

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Попова М.П. «ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ МОДИФИКАЦИИ ВОЛЬФРАМОМ НА ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ПЕРОВСКИТА СОСТАВА  $Ba_{0.5}Sr_{0.5}Co_{0.8}Fe_{0.2}O_{3-\delta}$ », представленной на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 02.00.21- химия твердого тела

В настоящее время смешанные ионно-электронные проводники с перовкитоподобной структурой находят многочисленные практические применения, прежде всего для катодов твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ), кислородных мембран, токопроводящих слоев различного назначения и катализаторов. Материал  $Ba_{0.5}Sr_{0.5}Co_{0.8}Fe_{0.2}O_{3-\delta}$  (BSCF) характеризуется крайне высоким уровнем кислород-ионной проводимости, близким к максимальным значениям, которые известны для оксидных материалов. Вместе с тем, BSCF отличается сравнительно низкой термодинамической стабильностью, что приводит к деградации при понижении температуры и парциального давления кислорода, а также в газовых средах, содержащих  $CO_2$  и серу. Диссертационная работа Попова М.П. посвящена анализу возможности решения данной проблемы путем частичного замещения кобальта на  $W^{6+}$  с целью стабилизации структуры типа перовскита с разупорядоченными кислородными вакансиями. Таким образом, тема диссертации и решаемые в ней задачи, включающие исследование фазовых равновесий в псевдобинарной системе  $Ba_{0.5}Sr_{0.5}(Co,W)_{0.8}Fe_{0.2}O_{3-\delta}$ , выбор оптимального состава кислородных мембран, изучение кристаллической структуры, кислородной нестехиометрии, кислород-ионной проницаемости и стабильности W-замещенного BSCF, а также отработка методики изготовления микротрубчатых мембран и режимов их использования, имеют высокую практическую значимость и актуальность.

Автором диссертационной работы получены и проанализированы экспериментальные данные, которые составляют важный справочный материал и позволяют оценить механизмы внедрения и переноса кислорода. Эмпирические модели для анализа кислород-ионной проницаемости и их параметры, полученные автором, могут быть использованы для моделирования мембранных устройств большой производительности. Достоинством диссертационной работы является применение хорошо апробированных и высокоинформативных современных методов исследования, что обеспечило высокую достоверность экспериментальных результатов. Основные результаты и выводы диссертации были опубликованы в 4 статьях и доложены на 11 международных и российских конференциях.

К некоторым недостаткам работы относится отсутствие верификации уравнений для описания кислород-ионной проницаемости, предусматривающих степенную зависимость концентрации анионов кислорода на поверхности и в объеме смешанного проводника от парциального давления кислорода. Такой тип зависимости мог быть подтвержден, в частности, путем регрессионного анализа  $(3-\delta) - T - p(O_2)$  диаграмм, полученных автором. Экспериментальные  $(3-\delta) - T - p(O_2)$  диаграммы, представленные в автореферате, показывают ограниченную применимость степенных моделей. Необходимо также отметить, что заключение о диффузии кислорода как основной лимитирующей стадии переноса через дисковые мембраны BSCF частично противоречит многочисленным литературным данным, свидетельствующим о важности как объемных, так и поверхностных факторов. Данное противоречие может быть связано, например, с особенностями микроструктуры или состава поверхности мембран, что приводит к необходимости более подробных электронно-микроскопических и/или спектроскопических исследований поверхностных слоев. Вместе с тем, такие исследования выходят за рамки основных задач диссертационной работы и могут быть выполнены в будущем. Указанные незначительные недостатки не влияют на высокий научный уровень диссертационной работы.

Считаю, что диссертационная работа М.П. Попова соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года №842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 02.00.21- химия твердого тела.

Заведующий лабораторией материалов  
для электрохимических технологий ИФТТ РАН,  
редактор журналов Materials Letters и Journal of Solid State Electrochemistry  
к.х.н.

  
В.В. Хартон

*Подпись В.В. Хартона завершено*

УЧЁНЫЙ СЕКРЕТАРЬ  
ИФТТ РАН  
АБРОСИМОВА Г.А.

