

**ОТЗЫВ официального оппонента  
о диссертации на соискание ученой степени  
кандидата химических наук Сотничук Елены Олеговны  
на тему: «Пористые несущие основы из анодного оксида алюминия для  
высокотемпературных применений»  
по специальностям 1.4.15 – Химия твердого тела и 1.4.6 – Электрохимия**

Развитие материалов для высокотемпературных применений, в частности для твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ), является важной научной и технологической задачей. Анодный оксид алюминия (АОА) обладает уникальными свойствами, такими как термическая стабильность, механическая прочность и высокая газопроницаемость, что делает его перспективным материалом для использования в качестве несущей основы в энергетических устройствах. Однако существующие коммерческие образцы АОА не всегда удовлетворяют требованиям высокотемпературных процессов (1300–1500 °С), что обуславливает необходимость разработки новых методов синтеза и обработки материала.

Диссертационная работа Сотничук Е.О. направлена на решение этой проблемы путем разработки новых режимов анодирования и термической обработки, обеспечивающих формирование АОА с улучшенными характеристиками. Исследование соответствует приоритетным направлениям развития материаловедения и химии функциональных материалов.

Диссертационная работа состоит из введения, списка сокращений и обозначений, обзора литературы, экспериментальной части, обсуждения результатов, заключения с выводами, списка литературы и благодарностей. Диссертация является комплексным исследованием, включающим комплексный подход к поиску условий анодирования алюминия в различных электролитах (серной, селеновой, фосфористой, щавелевой и лимонной кислотах) с использованием линейной вольтамперометрии, разработку оригинальной методики двухстадийного анодирования, обеспечивающего формирование АОА с упорядоченной пористой структурой по всей толщине материала, исследования термической стабильности АОА, включая изучение

фазовых превращений при отжиге и сохранение пористой структуры при температурах до 1300 °С, комплексный анализ механических свойств АОА в зависимости от параметров пористости, толщины и термической обработки, формирование функциональных слоев YSZ на поверхности АОА и оценку их морфологии и электропроводности.

Полученные результаты подтверждены современными методами анализа, включая растровую электронную микроскопию (РЭМ), рентгенофазовый анализ, механические испытания и электрохимические измерения, а достоверность полученных результатов подтверждается воспроизводимостью экспериментов, корректным использованием современных физико-химических методов анализа, сопоставлением с литературными данными и статистической обработкой экспериментальных данных. Выводы и рекомендации диссертации логически вытекают из экспериментальных данных и соответствуют поставленным задачам.

В диссертации получены следующие научные результаты, обладающие значительной новизной:

Впервые предложен универсальный подход к формированию АОА с упорядоченной пористой структурой при высоких напряжениях анодирования, основанный на двухстадийном процессе с предварительной разверткой напряжения в слабокислом электролите.

Впервые детально изучены процессы анодирования в селеновой и фосфористой кислотах, определены ключевые параметры (массовая доля примесей, коэффициент объемного расширения, эффективность формирования оксида).

Разработана программа термической обработки, обеспечивающая кристаллизацию АОА в фазу корунда с сохранением пористой структуры при температурах до 1300 °С.

Впервые проведено систематическое исследование механических свойств АОА в зависимости от пористости, толщины и термической истории материала.

Продемонстрирована возможность формирования функциональных слоев YSZ на поверхности АОА с сохранением механической целостности после высокотемпературного отжига.

Разработанные методы позволяют проводить синтез АОА с контролируемыми параметрами пористости и термической стабильности, что расширяет область его применения в высокотемпературных устройствах (ТОТЭ, катализаторы, мембраны), оптимизировать процессы анодирования для промышленного получения пористых материалов, использовать полученные данные для моделирования механических свойств структур на основе АОА.

Основные научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, в достаточной степени обоснованы, не противоречат и развивают сложившиеся научные представления в области материаловедения функциональных наноструктур на основе АОА.

Обсуждаемая диссертационная работа имеет несколько недостатков:

- 1) Не обсуждено влияние примесей в исходном алюминии на свойства АОА.
- 2) В тексте диссертации отмечается, что полученные мембраны АОА должны иметь высокую газопроницаемость и механическую прочность. Для лучшего обоснования полученных выводов необходимо было привести диапазоны значений газопроницаемости и модуля Юнга, которые характерны для несущих основ, используемых в ТОТЭ.
- 3) Нет информации о влиянии циклических термонагрузок на механическую и структурную целостность. Это важно для реальных применений в ТОТЭ, где материал подвергается повторяющимся тепловым воздействиям.
- 4) Не представлено сравнение функциональной и экономической эффективности использования слоёв АОА и альтернативных несущих основ перспективных для использования в ТОТЭ, а также

возможности масштабируемости разрабатываемой технологии получения мембран АОА.

- 5) Для обоснования перспективности использования АОА в качестве несущей основы хорошо было бы продемонстрировать ее работу в реальном ТОТЭ.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальностям 1.4.15 – Химия твердого тела и 1.4.6 – Электрохимия (по химическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Сотничук Елена Олеговна заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальностям 1.4.15 – Химия твердого тела и 1.4.6 – Электрохимия.

Официальный оппонент:

кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Института перспективных материалов и технологий, Проректор по научной работе НИУ МИЭТ

Дронов Алексей Алексеевич

Дата: 27.05.2025

Контактные данные:

Тел.: 8(499)7101498, e-mail: [dronov.alexey@org.miet.ru](mailto:dronov.alexey@org.miet.ru)

Специальность, по которой официальным оппонентом

защищена диссертация:

05.27.06 – Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники

Адрес места работы:

124498, г. Москва, г. Зеленоград, площадь Шокина, д. 1

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники»

Тел.: 8(499)7101498, e-mail: dronov.alexey@org.miet.ru