

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Старостиной Инны Анатольевны  
"Синтез и физико-химические свойства протонных проводников на основе станната бария",  
представленной на соискание ученой степени кандидата химических наук  
по специальности 1.4.4. Физическая химия

Представленная к защите диссертация И.А. Старостиной направлена на разработку физико-химических основ конструирования и получения порошков Sn-замещенного церата и цирконата бария, создания на их основе плотных керамических материалов и изучения комплекса структурных, термомеханических и протон-проводящих свойств с целью определения областей их потенциального практического использования в области твердооксидных электрохимических устройств. Представленную работу отличает четкая постановка цели исследования, их осуществление на высочайшем научном уровне с привлечением современных экспериментальных и расчетных методов, а автора работы – исчерпывающее владение актуальным состоянием исследований и их результатами в области протон-проводящих оксидных проводников и их результатами, что в совокупности позволило успешно решить все поставленные задачи работы – от успешного синтеза однофазных порошкообразных перовскитоподобных материалов до детального изучения механизмов протонной проводимости в компактированных керамических материалах. Отдельно стоит отметить сбалансированное и обоснованное использование в работе как взаимодополняющего комплекса физико-химических методов анализа, глубокий анализ и интерпретацию полученных данных. Научная новизна и практическая значимость работы не вызывает никаких сомнений, а основное содержание диссертации безусловно соответствует паспорту специальности 1.4.4. Физическая химия.

Тем не менее, при подробном ознакомлении с авторефератом диссертации возникают следующие вопросы и замечания:

1. Из разделов актуальности и степени разработанности темы исследования остается не до конца понятным с чем связан выбор в качестве объектов исследования сложных оксидов именно с перовскитоподобной структурой, а также в чем заключаются преимущества и ограничения использования станната бария в качестве основы протон-проводящих керамических материалов?

2. Из основного содержания работы неясно каким образом контролировалось достижение необходимой плотности (отсутствия заметной пористости) керамических материалов на основе разрабатываемых перовскитоподобных Sn-замещенных церата и цирконата бария, а также какие плотностные требования в принципе предъявляются к различным материалам твердооксидных электрохимических устройств?

3. Как известно из литературы, материалы на основе цератов и цирконатов щелочноземельных элементов зачастую имеют ту или иную степень нестехиометрии по кислороду (фактический состав –  $M\text{CeO}_{3-\delta}$  и  $M\text{ZrO}_{3-\delta}$ , где  $M$  – щелочноземельный элемент), что связывают с наличием кислородных вакансий ввиду присутствия на поверхности или в объеме частиц  $d$ - и  $f$ -элементов в отличной от  $4+$  степени окисления ( $\text{Ce}^{3+}$  и  $\text{Zr}^{3+}$ , соответственно). Что можно сказать на основании проведенных исследований о наличии такой нестехиометрии в разрабатываемых материалах на основе Sn-допированных цератов и цирконатов бария? Как на нее влияет проведенное автором изоморфное замещение оловом ( $\text{Sn}^{4+}$ ) и неизоморфное замещение иттрием ( $\text{Y}^{3+}$ ) и скандием ( $\text{Sc}^{3+}$ )? Могут ли в обогащенных оловом составах цератов и цирконатов бария присутствовать восстановленные состояния

олова  $\text{Sn}^{2+}$ ? Насколько это влияет на протон-проводящие свойства материалов и потенциальные области их практического применения?

Представленные выше замечания не снижают высокую теоретическую и научную значимость проведенных исследований и обоснованность сформулированных выводов. Суммируя вышеизложенное, можно с уверенностью утверждать, что И.А. Старостиной получены новые оригинальные результаты в области физико-химического дизайна, получения, исследования структуры и функциональных свойств керамических протонных проводников на основе станната бария. В дальнейшем разработанные материалы с низкой концентрацией акцепторного допанта (до 15 мол. %) могут быть применены в качестве основы перспективных электродных материалов или безэлектродных кислород-, водород- и паропроницаемых мембран, а с более высокой концентрацией акцепторного допанта (от 20 мол. %) – в качестве основы протонпроводящих электролитов для низко- и среднетемпературных твердооксидных топливных элементов и электролизеров. Достоверность и качество полученных автором результатов подтверждается публикациями в авторитетных рецензируемых международных изданиях, а перспективы практического применения – полученным патентом на изобретение.

На основании вышеизложенного можно заключить, что по актуальности, научной новизне и практической значимости представленная диссертационная работа соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, а ее автор Старостина Инна Анатольевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.4. Физическая химия.

Заведующий лабораторией материалов и процессов  
водородной энергетики Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки Физико-технический  
институт им. А.Ф. Иоффе, ведущий научный сотрудник,  
кандидат химических наук  
194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 26  
Адрес эл. почты: [vadim.i.popkov@mail.ioffe.ru](mailto:vadim.i.popkov@mail.ioffe.ru)  
Тел. +7(812)297-2245

Вадим Игоревич  
Попков

  
30.11.2023 г.



Подпись Попкова В.И. удостоверяю  
зав.отделом кадров ФТИ им.А.Ф.Иоффе

