

## ОТЗЫВ

*официального оппонента*

на диссертацию Ивкова Сергея Александровича

**«Особенности структурных и транспортных свойств нанокompозитов**

**$\text{Co}_x(\text{MgF}_2)_{100-x}$  и  $(\text{Co}_{45}\text{Fe}_{45}\text{Zr}_{10})_x(\text{MgF}_2)_{100-x}$ », представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности**

**1.3.8 - физика конденсированного состояния.**

Диссертационная работа Ивкова Сергея Александровича посвящена определению закономерностей влияния состава и структуры гранулированных нанокompозитов  $\text{Co}_x(\text{MgF}_2)_{100-x}$  и  $(\text{Co}_{45}\text{Fe}_{45}\text{Zr}_{10})_x(\text{MgF}_2)_{100-x}$  на их транспортные и магнитные свойства.

Для нанокompозитных систем металл-диэлектрик, обладающих эффектом гигантского магнетосопротивления (ГМС) и туннельного магнетосопротивления (ТМС) характерен ряд уникальных магнитных и транспортных свойств, которые обуславливают перспективу их применения в спинтронике, технологиях записи и хранения информации, при создании защитных покрытий, чувствительных магнитных датчиков, СВЧ-электронике, микроэлектронике. Неизменный интерес к таким материалам вызван возможностью модификации их свойств в зависимости от состава и микроструктуры, от формы и размера металлических гранул, от их распределения по объему образца и в первую очередь от концентрации магнитной металлической фазы. Изучение влияния фазового состава и микроструктуры таких нанокompозитов, понимание процессов, сопровождающих структурную перестройку вещества, в которых значительную роль играют взаимодействия магнитных наночастиц между собой, с матрицей и с подложкой, их влияние на магнитные, магнитооптические и магнитотранспортные свойства позволяет установить неразрывную взаимосвязь состав-структура-свойство. Таким образом, исследования взаимосвязи изменений атомного и фазового состава металлической и диэлектрической составляющих в магнитных гранулированных нанокompозитах с их магнитными, магнитотранспортными и магнитооптическими свойствами, выполненные в диссертационной работе являются **актуальными**.

К несомненным достоинствам работы следует отнести комплексность исследования в направлении состав-структура-свойство, которое обладает как фундаментальной значимостью, так и последующим выходом на практическое применение с возможностью направленного создания материалов с заданными свойствами, экономя время и финансы. Без чёткого понимания природы физических свойств и механизмов, обуславливающих их формирование и изменение в функциональных материалах, невозможно его дальнейшее успешное применение. Для решения этих задач диссертант использовал комплекс современных экспериментальных методов диагностики атомной структуры и фазового состава вещества: рентгеновскую дифракцию, рентгеновскую фотоэлектронную спектроскопию, инфракрасную спектроскопию, Мессбауэровскую спектроскопию, растровую электронную микроскопию. Для получения электрических и магнитных характеристик использовались магнитооптическая спектроскопия, вибрационный магнитометр (VSM), система измерения эффекта Холла и удельного сопротивления.

### **Основными результатами работы являются:**

- Установление перехода из аморфного в нанокристаллическое состояние фаз металлической и диэлектрической составляющей, в зависимости от относительного процентного соотношения компонент металл-диэлектрик в нанокompозитах  $\text{Co}_x(\text{MgF}_2)_{100-x}$  при  $x=37$  ат. % и в  $(\text{Co}_{45}\text{Fe}_{45}\text{Zr}_{10})_x(\text{MgF}_2)_{100-x}$  при  $x=30$  ат. %.

- Обнаружение фазового перехода нанокристаллов сплава  $\text{CoFeZr}$  из гексагональной в кубическую сингонию за порогом перколяции при увеличении содержания сплава от  $x=34$  ат. % до  $x=50$  ат. % в системе  $(\text{Co}_{45}\text{Fe}_{45}\text{Zr}_{10})_x(\text{MgF}_2)_{100-x}$ .

- Получение комплексных экспериментальных данных о характере межатомных взаимодействий и химическом состоянии поверхностных и глубинных нанослоев гранулированных нанокompозитов  $\text{Co}_x(\text{MgF}_2)_{100-x}$  и  $(\text{Co}_{45}\text{Fe}_{45}\text{Zr}_{10})_x(\text{MgF}_2)_{100-x}$ .

- Определение транспортных и магнитных характеристик путем их измерения в широком диапазоне изменения составов нанокompозитов  $\text{Co}_x(\text{MgF}_2)_{100-x}$  и  $(\text{Co}_{45}\text{Fe}_{45}\text{Zr}_{10})_x(\text{MgF}_2)_{100-x}$ .

**Достоверность** приведенных в диссертации результатов обеспечивается несколькими факторами: грамотным методическим подходом к проводимым исследованиям, комплексным набором методов и подходов, высокой компетенцией научных групп в составе которых работал соискатель. На первом этапе были разработаны исследовательские методики и подходы к изучению системы металл-диэлектрик с однокомпонентной металлической составляющей, частично изученной ранее. Далее тот же комплекс методов был использован для изучения более сложной системы с трехэлементным сплавом. Для верификации представленных в диссертации результатов использован комплекс современных взаимодополняющих методов с применением сертифицированного диагностического оборудования. Огромный опыт и компетентность исследовательской команды в создании, изучении атомного строения и фазового состава, электрических и магнитных свойств нанокompозитов признаны на мировом уровне. Выводы, сделанные в диссертации, следуют из полученных достоверных данных и не противоречат современным научным представлениям.

**Научная и практическая значимость** полученных в диссертационной работе Ивкова С.А. результатов обусловлена тем, что они расширяют современные фундаментальные представления о физических и физико-химических процессах, происходящих при формировании новых материалов, а именно о атомном и электронном строении, морфологии и фазовом составе, характере межатомных взаимодействий в композитных системах сложного переменного состава  $\text{Co}_x(\text{MgF}_2)_{100-x}$  и  $(\text{Co}_{45}\text{Fe}_{45}\text{Zr}_{10})_x(\text{MgF}_2)_{100-x}$ , определяющих их особые транспортные и магнитные свойства. Особенно это касается соединения  $(\text{Co}_{45}\text{Fe}_{45}\text{Zr}_{10})_x(\text{MgF}_2)_{100-x}$ , для которого совместные исследования структурных и магнитооптических свойств зернистых систем в бескислородной матрице практически отсутствуют. Результаты, полученные в работе, могут быть использованы для оптимизации технологических режимов получения гранулированных нанокompозитов с заданными электромагнитными свойствами.

Текст автореферата в полной мере отражает содержание диссертации. Выносимые на защиту положения соответствуют основным результатам и выводам работы. Основные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях, в том числе входящих в список изданий, рекомендованных ВАК. По результатам диссертации опубликовано три статьи входящие в международные базы цитирования WoS и Scopus, две

из которых в высокорейтинговых журналах с квартилем Q1 по версии SJR (Journal of Alloys and Compounds, Nanomaterials). Работа прошла хорошую апробацию на 14 конференциях, в том числе международных. Содержание диссертации, приведенных результатов, сделанных выводов и выдвигаемых на защиту положений соответствует указанной специальности 1.3.8 физика конденсированного состояния.

Тем не менее, следует обратить внимание автора на ряд представленных ниже замечаний:

1. При исследованиях атомного состава гранулированных нанокомпозитов  $\text{Co}_x(\text{MgF}_2)_{100-x}$  и  $(\text{Co}_{45}\text{Fe}_{45}\text{Zr}_{10})_x(\text{MgF}_2)_{100-x}$  автор утверждает, что с ростом концентрации металла растёт толщина пленок. Однако, в случаях  $\text{Co}_x(\text{MgF}_2)_{100-x}$  и  $(\text{Co}_{45}\text{Fe}_{45}\text{Zr}_{10})_x(\text{MgF}_2)_{100-x}$  (подложка из стекла) наблюдаются отклонения от этого утверждения при некоторых значениях концентраций, никак не комментируемые автором. Кроме того, из текста работы не совсем ясно чем обусловлен выбор именно такого состава металлической компоненты в образце  $(\text{Co}_{45}\text{Fe}_{45}\text{Zr}_{10})_x(\text{MgF}_2)_{100-x}$ , в частности циркония и почему значения и шаг исследуемых концентраций различаются для разных подложек и образцов.
2. В тексте диссертации не приведено обсуждение рисунка 3.12, демонстрирующего O 1s спектры XPS образцов с большим содержанием кобальта, хотя из рисунка видно, что закономерности в изменении спектров отличаются от закономерностей, характерных для малого содержания кобальта. Кроме того, наблюдаются и различия в спектрах XPS  $\text{Co}_{54}(\text{MgF}_2)_{46}$  и  $\text{Co}_{63}(\text{MgF}_2)_{37}$  между собой и при различном времени травления.
3. На рисунках 3.31, 4.31 приведены импедансные диаграммы для нанокомпозитов  $\text{Co}_x(\text{MgF}_2)_{100-x}$  и  $(\text{Co}_{45}\text{Fe}_{45}\text{Zr}_{10})_x(\text{MgF}_2)_{100-x}$  соответственно, с различным содержанием металлической составляющей. Обозначения на рисунках и в подписях к рисункам противоречат друг другу.
4. В диссертации присутствует ряд неточностей в оформлении, описок и неудачных выражений. В частности, по тексту работы наблюдается неоднозначность в оформлении заголовков или подзаголовков, нумерации рисунков, используется различный формат в написании нецелочисленных значений, обозначении рисунков, единиц измерений. Некоторые из выражений «3 статьи в научных изданиях...рецензируемых в международных базах цитирования WoS и Scopus» (стр. 12), «морфология нанокомпозита ...полученная на просвечивающем электронном микроскопе» (стр.19), «нам известны исследования нанокомпозитов как... наших авторов, так и японских авторов (стр. 24), «инфракрасные спектры снимались... при диапазоне  $400-4000 \text{ cm}^{-1}$ » (стр. 37), «в своей работе использовался усилитель тока...» (стр.47), «дифракционной линии с межплоскостным расстоянием  $d = 3,344$ » стр.57 не совсем корректны. При оформлении списка литературы допущен ряд разночтений, так часть стехиометрических индексов обозначена большими цифрами (например в ссылках 29, 39, 48, 53, 83, 91), а остальные подстрочными; в ссылках 70 и 90 название журналов написано большими буквами; в ссылке 90 приведено англоязычное название статьи в русскоязычном журнале.

Однако сделанные замечания не снижают общего впечатления о высоком научном уровне полученных результатов, их новизне, достоверности и практической значимости.

## Заключение

В заключении следует отметить, что диссертация Ивкова Сергея Александровича «Особенности структурных и транспортных свойств нанокompозитов  $\text{Co}_x(\text{MgF}_2)_{100-x}$  и  $(\text{Co}_{45}\text{Fe}_{45}\text{Zr}_{10})_x(\text{MgF}_2)_{100-x}$  представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, которая соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, в том числе критериям, установленным п.9-11, 13, 14 Положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 г. (с изменениями постановления Правительства Российской Федерации от 11 сентября 2021 г. №1539), а её автор, Ивков Сергей Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Отзыв заслушан и обсужден на заседании кафедры физики наносистем и спектроскопии физического факультета Южного федерального университета 3 мая 2022 года, протокол №8.

*Согласен на обработку моих персональных данных*

Официальный оппонент

Яловега Галина Эдуардовна

доктор физико-математических наук

(специальность 01.04.07 - «физика конденсированного состояния»)

доцент

ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет»,

физический факультет,

кафедра физики наносистем и спектроскопии,

заведующий

ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет»

Почтовый адрес: 344090 г. Ростов-на-Дону, ул. Зорькина, 102

Тел.: +7(863) 218-40-00 доб.15001

Электронный адрес: yalovega@sfedu.ru



*Яловега Г.Э.*  
3.15.2022

Член Совета  
Южного университета  
Мирошниченко С.С.