

ОТЗЫВ

**официального оппонента на диссертационную работу
Никитина Сергея Сергеевича «Равновесие дефектов и перенос заряда в
оксидах с двумя электроактивными катионами», представленную на
соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 1.3.8. – «Физика конденсированного состояния»**

Поиск новых эффективных материалов со смешанной ионно-электронной проводимостью, обладающих улучшенными электротранспортными характеристиками, для высокотемпературных твердотельных электрохимических устройств (твердооксидные топливные элементы и электролизеры, мембранные реакторы, кислород-проводящие мембраны и др.) обуславливает **актуальность и практическую значимость** темы диссертационной работы Никитина Сергея Сергеевича.

Цель работы состояла в получении перспективных сложнооксидных соединений на основе SrFeO_3 , модифицированного добавками электроактивных катионов Mo, Ce и Mn, и последующем установлении влияния их состава на кристаллическую структуру, равновесное состояние дефектов и электротранспортные свойства. Для ее достижения был использован комплексный подход, связанный с решением взаимодополняющих задач, включающих синтез нескольких серий оксидных фаз на основе SrFeO_3 , аттестацию их структурных параметров и изучение влияния природы электроактивных допантов в условиях варьирования температуры и парциального давления кислорода на равновесное состояние дефектов и процессы переноса заряда.

Научная новизна работы определяется следующими основными результатами исследования, которые выносятся на защиту:

1. Впервые определено влияние парциального давления кислорода и температуры на содержание кислорода и электропроводность для серий сложных оксидов на основе феррита стронция, модифицированного добавками катионов Mo, Ce и Mn;

2. Разработана методика реконструкции данных о содержании кислорода в целевых оксидах на основе анализа результатов кулонометрического титрования ферритов, содержащих примесь $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$;
3. Впервые предложены аналитические решения для термодинамических моделей дефектной структуры оксидов с двумя электроактивными катионами, подтвержденные независимыми статистическими термодинамическими расчетами;
4. Рассчитаны подвижности и энергии активации для ионных и электронных носителей заряда в сериях сложных оксидов на основе феррита стронция, модифицированного добавками катионов Mo и Ce;
5. Установлены ключевые закономерности влияния введения второго электроактивного катиона в феррит стронция на зарядовые состояния катионов d-металлов и их концентрацию, а также величины парциальных проводимостей.

Комплексный подход и использование современных экспериментальных и теоретических методов исследования позволяют считать полученные результаты **достоверными** и **надежными**. Немаловажную роль в успешном проведении экспериментальных исследований сыграл тщательный анализ современных актуальных работ, проведенный автором как в обзоре литературы диссертации, так и при обсуждении собственных результатов. Благодаря критическому анализу данных предыдущих исследований, автором обоснована **цель** исследования и сформулированы **задачи**, решение которых обеспечило ее достижение.

Теоретическая и практическая значимость работы не вызывает сомнений и определяется следующими результатами работы, включающими:

- Развитие подходов к анализу равновесных состояний дефектов и описанию сопряженного ионно-электронного транспорта в сложных оксидах со смешанной проводимостью, содержащих два электроактивных катиона;
- Получение систематизированных данных по структурным, термодинамическим и электротранспортным свойствам смешанных

электронно-ионных проводников на основе феррита стронция, модифицированного добавками катионов Mo, Ce и Mn;

- Определение перспективных соединений, рекомендованных для возможного использования в составе высокотемпературных твердотельных электрохимических устройств различного назначения.

Результаты, полученные в работе, могут быть рекомендованы к использованию в Институте высокотемпературной электрохимии УрО РАН, Институте химии твердого тела УрО РАН, Институте химии твердого тела и механохимии СО РАН, Институте физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина РАН, Федеральном исследовательском центре проблем химической физики и медицинской химии РАН, Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе РАН, Московском энергетическом институте (ТУ), Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, Санкт-Петербургском государственном университете, а также в организациях, разрабатывающих высокотемпературные электрохимические устройства на основе керамических оксидных материалов.

Материалы диссертационной работы представлены в 9 международных научных изданиях, индексируемых международными базами данных Web of Science и Scopus и входящих в ядро РИНЦ, а также апробированы на всероссийских и международных научных конференциях.

Диссертационная работа изложена на 136 страницах машинописного текста, иллюстрирована 50 рисунками и 17 таблицами. Список цитируемой литературы содержит 144 наименования. Работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка использованной литературы.

Во **введении** обоснована актуальность выбранной темы, сформулированы цель и задачи исследований, определены объекты исследования, указаны научная новизна работы, её теоретическая и практическая значимость и сформулированы положения, выносимые на защиту, а также личный вклад автора.

Первая глава диссертационной работы посвящена обзору литературы, в котором проведен анализ литературных данных по свойствам перовскитоподобных оксидов, а также влиянию допирования катионами молибдена, церия и марганца на свойства ферритов. По окончании обзора литературы проведена постановка цели и задач исследования.

Во **второй главе** приведено детальное описание методик синтеза объектов исследования, а также экспериментальные методы изучения их физико-химических свойств.

Главы диссертации с третьей по пятую посвящены исследованию кристаллической структуры, равновесия дефектов и особенностей кислород-ионного и электронного переноса в молибден-, церий- и марганецсодержащих ферритах стронция.

В **заключении** работы на основе полученных экспериментальных результатов сформулированы **выводы**, что демонстрирует умение автора систематизировать и обобщать большой объем экспериментального материала.

При ознакомлении с текстом работы возникли следующие **вопросы и замечания**:

1. Каким образом осуществляли контроль мольного содержания катионов при использовании цитрат-нитратного метода синтеза для получения церийсодержащих ферритов в случае применения кристаллогидратов в качестве прекурсоров (стр. 30)?
2. Стр. 32, «Однако реальные материалы, такие как стабилизированный иттрием диоксид циркония (YSZ), являются смешанными проводниками [116]». Требуется пояснения, что здесь подразумевается, так как данная фраза противоречит классическому представлению о природе основных носителей заряда в данном классе функциональных материалов.
3. Стр. 34. Требуется пояснения в каком режиме проводили измерения электропроводности на постоянном токе?

4. При обсуждении дефектообразования в сложнооксидных соединениях эффекты зарядовой компенсации для наглядности следовало бы проиллюстрировать с помощью квазихимических уравнений, представленных в символике Крёгера-Винка.
5. При расчете модели дефектной структуры каким образом определяли величину концентрации кислородных вакансий (ω), недоступных для внедрения ионов кислорода (стр. 44, Таблица 2)?
6. Чем обусловлено отклонение расчетных величин парциальных молярных энтальпий и энтропий от экспериментальных данных в области пониженного содержания кислорода для состава $\text{Sr}_{1-x}\text{Ce}_x\text{FeO}_{3-\delta}$ при $x = 0.15$ (рис. 25, стр. 76)?
7. В тексте встречаются многократные повторения уравнений, дублирующих друг друга: например, ур. (32), (84), (144); ур. (61), (113).
8. Стр. 115, гл. 5.4. Не наблюдается ли противоречия в утверждениях, что «стабильность оксидов в восстановительных условиях...уменьшается с увеличением содержания марганца», в то время как далее говорится, что «влияние замещения железа марганцем на свойства оксидов обусловлено лучшей устойчивостью ионов Mn^{4+} к восстановлению по сравнению с Fe^{4+} »?
9. Проводили ли изучение и моделирование электротранспортных свойств в системе $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Fe}_{1-y}\text{Mn}_y\text{O}_{3-\delta}$?

Указанные замечания не снижают оценки и значимости диссертационного исследования, выполненного на высоком научном уровне. Диссертация соответствует специальности 1.3.8. – «Физика конденсированного состояния» и отвечает требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 с изменениями, внесенными постановлением Правительства РФ от 20 марта 2021 г. № 426, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор, Никитин Сергей Сергеевич, заслуживает

присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. – «Физика конденсированного состояния».

Официальный оппонент:

кандидат химических наук,

ведущий научный сотрудник отдела функциональных материалов для химических источников энергии Федерального исследовательского центра проблем химической физики и медицинской химии РАН

Лысков Николай Викторович



17 августа 2026 года

Контактные данные:

тел.: +7 (496) 522-16-14, e-mail: lyskov@icp.ac.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:

02.00.21 – химия твердого тела

Адрес места работы:

142432, Московская область, город Черноголовка, проспект академика Семенова, 1, Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии РАН

Тел.: +7 (496) 522-16-14; e-mail: lyskov@icp.ac.ru

Подпись Н.В. Лыскова заверяю.

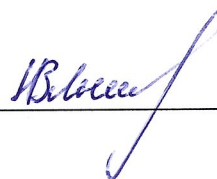
Ученый секретарь Федерального
исследовательского центра проблем химической
физики и медицинской химии РАН
доктор химических наук



/ Б.Л. Психа

Согласен на обработку персональных данных.

17 августа 2026 года



/ Н.В. ЛЫСКОВ