, многослойных и аморфных структур. Рассмотрены известные в настоящее время механизмы формирования магнитных свойств таких систем, в том числе роль морфологии, межфазных границ и размерных эффектов.

Во **второй главе** подробно описаны экспериментальные методики, использованные в работе, включающие микроскопию и спектроскопию магнитооптического эффекта Керра, вибрационную магнитометрию. Проанализированы характерные масштабы, на которых данные методы могут быть использованы для анализа магнитного состояния веществ, соответственно в работе был предложен комплексный подход, основанный на сочетании взаимодополняющих методов с селективной чувствительностью к разным параметрам магнитной структуры. Как показано в последующих оригинальных главах, это позволило получить полную информацию о магнитных свойствах исследуемых систем.

Третья глава посвящена исследованию нанокompозитных и многослойных систем на основе CoFeB и Co/CoO . Рассматриваются концентрационные зависимости, перколяционные переходы, особенности магнитооптического отклика и доменной структуры. Установлены

закономерности перехода от суперпарамагнитного к ферромагнитному состоянию и показана роль морфологии и межфазных взаимодействий.

В четвертой главе представлены результаты исследований аморфных и аморфно-нанокристаллических материалов. Рассматривается влияние термообработки и поверхностной модификации на магнитные свойства, доменную структуру и процессы перемагничивания. Особое внимание уделено формированию приповерхностной анизотропии и магнитной неоднородности.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы диссертационной работы.

К основным научным результатам работы следует отнести:

- установление закономерностей изменения магнитооптического отклика в нанокompозитах при изменении концентрации магнитной фазы;
- выявление концентрационных порогов перехода между суперпарамагнитным, суперферромагнитным и ферромагнитным состояниями;
- установление влияния архитектуры многослойных структур на спектральные особенности магнитооптического отклика;
- выявление роли приповерхностных эффектов, включая нанокристаллизацию и структурную модификацию, в формировании магнитных свойств аморфных магнитных материалов;
- демонстрация высокой чувствительности магнитооптических методов к локальной магнитной неоднородности различных магнитных структур, что подтверждает общность этого результата.

Перечисленные результаты являются новыми, представляют интерес для дальнейшего развития области физики магнитных явлений и магнитооптики.

Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием комплекса современных экспериментальных методов, взаимным сопоставлением данных магнитооптических и магнитометрических

измерений, а также согласованностью полученных результатов с данными, представленными в научной литературе.

Результаты работы апробированы на международных и российских конференциях, опубликованы в семи статьях в рецензируемых научных изданиях (Вестник Московского университета, 3 статьи в J. Magn. Magn. Mater., Физика металлов и металловедение, ЖЭТФ, Int. J. Mol. Sci.).

Замечания и вопросы

При ознакомлении с диссертационной работой возникли следующие замечания и вопросы:

Замечания по структуре и оформлению диссертации

1. Текст диссертации временами затянут, в нем присутствуют повторы.
2. Подписи к рисункам и подписи к осям на графиках в некоторых случаях недостаточно полно описывают представленные результаты, или не дописаны (например, рисунки 14; 16; 18; и др.).
3. В тексте имеется достаточно большое число пунктуационных ошибок.

Замечания по работе

1. В первой и второй главе не хватает численных параметров - размеров, названий и марок приборов, параметров оптических схем, размера пятна лазера и проч. При описании МОКЭ следовало бы привести вид матрицы диэлектрической проницаемости и описать компоненты, приводящие к появлению различных видов МО эффектов Керра, а также в целом описать основные механизмы магнитного взаимодействия, к которым автор адресует далее в тексте. Типичная фраза, которую хотелось бы дополнить численными значениями: с. 73: “Во всех случаях коэрцитивная сила остаётся сравнительно низкой, что указывает на относительно слабое взаимодействие между ферромагнитными кластерами”.
2. Недостаточно обоснован выбор объектов исследования, в частности, композитов на основе частиц магнитного сплава в матрице ниобата лития - это

достаточно сложный состав, причем ниобат лития сам имеет выраженные свойства. Оказывают ли они влияние на наблюдавшиеся особенности магнитного поведения композита?

3. На стр. 65 - при анализе структуры трехслойной пленки утверждается, что из представленных изображений следует отсутствие межслоевой диффузии - это не вполне понятно, поскольку видно, что на границах слоев появляются слои с другим контрастом изображения, на масштабах около 10 нм. Не являются ли эти слои следствием диффузии?

4. На рис. 23(б), стр. 66 приведена зависимость сигнала ЭЭК от приложенного магнитного поля. В тексте диссертации не поясняется, чем обусловлен пик сигнала ЭЭК для близких к нулю значениях магнитного поля (зеленая кривая, $x=42$ процента).

5. В тексте на стр. 102 (рис. 48) приведен спектр ЭЭК для ленты магнитомягкого материала, причем в случае приложения магнитного поля поперек ленты наблюдается выраженный максимум при энергии 2.8 - 3.0 эВ. При этом в тексте читаем: "Спектральные зависимости в каждом случае имеют сглаженный вид без выраженных максимумов и резонансов". Как совместить эту информацию?

Отмеченные замечания не носят принципиального характера и не снижают общей высокой оценки работы и полученных научных результатов. Автореферат соответствует тексту диссертационной работы Н.Н. Перовой и полностью отражает полученные результаты.

Общее заключение по диссертации:

Диссертация Перовой Натальи Николаевны является завершенной научно-квалификационной работой, содержащей решение актуальной научной задачи в области физики магнитных явлений, связанной с развитием магнитооптических методов для наноструктурированных магнитных материалов.

Диссертационная работа отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к

диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Содержание диссертации соответствует пп. 3, 4 паспорта специальности 1.3.12 Физика магнитных явлений (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении учёных степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова. Диссертационное исследование оформлено согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Соискатель Перова Наталья Николаевна заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.12 Физика магнитных явлений.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук

Мурзина Татьяна Владимировна

27.04.2026

Контактные данные:

Адрес: 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы,

МГУ имени М.В. Ломоносова, дом 1, строение 2,

Физический Факультет

Телефон: +7 495 939-36-69

Email: mur@shg.ru

И.О. декана

Физического факультета МГУ,

Профессор

В.В. Белокуров