

**РЕШЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА УрФУ 02.01.01  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА НАУК**

от «29» октября 2020 г. № 17

о присуждении **Фарленкову Андрею Сергеевичу**, гражданство Российской Федерации, ученой степени кандидата химических наук.

Диссертация **«Взаимодействие газообразных кислорода, воды и водорода с протонпроводящими оксидами на основе скандата лантана и их структурно-морфологические свойства»** по специальности **02.00.04 – Физическая химия** принята к защите диссертационным советом УрФУ 02.01.01 15.09.2020, протокол № 13.

Соискатель, **Фарленков Андрей Сергеевич**, 1991 года рождения, в 2014 году окончил магистратуру ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина» по направлению подготовки 240100 Химическая технология, в 2018 году окончил очную аспирантуру ФГБУН Институт высокотемпературной электрохимии Уральского отделения Российской академии наук (г. Екатеринбург) по направлению подготовки 04.06.01 – Химические науки (Физическая химия).

Работает в должности младшего научного сотрудника лаборатории твердооксидных топливных элементов ФГБУН Институт высокотемпературной электрохимии Уральского отделения Российской академии наук.

Диссертация выполнена в лаборатории твердооксидных топливных элементов ФГБУН Институт высокотемпературной электрохимии Уральского отделения Российской академии наук, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор химических наук, доцент **Ананьев Максим Васильевич**, Общество с ограниченной ответственностью «Научно-производственное объединение «Электрохимические технологии» (ООО «НПО «Элтех»), г. Екатеринбург, директор.

Официальные оппоненты:

**Мастриков Юрий Аркадьевич**, Doktor der Naturwissenschaften (кандидат наук), Латвийский университет (г. Рига, Латвия), Институт физики твердого тела, лаборатория кинетики самоорганизующихся систем, ведущий научный сотрудник;

**Патракеев Михаил Валентинович**, доктор химических наук, ФГБУН Институт химии твердого тела Уральского отделения Российской академии наук (г. Екатеринбург), лаборатория оксидных систем, главный научный сотрудник;

**Титова Светлана Геннадьевна**, доктор физико-математических наук, ФГБУН Институт металлургии Уральского отделения Российской академии наук (г. Екатеринбург), лаборатория статики и кинетики процессов, главный научный сотрудник,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Соискатель имеет 82 опубликованных работы, в том числе по теме диссертации 34 работы, из них 11 статей, опубликованных в рецензируемых научных изданиях и входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования, и 1 патент РФ на изобретение. Общий объем по теме диссертации 6,53 п.л. / 1,16 п.л. – авторский вклад.

*Статьи, опубликованные в рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных ВАК и Аттестационным советом УрФУ:*

1. Hydrogen diffusivity in the Sr-doped LaScO<sub>3</sub> proton-conducting oxides / **A. S. Farlenkov**, M. I. Vlasov, N.M. Porotnikova, I. A. Bobrikov, A. V. Khodimchuk,

M. V. Ananyev // International Journal of Hydrogen Energy. – 2020. – V. 45 – P. 23455–23468. (0,95 п.л. / 0,16 п.л.) Scopus, WoS.

2. Oxygen isotope exchange in proton-conducting oxides based on lanthanum scandates / **A. S. Farlenkov**, A. V. Khodimchuk, N. A. Shevyrev, A. Yu. Stroeva, A. V. Fetisov, M. V. Ananyev // International Journal of Hydrogen Energy. – 2019. – V. 44 – P. 26577–26588. (0,75 п.л. / 0,13 п.л.) Scopus, WoS.

3. Interaction of O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O and H<sub>2</sub> with proton-conducting oxides based on lanthanum scandates / **A. S. Farlenkov**, N. A. Zhuravlev, T. A. Denisova, M. V. Ananyev // International Journal of Hydrogen Energy. – 2019. – V. 44 – P. 26419–26427. (0,56 п.л. / 0,14 п.л.) Scopus, WoS.

4. Effect of proton uptake on the structure of energy levels in the band-gap of Sr-doped LaScO<sub>3</sub>: Diffuse reflectance spectroscopy and coherent potential approximation calculations / M. I. Vlasov, V. M. Zainullina, M. A. Korotin, **A. S. Farlenkov**, M. V. Ananyev // Physical Chemistry Chemical Physics. – 2019. – V. 21 – P. 7989–7995. (0,44 п.л. / 0,09 п.л.) Scopus, WoS.

5. Oxygen isotope exchange in doped lanthanum zirconates / **A. S. Farlenkov**, A. V. Khodimchuk, V. A. Eremin, E. S. Tropin, A. V. Fetisov, N. A. Shevyrev, I. I. Leonidov, M. V. Ananyev // Journal of Solid State Chemistry. – 2018. – V. 268. – P. 45–54. (0,63 п.л. / 0,08 п.л.) Scopus, WoS.

6. Isotopic exchange between hydrogen from the gas phase and proton-conducting oxides: Theory and experiment / M. V. Ananyev, **A. S. Farlenkov**, E. Kh. Kurumchin // International Journal of Hydrogen Energy. – 2018. – V. 43. – P.13373–13382. (0,63 п.л. / 0,21 п.л.) Scopus, WoS.

7. Local levels in La<sub>1-x</sub>Sr<sub>x</sub>ScO<sub>3-x/2</sub> band-gap under interaction with components of O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O atmospheres / M. I. Vlasov, M. V. Ananyev, **A. S. Farlenkov**, A. I. Slesarev, A. Yu. Stroeva, I. A. Weinstein // International Journal of Hydrogen Energy. – 2018. – V. 43 – P. 17364–17372. (0,56 п.л. / 0,09 п.л.) Scopus, WoS.

8. Water uptake, ionic and hole transport in La<sub>0.9</sub>Sr<sub>0.1</sub>ScO<sub>3-δ</sub> / **A. S. Farlenkov**, L. P. Putilov, M. V. Ananyev, E. P. Antonova, V. A. Eremin, A. Yu. Stroeva, E. A.

Sherstobitova, V. I. Voronin, I. F. Berger, V. I. Tsidilkovski, V. P. Gorelov // Solid State Ionics. – 2017. – V. 306. – P. 126–136. (0,69 п.л. / 0,06 п.л.) Scopus, WoS.

9. Local disorder and water uptake in  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{ScO}_{3-\delta}$  / **A. S. Farlenkov**, A. G. Smolnikov, M. V. Ananyev, A. V. Khodimchuk, A. L. Buzlukov, A. V. Kuzmin, N. M. Porotnikova // Solid State Ionics. – 2017. – V. 306. – P. 82–88. (0,44 п.л. / 0,06 п.л.) Scopus, WoS.

10. Oxygen isotope exchange, water uptake and electrical conductivity of Ca-doped lanthanum zirconate / E. P. Antonova, **A. S. Farlenkov**, E. S. Tropin, V. A. Eremin, A. V. Khodimchuk, M. V. Ananyev // Solid State Ionics. – 2017. – V. 306. – P. 112–117. (0,38 п.л. / 0,06 п.л.) Scopus, WoS.

11. Oxygen isotope exchange in doped calcium and barium zirconates / **A. S. Farlenkov**, M. V. Ananyev, V. A. Eremin, N. M. Porotnikova, E. Kh. Kurumchin, B. T. Melekh // Solid State Ionics. – 2016. – V. 290. – P. 108–115. (0,5 п.л. / 0,08 п.л.) Scopus, WoS.

#### ***Патент:***

Ананьев М. В. Патент РФ «Способ определения концентрации протонов в протон-проводящих оксидных материалах» / М. В. Ананьев, **А. С. Фарленков**, В. А. Еремин. – № 2569172. – ИВТЭ УрО РАН, Екатеринбург. – Приоритет 05.05.2014. (0,56 п.л./0,28 п.л.)

На автореферат поступило 7 положительных отзывов: от заведующего кафедрой электрохимии химического факультета, д.х.н., чл.-корр. РАН, проф. **Антипова Евгения Викторовича** и к.х.н., доц. химического факультета **Истомина Сергея Яковлевича**, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», г. Москва; руководителя Центра компетенций НТИ по технологиям новых и мобильных источников энергии, ФГБУН Институт проблем химической физики РАН, д.х.н., проф. **Добровольского Юрия Анатольевича**, г. Черноголовка; директора, ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, чл.-корр. РАН, д.х.н. **Немудрого Александра Петровича**, г. Новосибирск; старшего научного сотрудника лаборатории каталитических процессов в топливных элементах,

ФГБУН «ФИЦ Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН», к.х.н. **Снытникова Павла Валерьевича**, г. Новосибирск; научного сотрудника лаборатории керамического материаловедения, Институт химии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, к.х.н. **Краснова Алексея Галинуровича**, г. Сыктывкар; главного научного сотрудника лаборатории кинетических явлений, ФГБУН Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, д.ф.-м.н. **Скрипова Александра Владимировича**, г. Екатеринбург; доцента кафедры физической и неорганической химии, Институт естественных наук и математики ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», к.х.н. **Тарасовой Наталии Александровны**, г. Екатеринбург.

Отзывы содержат следующие критические замечания и вопросы: о возможности экстраполяции данных кинетических исследований обмена водорода и кислорода газовой фазы со стронцийзамещенными скандатами лантана на более высокие давления, о некорректном использовании слова «дейтерон», о наличии небольшого количества опечаток (Снытников П.В.); о преимуществах и недостатках исследованных протонных электролитов на основе скандата лантана по сравнению с известными в литературе, о том, помогут ли представления о новом механизме дефектообразования разработать новые протонпроводящие материалы с более высокой протонной проводимостью, о том как представляет себе автор дефектообразование в атмосфере  $\text{H}_2\text{-H}_2\text{O}$ , где потенциально возможно как инкорпорирование воды, так и водорода (Добровольский Ю.А.); о том, почему автор диссертации называет уровень насыщения протонами оксидов «кажущимся», о причинах выбора низкого давления водорода в экспериментах по растворимости молекулярного водорода в исследуемых оксидах, о том, как в предложенной автором новой модели дефектообразования осуществляется перенос ионов кислорода в оксидах (Немудрый А.П.); об обосновании выбора стронция в качестве допанта в изучаемых оксидах (Краснов А.Г.); о возможном образовании дефицита по А-катиону в предложенной автором модели дефектообразования, об отсутствии в

тексте автореферата данных нейтронографических исследований, показывающих качество уточнения кристаллических структур (Антипов Е.В., Истомин С.Я.).

**Выбор официальных оппонентов** обосновывается компетентностью Мастрикова Ю.А., Патракеева М.В. и Титовой С.Г. в области физической химии сложнооксидных соединений, в частности, изучения их структурных особенностей, физико-химических и электрохимических свойств, что подтверждается их публикациями в высокорейтинговых научных журналах.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата **химических** наук соответствует п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена важная для физической химии задача: экспериментально показана возможность инкорпорирования протонов и дейтронов из атмосферы молекулярного водорода в оксиды со структурой перовскита на примере скандатов ланатна допированных стронцием; установлены особенности кристаллической структуры и микроструктуры оксидов; предложены модели дефектообразования на основе представлений о переконденсации структурных октаэдров как при замещении лантана на стронций, так и в процессах инкорпорирования воды и молекулярного водорода из газовой фазы.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. **Положения, выносимые на защиту**, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

– Впервые экспериментально показана возможность инкорпорирования протонов и дейтронов из атмосферы молекулярного водорода в структуру оксидов  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{ScO}_{3-\delta}$  ( $x = 0.04; 0.09$ ) методами протонного магнитного резонанса и дифракции нейтронов.

– Определены области преимущественной локализации дейтронов в структуре стронцийзамещенных скандатов лантана: дейтроны, главным образом, сосредоточены вокруг апикального кислорода позиции O1 (4c) в элементарной ячейке. Показано, что введение примеси и появление протонных дефектов в структуре оксидов  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{ScO}_{3-\delta}$  ( $x = 0; 0.04; 0.09$ ) приводит к повышению локальной симметрии вокруг ионов скандия.

– Показано, что в атмосфере молекулярного водорода оксиды  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{ScO}_{3-\delta}$  ( $x = 0.04; 0.09$ ) являются униполярными протонными проводниками в температурном диапазоне 500–800 °C на основании совпадения значений коэффициентов диффузии, полученных методом изотопного обмена и рассчитанных из электропроводности.

– Определены значения энтальпий и энтропий процессов гидратации и окисления оксидов  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{ScO}_{3-\delta}$  ( $x = 0.04; 0.09$ ) в атмосферах  $\text{O}_2\text{--H}_2\text{O}$  и  $\text{H}_2\text{--H}_2\text{O}$ .

– Установлено, что стадией, определяющей скорость обмена как с кислородом, так и с водородом газовой фазы для оксидов  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{ScO}_{3-\delta}$  ( $x = 0.04; 0.09$ ) является стадия диссоциативной адсорбции кислорода (водорода).

– Установлено наличие протяженных дефектов в структуре оксида  $\text{La}_{0.91}\text{Sr}_{0.09}\text{ScO}_{3-\delta}$ , представляющих собой границы между антифазными доменами, и возникающие при образовании упорядоченного и неупорядоченного состояния в пределах одного зерна при допировании  $\text{LaScO}_3$  атомами стронция.

– Предложена модель дефектообразования, с помощью которой на основе представлений об изменении способа сочленения структурных октаэдров объясняется кислородный дефицит при замещении лантана на стронций и описываются процессы инкорпорирования воды и молекулярного водорода из газовой фазы.

В работе получены количественные значения концентраций протонных дефектов в атмосферах  $\text{O}_2\text{--H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{O--H}_2$  и  $\text{H}_2$ , скоростей межфазного



обмена водорода (кислорода), коэффициентов диффузии водорода (кислорода), которые могут использоваться в качестве справочных данных при моделировании процессов, происходящих в протонно-керамических электрохимических устройствах. Представлен новый механизм дефектообразования, который может быть заложен в основу разработки и создания новых оптических и/или электрохимических сенсоров, работающих в  $O_2-H_2O$ - и  $H_2-H_2O$ -атмосферах.

На заседании 29 октября 2020 года диссертационный совет УрФУ 02.01.01 принял решение присудить Фарленкову Андрею Сергеевичу ученую степень кандидата **химических наук**.

При проведении открытого голосования диссертационный совет УрФУ 02.01.01 в количестве 14 человек, из них в удаленном интерактивном режиме – 4 человека, из них 3 доктора наук по профилю рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, проголосовали: за – 14, против – нет, воздержались – нет.

Председатель  
диссертационного совета  
УрФУ 02. 01.01

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
УрФУ 02.01.01.



Черепанов  
Владимир Александрович

Кочетова  
Надежда Александровна

29.10.2020