

## 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

Актуальность темы диссертации Гаршина В.В. связана с целым рядом причин, имеющих как прикладное, так и научное значение. Прикладное, техническое значение изучения нанокompозитов состоит в том, что они, бесспорно, являются перспективными для применения в качестве функциональных материалов в широком спектре направлений промышленности. Это, например, спин-туннельные магниторезистивные структуры для создания датчиков магнитного поля; материалы, применяемые для разработки спиновых транзисторов и модулей магниторезистивной оперативной памяти (MRAM); компоненты для создания мемристоров; элементы высокочастотных устройств и др.

Научное значение данной темы связано с эффективностью применения методов магнитооптической спектроскопии для получения уникальной информации о процессах самоорганизации в наноразмерных структурах при их изготовлении и детальными сведениями о формировании различных магнитно-неоднородных состояний в зависимости от технологических параметров получения образцов, их элементного состава и морфологии.

Поэтому сформулированная в диссертации цель - комплексное исследование влияния фазового состава и субструктуры, а также различных технологических параметров изготовления, на магнитооптические (МО) и магнитные свойства наногетероструктур  $\text{CoFeZr}-(\text{Al-O})$ , а также нанокompозитов  $\text{CoFeB-C}$  и  $\text{Co-C}$ , в которых матрица является немагнитной проводящей средой - является важной и актуальной как с научной, так и с практической точек зрения.

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка публикаций, списка литературы и благодарностей; включает 145 страниц текста, 60 рисунков и 5 таблиц. Список литературы содержит 125 наименований.

Первая глава носит обзорный характер. Обзор достаточно полный, особенно следует отметить описание методик изготовления образцов и моделей самоорганизации нанокомпозитов в процессе напыления. В обзоре также обсуждаются различные магнитные состояния, которые могут возникать в нанокомпозитах в зависимости от магнитной микроструктуры и морфологии образцов. Описаны основные критические концентрации металлической фазы, при которых происходит изменение магнитных и транспортных свойств образцов. Во второй главе описаны объекты и методы исследования, основные положения теории магнитооптических эффектов, а также способы и существующие проблемы описания магнитооптических свойств в различных средах, в том числе в гранулированных нанокомпозитах, в которых необходимо учитывать металлическую и диэлектрическую составляющую.

Третья и четвертая главы работы содержат оригинальные результаты, полученные при проведении исследований. Третья глава посвящена исследованию магнитооптических и магнитных свойств гранулированных нанокомпозитов  $\text{CoFeZr}-(\text{Al-O})$ , полученных в инертной среде ( $\text{Ar}$ ), реактивной среде ( $\text{Ar}+\text{N}_2$ ), а также при циклическом добавлении азота в аргон с целью получения многослойной наноструктуры. Следует отметить комплексный подход, применяемый автором для анализа данных и формулирования выводов – наряду с полученными эмпирическими данными по магнитооптическим и магнитным свойствам образцов, автор рассматривает комплекс исследований транспортных и структурных свойств изучаемых образцов, а также результаты теоретического моделирования, проведённого в рамках методов эффективной среды. Особый интерес вызывает наблюдение суперферромагнитного упорядочения в образцах, которое обнаруживается в перколяционной области концентраций металлической компоненты. В четвертой

главе представлены результаты исследования магнитооптических свойств нанокompозитов с углеродной матрицей - CoFeB-C и Co-C. В данной главе наглядно продемонстрировано, что наличие углеродной матрицы в компози-тах приводит к значительному отличию спектральных зависимостей экваториального эффекта Керра от аналогичных зависимостей, наблюдаемых в обычных композитах металл-диэлектрик. Полученные результаты объясняются на основе представлений о частичном смешивании фаз и образовании при напылении композитов дополнительных соединений ( $\text{Co}_2\text{C}$ ,  $\text{Co}_3\text{C}$  и  $\text{Fe}_3\text{C}$ ). Продемонстрировано влияние структурных особенностей нанокompозитов на их магнитооптические свойства. При анализе эмпирических данных магнитооптической спектроскопии использовалась модель гомогенного зародышеобразования тонких плёнок, предложенная в работе Алешникова А.А.

Наиболее значимыми результатами диссертации являются следующие положения:

1. Образование магнитно-неоднородного состояния, в котором сосуществуют суперферромагнитные области и суперпарамагнитные гранулы, при переходе нанокompозитов CoFeZr-(Al-O) от суперпарамагнитного состояния к обычному ферромагнитному упорядочению в области порога перколяции. Формирование магнитно-неоднородного состояния в нанокompозитах приводит к нелинейности МО отклика по намагниченности и аномальной полевой зависимости ЭЭК.

2. Термомагнитный отжиг нанокompозитов CoFeZr-(Al-O) для концентраций  $x < x_{\text{per}}$  изменяет их морфологию и магнитную микроструктуру, что приводит к росту МО отклика и расширяет область концентраций, в которой наблюдается аномальное поведение зависимостей ЭЭК.

3. Наличие значительного концентрационного интервала между электрическим и магнитным порогами перколяции в нанокompозитах с углеродной матрицей (45 ат.% для композитов Co-C).

Достоверность полученных результатов определяется использованием комплекса современных, неразрушающих и информативных экспериментальных методов, воспроизводимостью полученных результатов и согласованностью данных, полученных с помощью различных исследовательских методик. Результаты, представленные в диссертации, не противоречат экспериментальным и теоретическим данным других исследователей, опубликованным в открытой печати.

Вместе с тем, имеются замечания.

1. Вывод о концентрационном положении магнитного порога перколяции в композитах с углеродной матрицей сделан только на основе исследования магнитооптического эффекта. Представляется, что в данном случае это не совсем корректно. Для композитов металл-оксид было показано, что магнитные и магнитооптические измерения дают примерно одинаковое концентрационное положение порога перколяции. Однако сомнительно, что такая же корреляция должна наблюдаться и в композитах с углеродом. Эти композиты принципиально другие – в них обе фазы проводящие (это видно по значениям удельного сопротивления ( $10^{-5} - 10^{-6}$  Ом·м)). Кроме того, спектральные зависимости эффекта Керра чистой металлической фазы (CoFeV и Co) такие же, как у углеродных композитов на их основе. По всей видимости, наличие сплошной проводящей среды оказывает влияние на отражение поляризованного света. В данном случае желательны были бы прямые магнитные измерения.

2. Вряд ли следует приводить в качестве отдельного вывода диссертации простую констатацию факта о том, что «проведены исследования ... композитных структур» (выводы 1 и 8). Эта информация не содержит никакого нового научного результата.

3. Описывая магнитооптические свойства нанокompозитов с углеродной матрицей Co-C и CoFeV-C автор предполагает наличие в них дополнительных фаз приводя в качестве доказательства вполне разумную качественную модель формирования композитов. Однако, экспериментального под-

тверждения наличия этих фаз в работе нет. Странно то, что для данных композитов в работе приведены электронограммы, но не даётся их расшифровка. Возникает вопрос, с какой целью они приведены в работе?

4. В диссертации имеются незначительные небрежности и опечатки. Например, приведены дифрактограммы нанокompозитов в исходном состоянии и после отжига (рис. 3.3), однако режимы отжига не приводятся ни в подписи к рисунку, ни в тексте. Параметры отжига приведены в следующем разделе и при описании других характеристик (удельное сопротивление). Вероятно, это один и тот же отжиг, но лучше это указывать для каждого рисунка.

В п 4.1 сказано, что «Элементный состав получаемых тонких плёнок для систем 1429, 1436 и 1148 был исследован с помощью просвечивающего электронного микроскопа». Очевидно, что этим методом исследован фазовый состав композитов.

Указанные замечания не носят принципиального характера и не затрагивают основного содержания и положений диссертации. Прделанная работа представляет собой законченное исследование, выполненное на высоком научном уровне. Работа прошла серьёзную апробацию на всероссийских и международных конференциях. По теме диссертации автором опубликовано 14 работ, из них 8 статей - в рецензируемых изданиях, индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science, в которых материалы диссертации отражены достаточно полно. Автореферат и публикации автора точно и полностью отражают полученные в диссертации результаты.

Общее заключение по диссертации.

Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений и критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова. Диссертация оформлена согласно требовани-

ям 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 учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,  
профессор кафедры твердотельной электроники факультета радиотехники и электроники

ФГБОУВО «Воронежский государственный технический университет»

Стогней Олег Владимирович

4.12.2024.

Контактные данные:

тел.: +7(473) 246-66-47, e-mail: [sto.sci.vrn@gmail.com](mailto:sto.sci.vrn@gmail.com)

Специальность, по которой официальным оппонентом  
защищена диссертация:

01.04.07 – физика конденсированного состояния

Адрес места работы:

394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Воронежский государственный технический университет"

Тел.: +7 (473) 207-22-20; e-mail: [rector@vorstu.ru](mailto:rector@vorstu.ru)

Подпись сотрудника ФГБОУ ВО «ВГТУ»

О.В. Стогней удостоверяю:

Учёный секретарь  
верситета  
Трофимов В.П.

рственного технического уни-