О Т З Ы В

на автореферат диссертации

Филатова Никиты Михайловича по теме: **«Синтез и физико-химические свойства твердых электролитов на основе гафната стронция»**, представленной на соискание ученой степени кандидата химических наук

по специальности 1.4.6. – "Электрохимия"

Протонпроводящие электролиты обладают значительной электропроводностью в диапазоне средних температур (500-800°C), в отличие от кислородпроводящих электролитов, для работы которых требуется более высокий диапазон температур, что значительно осложняет возможность их повсеместного применения. Поэтому именно протонные проводники активно исследуются в последние десятилетия. Тем не менее, чтобы начать массовое производство протонпроводящих твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ) и твердооксидных электролизеров (ТОЭ), необходимо провести поиск высокопроводящих и долговечных протонных электролитов. Известно, что оксиды со структsурным типом перовскита 2/4 имеют высокую протонную проводимость в атмосфере водяного пара и в водородсодержащих газовых средах в среднетемпературном интервале (400-700 °C). Настоящая работа посвящена синтезу и исследованию новых материалов с протонной проводимостью – твердых электролитов на основе $SrHfO_3$. Твердые растворы гафната стронция допированы одной или двумя акцепторными примесями в подрешетку гафния, и имеют состав - $SrHf_{1-x}M_xO_{3-\delta}$ (M = Sc, Y, Yb, Lu) и $SrHf_{0.8}Sc_{0.2-x}R_yO_{3-\delta}$ (R = Y, Lu). Впервые в этой работе определены границы областей образования однофазных твердых растворов. Показано, что электропроводность твердых растворов возрастает в ряду $Y3+ \rightarrow Yb3+ \rightarrow Sc3+ \rightarrow Lu3+$. Выявленные закономерности изменения физико-химических свойств полученных твердых растворов в зависимости от вида и концентрации допанта дополняют знания о протонных проводниках на основе гафнатов щелочноземельных элементов.

Работа, несомненно, имеет прикладное значение, поскольку в ней определены наиболее перспективные для практического применения в электрохимических устройствах электролиты из исследованных твердых растворов, а также изготовлен, аттестован и запатентован амперометрический датчик на основе гафната стронция, допированного скандием.

По материалам диссертации опубликовано 5 статей в высокорейтинговых международных журналах, 4 из которых в журналах 1-го квартиля, 7 тезисов докладов и получен 1 патент.

Автореферат диссертации хорошо иллюстрирован и изложен грамотным и логичным языком. Вместе с тем, при прочтении возникли следующие вопросы и замечания:

- В разделе «Актуальность» и в описании первой главы значительное внимание уделяется преимуществам гафнатов по сравнению с цератами и цирконатами. Однако из текста не вполне ясно, почему для исследований были выбраны именно гафнаты стронция, а не гафнаты других щелочноземельных элементов (например, Mg, Ca, Ba). Обоснование выбора катиона A-подрешётки следовало бы привести более развёрнуто.
- В главе 3 рассмотрено фазообразование твёрдых растворов гафнатов стронция с различными РЗЭ. Согласно рис. 1д, объём элементарной ячейки гафнатов, допированных лютецием, при одной и той же концентрации (например, x = 0,1) оказывается больше, чем у образцов, допированных иттрием или иттербием, хотя ионный радиус лютеция меньше. Это выглядит неожиданно и требует отдельного пояснения со стороны автора.
- В главе 4 для проверки униполярности и выявления вклада ионов кислорода автор использовал экстраполяцию зависимости проводимости от давления паров воды и расчёт по уравнению Нернста–Эйнштейна. Однако остаётся неясным, почему нельзя было оценить вклад ионной составляющей непосредственно из зависимостей $\sigma(pO_2)$ в сухой среде.
- Показано, что при содопировании скандием/иттрием и скандием/лютецием объём элементарной ячейки в обоих случаях увеличивается. Однако влияние на проводимость оказывается противоположным: в одном случае содопирование снижает проводимость, в другом — повышает. Чем обусловлено такое различие?
- В заключительной части работы сообщается о создании датчика NO и паров воды на основе $SrHf_{0.85}Sc_{0.15}O_{3-\delta}$. Однако ранее отмечалось, что наибольшей проводимостью в серии скандий-допированных гафнатов обладает состав $SrHf_{0.80}Sc_{0.20}O_{3-\delta}$, а среди лютеций-допированных — $SrHf_{0.9}Lu_{0.1}O_{3-\delta}$. Почему для сенсора был выбран именно состав с 15 мол.% скандия, а не составы с более высокой проводимостью?

Приведенные замечания не снижают высокую оценку работы. Считаю, что диссертация полностью соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842. Автор диссертации Филатов Никита Михайлович заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.6. – “Электрохимия”.

доктор химических наук (специальность 02.00.21 «Химия твердого тела»),
главный научный сотрудник отдела кинетики и катализа, лаборатории функциональных нанокомпозитов
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук

Шляхтина Анна Викторовна подпись 17 июля 2026

Я, Шляхтина Анна Викторовна, даю своё согласие на включение моих персональных данных в аттестационное дело, их дальнейшую обработку и размещение в сети Интернет.

Шляхтина Анна Викторовна подпись 17 июля 2026

Контактная информация: ФИЦ ХФ им. Н.М. Семенова РАН
Почтовый адрес: 119991, Москва, ул. Косыгина, 4
Телефон: +7 (495) 137-29-51, +7 (495) 939-72-60
e-mails: annashl@inbox.ru; annash@chph.ras.ru

Подпись гнс, дхн ФИЦ ХФ РАН А.В. Шляхтиной заверяю,

Зам. Ученого секретаря ФИЦ ХФ РАН к.ф-м. н. М.И. Иким