**ОТЗЫВ официального оппонента**
**о диссертации на соискание ученой степени**
**кандидата химических наук Филатова Никиты Михайловича**
**на тему: «Синтез и физико-химические свойства твердых электролитов на основе гафната стронция» по специальности 1.4.6. Электрохимия**

Работа Н.М.Филатова посвящена синтезу, структурной аттестации и исследованию кинетических свойств твёрдых растворов замещения $SrHf_{1-x}M_xO_{3-\delta}$ (M =Sc, Lu, Yb, Y) вместе с их гидратированными формами для применения этих материалов в качестве мембран протонопроводящих устройств. Водородная энергетика в настоящее время является одним из наиболее интенсивно развивающихся направлений. Поиск новых материалов для применения в этой области является, безусловно, **актуальной задачей**.

В работе определены пределы устойчивости как твёрдых растворов $SrHf_{1-x}M_xO_{3-\delta}$ (M =Sc, Lu, Yb, Y), так и их производных $SrHf_{0.8}Sc_{0.2-x}M_xO_{3-\delta}$, (M = Y, Lu). Широким набором методов изучено влияние замещений на параметры решётки и коэффициент теплового расширения, температурную границу устойчивости гидратированного состояния, электропроводность «сухой» и гидратированной форм. Разработаны методики синтеза плотной и однородной керамики, показана её химическая устойчивость. Отработан метод нанесения металлических электродов. Установлена природа носителей заряда в зависимости от температуры и влажности атмосферы а также роль межзёренных границ. На основе анализа этих данных сделан выбор материалов, наиболее перспективных для практического использования в качестве материалов протон-проводящих мембран. Это твёрдые растворы, допированные Lu и Sc. Сконструирован амперометрический датчик для определения содержания водорода и кислорода в газовых смесях. Перечисленные результаты определяют высокую **научную и практическую значимость** работы Н.М.Филатова.

**Достоверность результатов** достигается грамотным использованием хорошо известных и надёжно аттестованных методик, типа рентгеноструктурного анализа порошков, сканирующей электронной микроскопии, термогравиметрии, рамановской и импедансной спектроскопии и пр.

Достоверные результаты позволяют автору сделать **обоснованные выводы** относительно влияния размера допирующего иона на ионную проводимость по кислороду и водороду в рассмотренных материалах. Эти выводы подтверждены созданием и испытанием амперометрического датчика для определения содержания кислорода и водорода в газовых смесях.

**Новизна результатов** не вызывает сомнений, поскольку фазы, описанные в работе, синтезированы впервые, следовательно, и все их характеристики также ранее не могли быть получены.

**Автореферат** отражает содержание работы.

В то же время, настоящая работа, как любая большая научная работа, вызывает ряд вопросов и замечания.

На страницах 52-54 при описании синтеза не указан размер образцов. Это важно, поскольку время релаксации зависит от диффузионной длины. Неясно вообще, был ли размер одинаков? Время для выгорание связующего и углерода неизбежно будет зависеть от размеров. Кроме того, неясно как контролировали завершение процессов выгорания?

Формулы 2.5 – 2.8 на странице 60 справедливы в случае термодинамического равновесия. Как убеждались в оном?

Рисунок 3.8. Какие аргументы за то, что замещение проходит именно по подрешётке гафния, а не стронция?

Таблица 3.5. на странице 92. Как я понимаю, КТР определён для «сухого» участка. А что до влажного? И вообще, из Рис. 3.10 следует, что можно определить объём поглощённой воды. Интересно было бы посмотреть на эту величину, особенно как функцию давления паров воды.

Раздел 4.2. Связь ионного радиуса РЗМ-допанта с энергией активации указывает на важную роль изменения объёма элементарной ячейки при допировании. Поэтому вызывает разочарование отсутствие данных по КТР для гидратированных материалов (раздел 3.3).

Стр 114. Неясно как определяли объём границ зёрен, входящий в формулу 4.6.

Стр 122. Таблица 5.1. Система Sc-Y. Для состава $Sc_{0,15}Y_{0,05}$ все параметры уменьшаются, а объём элементарной ячейки увеличивается. Так быть не может. Кроме того, дифрактограммы Рис.5.1 – 5.2 выглядят неубедительно – при столь низком уровне допирования примеси новой фазы легко не заметить. А вот параметры это почувствуют. Из Таблицы 5.1. следует, что составы $Sc_{0,15}Y_{0,05}$ и $Sc_{0.10}Lu_{0.010}$ лежат за пределами однофазной области. Легко видеть, что это противоречит данным Рис. 5.3.

Стр. 124 Рис.5.4 – 5.5. Как подготавливалась поверхность к СЭМ-анализу? Шлифовалась? Этого делать нельзя, потому что тогда не удастся наблюдать зёрна и определить их размер.

Стр.136. Рис.5.14.б. Какова природа трёх участков на температурной зависимости проводимости со-допированных материалов?

Раздел 6. Какова предельная концентрация целевого газа, которую способен определять датчик?

Почему датчик имеет тупиковый капилляр для связи с атмосферой? Казалось бы, следует сделать содержимое внутри датчика проточным.

В целом хотелось бы знать, чем полученный датчик лучше имеющихся? В тексте проводится сравнение с имеющимися датчиками и везде делается вывод о том, что характеристики полученного изделия близки к характеристикам известных датчиков.

Перечисленные вопросы и замечания носят частный характер. Они не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертационная работа Н.М.Филатова «Синтез и физико-химические свойства твердых электролитов на основе гафната стронция»

представляет собой законченное научное исследование. Содержание диссертации соответствует специальности 1.4.6. «Электрохимия», а также критериям, определенным пп. 9 – 11, 12, 14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ от 24.09 2013 г. № 842 (в действующей редакции). Считаю, что Никита Михайлович Филатов заслуживает присуждения учёной степени канрдидат химических наук по специальности 1.4.6. «Электрохимия».

Официальный оппонент:
доктор физико-математических наук,
главный научный сотрудник лаборатории электрических явлений, Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук

Титов Александр Натанович

*подпись*

04.09.2026
Дата подписания

Контактные данные:
тел.: +79221416153, e-mail: antitov@mail.ru
Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:
01.04.07 – Физика конденсированного состояния

Адрес места работы:
620108, г. Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, д. 18,
Институт физики металлов имени М. Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, лаборатория электрических явлений лаборатории электрических явлений
Тел.: +79221416153; e-mail: antitov@mail.ru

Подпись сотрудника Института физики металлов имени М. Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук А.Н. Титова
удостоверяю:
Учёный секретарь ИФМ УрО РАН
к.ф.-м.н. И.Ю.Арапова

04.09.2026