

**ОТЗЫВ**  
**ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**  
**на диссертацию Лисневской Инны Викторовны**  
**на тему: «Мультиферроичные гомо- и гетерофазные оксидные системы:**  
**способы получения, межфазные взаимодействия,**  
**электрофизические и магнитоэлектрические свойства»**  
**по специальности 02.00.01 – Неорганическая химия**  
**на соискание ученой степени доктора химических наук**

Диссертационное исследование Лисневской И. В. относится к области неорганической химии и направлено на поиск и разработку гомо- и гетерофазных оксидных мультиферроичных систем с высокой эффективностью магнитоэлектрического преобразования. **Актуальность** данной тематики не вызывает сомнений, что связано с перспективой создания уникального класса функциональных материалов, которые могут стать платформой для нового энергоэкономичного поколения приборов и устройств вычислительной техники, энергетики, сенсорики, экологии, интеллектуальных систем мониторинга в инженерных, технологических, транспортных, биомедицинских и других областях. Автором всесторонне исследованы химические аспекты данной научной проблемы, а именно разработаны новые способы получения гомо- и гетерофазных мультиферроиков, детально изучены вопросы межфазного взаимодействия в магнитоэлектрических композитах, проведено комплексное изучение диэлектрических, пьезоэлектрических, упругих и магнитоэлектрических свойств широкого круга одно- и двухфазных мультиферроичных систем и дана их интерпретация в рамках концепции состав – структура – свойства.

Работа изложена на 327 страницах и в целом имеет структуру, традиционную для исследований химической направленности. Она состоит из введения, литературного обзора, экспериментальной части и заключения.

Во введении обоснована актуальность исследования, сформулированы цели и задачи, научная новизна, практическая значимость.

I-IV главы представляют собой литературный обзор и составляют примерно треть от общего объема диссертации.

В первой главе даны основополагающие сведения о мультиферроичных системах и МЭ явлениях, рассмотрена их классификация, вопросы терминологии. Среди множества МЭ эффектов автор совершенно обоснованно делает акцент на описании тех из них, исследование которых проводилось в настоящей работе.

Вторая, наиболее обширная, глава литобзора содержит информацию о гетерогенных мультиферроичных системах (МЭ композитах), общих принципах их конструирования, способах получения и свойствах МЭ гетероструктур «пьезоэлектрик – магнитострикционный феррит», проблемах взаимного легирования фаз композитов при совместном спекании. Имеющаяся в литературе информация по МЭ композитам автором структурирована по составу магнитострикционной оксидной компоненты и типу связности. В каждом случае дается всесторонний объективный критический анализ состояния исследований по каждому из видов композитов.

Третья глава содержит краткие сведения о пьезоэлектрических и магнитострикционных оксидных материалах, используемых в качестве пьезоэлектрических и магнитострикционных фаз МЭ композитов, в ней дается обзор низкотемпературных методов их синтеза.

Четвертая глава посвящена однофазным мультиферроикам. Здесь приведена их современная классификация, обсуждены условия возникновения мультиферроичных свойств в одном материале и способы их комбинирования, подробно рассмотрены высокотемпературные мультиферроики – феррит висмута и соединения со структурами Ауривиллиуса.

Обзор объектов и методов исследования, а также экспериментальные результаты работы изложены в V-XI главах диссертации. Их анализ показывает, что наибольший объем экспериментальных исследований посвящен двухфазным мультиферроичным системам – МЭ композитам с различными типами связности (главы VII-IX); в главах VI и XI соответственно обсуждаются низкотемпературные методы синтеза функциональных материалов и результаты изучения проблем получения и свойств однофазных мультиферроиков. Следует отметить, что экспериментальный материал изложен с исчерпывающей полнотой, сопровождается всеми необходимыми рисунками, расположенными в соответствии с их упоминанием в тексте.

В заключении подведены итоги проделанной работы и намечены перспективы дальнейших исследований оксидных мультиферроичных систем.

Диссертационное исследование Лисневской И. В. представляет собой многолетний труд, в ходе которого на основе всестороннего изучения процессов межфазных взаимодействий в системах «пьезоэлектрик - феррит» и пределов растворимости легирующих добавок в однофазных высокотемпературных мультиферроиках со структурами Ауривиллиуса, комплексного исследования

факторов, влияющих на их диэлектрические, пьезоэлектрические и МЭ свойства, использования оригинальных методов конструирования двухфазных гетероструктур с различными типами связности разработан комплексный химико-технологический подход, обеспечивающий получение гомо- и гетерофазных мультиферроичных композиций с высокой эффективностью МЭ преобразования.

Диссертантом выполнена обширная экспериментальная работа, в ходе которой получены новые сведения о гомо- и гетерофазных мультиферроичных системах, отличающиеся несомненной **научной новизной**: впервые получены смесевые композиты со связностями 3-0, 0-3 и 3-3 «пьезоэлектрик – феррит-шпинель» и «пьезоэлектрик – железоиттриевый гранат» с высокой эффективностью МЭ преобразования и стабильными свойствами, в том числе и на основе бессвинцовых пьезоматериалов; разработаны новые способы получения стержневых и слоистых композитов, при этом МЭ композиты, полученные данными способами, характеризуются рекордно высокими коэффициентами МЭ преобразования  $\Delta E/\Delta H$ ; выявлены корреляции коэффициента  $\Delta E/\Delta H$  и пьезочувствительностей  $g_{ij}$  композитов и чистых пьезоматериалов; разработаны низкотемпературные золь-гель-методы синтеза ряда магнитных материалов и мультиферроика  $\text{BiFeO}_3$ , изучены механизмы протекания реакций; детально исследованы межфазные взаимодействия в двухфазных мультиферроичных системах и предложены способы их подавления; изучены возможности и на основе известной полуэмпирической модели обоснованы проблемы синтеза потенциальных мультиферроиков  $\text{BiFe}_{0.5}\text{V}_{0.5}\text{O}_3$ ; исследованы возможности гетеровалентного легирования ряда фаз Ауривиллиуса магнитными катионами по позициям В, установлены пределы существования твердых растворов, исследован магнитодиэлектрический эффект.

**Обоснованность и достоверность** выводов диссертации не вызывает сомнений, поскольку они согласуются между собой и с описанными в литературе результатами исследования аналогичных систем и сделаны на основе обширного экспериментального материала, полученного с использованием современных методов исследования, обеспечивающих комплексный подход к изучению гомо- и гетерофазных мультиферроичных систем.

По материалам диссертации опубликовано 38 работ, в том числе 20 статей в ведущих отечественных и зарубежных научных журналах, цитируемых в Scopus и Web of Science, а также зарегистрировано 2 объекта ноу-хау. Большая часть

материалов диссертации опубликована в международных журналах ведущих мировых научных издателей (Elsevier, Wiley, Sage).

Материалы диссертации прошли хорошую апробацию и регулярно, в период с 1994 до 2016 гг., докладывались на научных конференциях и симпозиумах всероссийского и международного уровня, что получило отражение в 15 тезисах докладов.

Очевидна **перспективность применения и практическая значимость** диссертационного исследования, т.к. в нем изложены новые научно обоснованные основополагающие принципы химии гомо- и гетерофазных мультиферроичных систем для создания уникального класса функциональных материалов, которые могут стать платформой для нового поколения энергоэкономичных приборов и устройств. Перспективность применения разработанных в рамках диссертации композиционных материалов подтверждена актами их использования в качестве чувствительных элементов датчиков магнитных полей в экспериментальных устройствах, разработанных в научно-образовательном центре «Магнитоэлектрические материалы и устройства» МИРЭА (г. Москва) и ООО «Пьезооксид» (г. Ростов-на-Дону).

#### **Оценка содержания диссертации**

Диссертация Лисневской И.В. представляет собой завершённый научно-исследовательский труд на актуальную тему. Работа написана хорошим, понятным языком. Полученные результаты описаны последовательно, логично, в ряде случаев подкреплены математическими расчетами в рамках имеющихся модельных представлений. Сделанные исходя из экспериментальных данных выводы не вызывают сомнений.

Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации.

Работа в целом тщательно оформлена, тем не менее имеются некоторые огрехи. Например, аббревиатуры ЦТС (глава II) и PMNPT (стр. 40), впервые встречающиеся в тексте, даны без расшифровки; как в тексте диссертации, так и в автореферате подпись к рис.VI.1.11 (в автореферате он обозначен как рис.7) неполная, лишь из контекста понятно, какие процессы описывают графики (3) и (4).

Имеются замечания дискуссионного и рекомендательного характера:

1. В русскоязычной научной литературе по мультиферроикам используются термины «мультиферроичный» и «мультиферроидный». Английский

вариант «multiferroic» не позволяет однозначно выбрать один из них, тем не менее второй вариант применяется чаще, однако диссертантка остановилась на первом. Каковы аргументы в пользу его выбора?

2. Мультиферроики, как известно, являются обратимыми преобразователями, но в работе в основном рассмотрена их способность преобразовывать энергию магнитного поля в электрические сигналы, в то время как обратному эффекту не уделено внимание. Очевидно, это является отдельной задачей, требующей соответствующего технического обеспечения, что могло бы дополнить имеющиеся данные.

### Заключение

Диссертация Лисневской И. В. «Мультиферроичные гомо- и гетерофазные оксидные системы: способы получения, межфазные взаимодействия, электрофизические и магнитоэлектрические свойства» представляет собой научно-квалификационную работу, в которой изложены новые научно обоснованные решения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, закладывающее основополагающие принципы химии гомо- и гетерофазных мультиферроичных систем для создания уникального класса функциональных материалов, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени.

Официальный оппонент д.х.н., профессор Института химии  
Санкт-Петербургского государственного университета,  
198504, Санкт-Петербург, Петергоф, Университетский пр. 26,  
Институт химии СПбГУ, тел. 812-428-41-01,  
[vgkonakov@yandex.ru](mailto:vgkonakov@yandex.ru), [v.konakov@spbu.ru](mailto:v.konakov@spbu.ru)

Личную подпись  
НАЧАЛЬНИК ОТДЕЛА

Н. И. МАШТЕПА

31.03.2017



(подпись)

*Коняков А.Г.*

(расшифровка подписи)

Документ подготовлен  
в порядке исполнения  
трудовых обязанностей