

**ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
Гаршина Владимира Валентиновича
на тему: «Исследование магнитооптических и магнитных свойств
наноразмерных структур на основе аморфных сплавов и металлов,
распределенных в диэлектрических и полупроводниковых матрицах»
по специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений**

Диссертационная работа Гаршина В.В. посвящена экспериментальному исследованию магнитных и магнито-оптических свойств наногетерогенных систем различного композиционного и концентрационного состава и исследованию влияния различных технологических параметров на эти свойства. Исследованию наногетерогенных систем и, в частности, магнитных нанокompозитов с различным составом фаз в настоящее время уделяется особое внимание. Это связано как с фундаментальным, так и с огромным прикладным интересом к изменению свойств материалов при переходе от объемного состояния к виду наноразмерных структур, а также проявлению уникальных свойств, отличных от свойств материалов, составляющих компоненты нанокompозита. Фундаментальный интерес основан, прежде всего, на выяснении основных механизмов самоорганизации наногетероструктур и изучению влияния различных типов взаимодействий на свойства неупорядоченных систем. Прикладной интерес обусловлен широкими перспективами возможного практического использования магнитных нанокompозитов. В данной работе особое внимание уделяется изучению процессов самоорганизации в НК, происходящих при изменении морфологии и магнитной микроструктуры образцов в области перколяции, в частности формированию магнитно-неоднородных состояний, в которых возможно одновременное присутствие областей с различными типами магнитного упорядочения (парамагнитного, суперпарамагнитного, суперферромагнитного, ферромагнитного и др.). Таким образом, актуальность избранной темы исследования не вызывает сомнений.

Диссертационная работа Гаршина В.В. состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, а также списка литературы. Объем диссертации составляет 145 страниц, включая 60 рисунков, 5 таблиц и список цитируемой литературы из 125 наименований.

Во введении обосновывается актуальность темы исследования, формулируются цели и задачи исследования, а также положения, выносимые на защиту. Поясняется и обосновывается научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, их достоверность, личный вклад автора, апробация работы, публикации по материалам диссертации. Приведены сведения о структуре диссертационной работы.

В первой главе представлен обзор, касающийся, прежде всего, магнитных гранулированных нанокompозитов. В обзоре описаны основные свойства подобных структур, дано определение перколяции, приведены различные методы получения и самоорганизации в нанокompозитах, описаны основные виды магнитных состояний, которые могут возникать в наноразмерных структурах в зависимости от концентрации магнитной фазы. Представлен обзор наиболее важных экспериментальных и теоретических исследований магнитооптических свойств гранулированных нанокompозитов. Автором прослеживается связь между теми исследованиями, которые уже были проведены ранее и новыми исследованиями, представленными в последующих главах диссертационной работы.

Вторая глава содержит описание основных элементов теории магнитооптических эффектов и теоретических подходов, используемых при описании магнитооптических свойств нанокompозитов. Далее в данной главе приводится описание применяемых в диссертационной работе экспериментальных методик для исследования магнитооптических и магнитных свойств изучаемых образцов. В завершение второй главы представлена методика получения исследованных нанокompозитов, а также приведена информация о всех системах образцов, изученных в работе.

Третья глава является оригинальной и посвящена исследованию магнитных и магнито-оптических свойств систем нанокompозитов CoFeZr-Al-O. Среди множества полученных экспериментальных результатов хотелось бы выделить исследование области суперферромагнитного упорядочения для системы образцов, полученной в атмосфере аргона, а также изучение влияния отжига образцов на их магнито-оптические и магнитные свойства. Гаршиным В.В. определены значения критических концентраций магнитной фазы перехода от суперпарамагнитного состояния в магнитно-неоднородное состояние, содержащее суперферромагнитные области и СПМ частицы, и, далее, в ферромагнитное состояние. Показано, что дальний ферромагнитный порядок возникает при концентрациях ниже перколяционного порога проводимости. Установлено, что изменение морфологии НК в результате отжига приводит к расширению области аномального поведения МО свойств и изменению значений критических концентраций. Добавление реактивного газа в процессе получения НК также приводит к увеличению всех критических концентраций.

Комплексное исследование структурных, магнитных и магнитооптических свойств для НК показало, что магнито-оптическая спектроскопия демонстрирует более высокую чувствительность к изменениям морфологии нанокompозитов, чем методы магнитометрии, что с помощью магнитооптических методов можно получить уникальную информацию о процессах самоорганизации в нанокompозитах и их эволюции в результате различных методов изготовления и обработки.

Четвертая глава посвящена исследованию особенностей магнитооптических свойств нанокompозитов CoFeB-C и Co-C с полупроводниковой углеродной матрицей. Гаршиным В.В. показано, что возможность частичного смешивания и образования метастабильных фаз углерода с ферромагнитными металлами и бором в нанокompозитах CoFeB-C и Co-C при формировании нанокompозитов приводит к существенным отличиям магнитооптических свойств этих НК от МО свойств систем с

диэлектрическими матрицами. Особенности в поведении МО свойств систем с углеродом объяснены с помощью модели гомогенного зародышеобразования нанокompозитов.

В финальной части диссертации автор формулирует **основные результаты**, полученные в диссертационной работе. Важно отметить, что все научные результаты, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, а также положения, выносимые на защиту, вполне обоснованы и не вызывают сомнений и нареканий.

При этом в ходе ознакомления с диссертационной работой все же возникли некоторые **вопросы и замечания**:

1. Некоторые формулы вводятся без надлежащего объяснения входящих параметров. Пример- формулы (2.1)-(2.5). Здесь следовало бы ввести объяснение - почему ТКЭ определяется уравнением (2.4). Далее читаем «Расчет комплексного магнитооптического параметра γ из первых принципов, ...», но параметр γ еще не определен!

2. Утверждается, что «расчет магнитооптического параметра возможен для однородных и массивных образцов. Однако для магнитных гранулированных нанокompозитов, которые являются магнитно-неоднородными средами, расчет γ из первых принципов в настоящее время не представляется возможным. Поэтому единственным подходом для описания МО явлений в НК являются методы эффективной среды(МЭС)[97]». Следует отметить, что для композитных ламинированных сред такой расчет возможен в терминах эффективных характеристических матриц.

3. Влияние отжига. Указывается, что полученные системы были подвергнуты термомагнитному отжигу при температуре 400 С в магнитном поле 2500 Э. «Температура отжига была выбрана таким образом, чтобы отжиг не приводил к существенному изменению структуры образцов». Здесь следовало бы привести температуры кристаллизации аморфных ферромагнитных гранул и их температуру Кюри, которые определяют

механизмы влияния отжига на магнитные (наведенную анизотропию) и структурные свойства. Поскольку таких данных нет, то и не понятно, как отжиг влияет на структурно-магнитные свойства. Подчеркивается, что интегральные магнитные свойства практически не изменяются. Между тем, влияние отжига на МО отклик очень значительное. Не понятно, как отжиг приводит к изменению распределения различных магнитных фаз, что используется для объяснения МО поведения. Возможно, образуется поверхностный слой с другими структурными свойствами, который и дает основной вклад в МО отклик. Но его вклад в интегральные магнитные свойства -небольшой.

4. Технические замечания. Ряд неудачных выражений, например, стр. 52. «Кривые намагничивания для образцов системы 970, полученных при распылении с добавлением реактивного газа N₂, были более магнитожесткими, чем для системы 969.» Магнитожестким может быть материал, а не кривые. Стр.62 «Стоит отметить, что для образца из области магнитной перколяции с $x=34,3$ ат.%....»

Неудачные объяснения. Стр. 61. «Из анализа полученных зависимостей можно установить, что кривые для образцов с концентрациями магнитной фазы $x \leq 28,7$ ат.%, имеют вид, характерный для суперпарамагнетиков». Здесь следовало бы отметить, что наблюдаются линейные зависимости, так как в области используемых магнитных полей до 3 кЭ зависимость намагниченности от магнитного поля является линейной. При большем магнитном поле (> 5 кЭ) зависимость МО отклика была бы нелинейной, согласно Таблице 3.1.

Однако приведенные замечания и указанные технические недоработки в оформлении не снижают общего положительного впечатления от работы и не влияют на оценку диссертации. В целом диссертация Гаршина В.В. является важным и оригинальным исследованием, при этом полученные результаты и выводы, обладая научной новизной, вносят вклад в дальнейшее развитие

исследований в области нанокomпозиционных материалов и изучения магнитно-неоднородных сред.

Научная новизна диссертации заключена в сравнительном, достаточно подробном комплексном экспериментальном исследовании структурных, магнитооптических и магнитных свойств большого количества нанокomпозитов с различными составами, концентрациями металлической компоненты и методами изготовления. Все полученные автором результаты и положения, выносимые на защиту, обладают научной новизной.

Достоверность таких исследований, использующих практически весь основной набор самых современных экспериментальных методов, не может вызывать никаких сомнений. Используемые методики позволяют доверять полученным результатам и установленным закономерностям.

Все основные результаты диссертации Гаршина В.В. опубликованы в открытой печати в ведущих российских и зарубежных журналах. Кроме того, результаты обсуждались на всероссийских и международных научных конференциях в виде устных и стендовых докладов. Автореферат и публикации соответствуют содержанию диссертации.

Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова. Диссертация оформлена 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.

Таким образом, соискатель Гаршин Владимир Валентинович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений.

Официальный оппонент:

Профессор кафедры технологии материалов электроники Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», доктор физико-математических наук по специальности 01.04.11 – Физика магнитных явлений,

_____ Панина Лариса Владимировна

9.12.2024

Адрес: 119049, Москва, Ленинский пр-кт, д. 4, стр. 1

Телефон (мобильный): +7 (926) 076-55-13

Адрес электронной почты: drlpanina@gmail.com, lpnina@misis.ru

Согласна на включение в аттестационное дело и дальнейшую обработку моих персональных данных, необходимых для процедуры защиты диссертации

Подпись сотрудника

Л.В. Паниной удостоверяю: