

## ОТЗЫВ

официального оппонента,

кандидата физико-математических наук Валеева Ришата Галеевича на диссертационную работу Юферова Юлия Валерьевича на тему «Композиционные наноструктурированные изоляционные оксидные покрытия», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям 2.6.14. Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов, 2.6.9. Технология электрохимических процессов и защита от коррозии.

### **1. Актуальность темы диссертационной работы.**

В настоящее время большую актуальность имеют работы, посвященные разработке электроизоляционных покрытий проводников, работающих в экстремальных условиях эксплуатации, в частности, высоких температурах, агрессивных коррозионных средах. В первом случае широкое применение нашли стеклокерамические диэлектрики (стекло, фарфор, слюда), а во втором – диэлектрики на основе органических полимеров (пластики, лаки). До сих пор практически нет предложений по материалам, сочетающим достоинства высокотемпературных диэлектриков, но тем не менее имеющих плохие свойства при деформационных воздействиях, прежде всего, изгибе, в чем заключается основное достоинство органических диэлектриков.

Следовательно, разработка электроизоляционных покрытий, сочетающих достоинства органических и неорганических материалов, а именно, нанопористого оксида алюминия, обладающего как высокими термостабильными и диэлектрическими свойствами, так и высокой трещиностойкостью на изгиб (при соответствующей модификации), является актуальной задачей.

## **2. Оценка новизны полученных результатов.**

**В первой главе** проведен литературный обзор методов получения анодного оксида алюминия с различного типа (пористого и барьерного), а также существующих моделей формирования нанопористого оксида алюминия. Рассмотрено влияние внешних факторов (температура, состав электролита, напряжение анодирования) на морфологию и структуру получаемых покрытий. Также указано, что для повышения электроизоляционных характеристик требуется заполнение пор материалами с лучшими изоляционными свойствами, например, диоксидом кремния, а для повышения механических свойств (эластичность) подбирать соответствующие режимы анодирования и состав электролита.

**Во второй главе** перечислены материалы и методы, использованные в ходе выполнения работы, проводится обоснование их выбора для достижения цели и задач. В качестве объектов исследований выбраны два типа образцов: электротехнический алюминий марки А7Е как основа для отработки режимов и методики анодирования, и композитный кабель на основе меди с покрытием алюминием также марки А7Е. Анодирование проводилось в стеклянной емкости, в качестве катодного электрода использовалась нержавеющая сталь. Источником тока служил высокоточный программируемый блок питания с возможностью контроля и записи параметров анодирования, что требуется в дальнейшем для оценки и выбора оптимальных режимов роста пленок пористого оксида алюминия.

Контроль морфологии проводился методом сканирующей электронной и оптической микроскопии. Структурно-фазовый состав оксида алюминия исследовался методом рентгенофазового анализа, электрические свойства (пробивное напряжение и электрическое сопротивление) - методом мегаомметрии.

**Третья глава** целиком посвящена исследованию характеристик нанопористых покрытий оксида алюминия, полученных в сернокислых электролитах, установлению влияния параметров анодирования на геометрические параметры нанопор и покрытия в целом. Показано, что



дефектность алюминиевой основы сильно влияет на качество пористого оксидного слоя, поэтому было предложено проводить предварительную термообработку и травление алюминия перед анодированием. Проведены эксперименты по заполнению пор алюмофосфатами. По полученным результатам сделан вывод, что из-за низкой трещиностойкости формируемого в сернокислых электролитах оксида алюминия, данный способ применим только для поверхностей, не подвергаемых формоизменению.

**В четвертой главе** представлены результаты разработки технологии получения матриц пористого оксида алюминия анодированием в поликомпонентных электролитах на основе смеси щавелевой, борной и лимонной кислот с изопропанолом. Подбор параметров анодирования с использованием импульсного режима с изменением плотности анодного тока, позволил получить слоистые эластичные покрытия, которые обладают повышенной эластичностью при испытаниях на изгиб. Методом видеофиксации процесса показано, что полученные покрытия термостабильны до 800 °С и при изгибе разрушаются послойно.

**Пятая глава** посвящена разработке методик заполнения каналов матриц пористого оксида алюминия, полученных анодированием в серной кислоте, диоксидом кремния. В частности, предложено два метода: заполнением с использованием органических прекурсоров, проникающих в поры матриц и подвергающихся затвердеванию химической или термообработкой при 400 °С и электрофоретического заполнения наноразмерными частицами диоксид кремния. Такая модификация позволила существенно повысить напряжение пробоя покрытия по сравнению с заполнением алюмофосфатами.

Таким образом, научная новизна исследования согласуется с поставленными в диссертационной работе задачами и обусловлена необходимостью развития методов получения высокоэффективных композиционных диэлектрических покрытий, сочетающих высокие механические и электрозащитные свойства.

Соискателем вынесены на защиту следующие положения, имеющие научную и практическую значимость:

1. Результаты экспериментальных исследований по получению нанопористых матриц анодированием алюминия в сернокислых электролитах.

2. Установленные закономерности влияния условий анодирования в поликомпонентных электролитах на скорость роста нанопористого  $Al_2O_3$ .

3. Разработанные смешанные пульсационные режимы анодирования в поликомпонентных электролитах для получения покрытий с многослойной структурой.

4. Результаты экспериментальных исследований физико-химических, механических и электрофизических свойств разработанных покрытий.

5. Разработанные композиционные наноструктурированные оксидные покрытия с улучшенными свойствами на основе заполненных оксидом кремния многослойных матриц из оксида алюминия.

### **3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов, рекомендаций и заключений.**

Достоверность научных результатов обеспечивается их согласием с теоретическими положениями, изложенными в научных изданиях и экспериментальными результатами исследований различных научно-исследовательских коллективов, опубликованных в научно-технической литературе. Проведенные с привлечением комплекса современных экспериментальных методик исследования позволили получить большой объем представленных в работе, коррелирующих между собой, экспериментальных данных.

### **4. Практическая ценность и реализация результатов работы.**

Разработанные технологические режимы получения матриц из нанопористого оксида алюминия позволяют получать необходимую толщину покрытия, и за счет последующего заполнения матричных пор компонентами



обеспечивать удовлетворительные электроизоляционные свойства, а варьирование параметров и технологических режимов позволяет управлять электроизоляционными свойствами покрытий. Данные покрытия представляют большой интерес для использования в электромашиностроении и электротехнике, что подтверждается актом испытаний и актом внедрения.

### **5. Апробация диссертации и публикации.**

Основные результаты диссертации были представлены на конференциях: «V Международная молодежная научная конференция: Физика. Технологии. Инновации. ФТИ-2018 (г. Екатеринбург, 16-20 мая 2018 г.), «VI Международная молодежная научная конференция: Физика. Технологии. Инновации. ФТИ-2019» (г. Екатеринбург, 20-24 мая 2019 г.).

Результаты исследований, отражающие основные положения диссертационной работы, представлены в 9 научных публикациях: 4 статьях в журналах, индексируемых в международных базах данных Scopus и Web of Science; 2 статьях в журналах, рекомендованных ВАК и тезисах 3 докладов в сборниках научных мероприятий.

### **6. Оценка структуры, содержания и оформления диссертации.**

Диссертация написана в форме, позволяющей получить полное и достаточно подробное представление о материалах исследований, проведенных автором. Оформление работы аккуратное, соответствует установленным требованиям. При использовании сторонних источников в диссертации даются необходимые ссылки. Основные положения и результаты проведенных исследований обсуждались на международных и всероссийских конференциях. Научные положения, выводы и заключения соискателя по итогам диссертационной работы достаточно полно отражены в своих опубликованных научных статьях. В диссертации четко определен вклад автора в разработку проблемы в работах, опубликованных коллективно с соавторами. Полученные в диссертации результаты соответствуют

поставленным целям. Тема диссертации соответствует заявленным научным специальностям:

2.6.14. Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов;

2.6.9. Технология электрохимических процессов и защита от коррозии.

Корректность изложения научного материала, наглядная иллюстрация полученных результатов в виде графиков, рисунков, изображений оптической и электронной микроскопии, таблиц и структурных схем позволяют объективно оценивать содержание, выводы и значимость проведенных научных исследований. Автореферат кандидатской диссертации Юферова Ю.В. полностью соответствует основному содержанию диссертационной работы.

## **7. Замечания по диссертации.**

Тем не менее, следует отметить имеющиеся в диссертационной работе недостатки:

1. На мой взгляд, автором чересчур затянута первая глава, которая по объему занимает почти одну третью часть всей работы. Хотя стоит отметить проведение большой и грамотной работы по оценке литературных данных по теме диссертации.

2. В качестве экспериментальных образцов в работе используются промышленные сплавы на основе алюминия типа А7Е, хотя содержание примесей в них небольшое. Тем не менее, в обзоре практически нет сведений о влиянии состава исходного алюминия на структуру и свойства нанопористого оксида, полученного на его основе.

3. В п.2.1 приводится описание методологии проводимых исследований, где в качестве катода при анодировании указано использование нержавеющей стали. Было бы хорошо представить марку, так как не каждый такой сплав может быть использован при анодировании алюминия. Также было бы уместно провести модельные эксперименты, в которых в качестве катода используется инертный платиновый электрод, тем



более большинство результатов, представленных в литературной обзоре, получены именно с применением таких электродов.

4. В п.2.3. «Методики исследования составов материалов» представлен только один пункт 2.3.1. После этого пункта сразу идет п.2.4. Тогда как в работе также использован метод энергодисперсионного химического анализа. Можно было бы добавить п.2.3.2. с описанием этого метода.

5. В Главе 3 (п.3.2.) матрицы нанопористого оксида алюминия заполняются алюмофосфатами. К сожалению, в работе не представлены сведения, почему именно такой материал взят за основу дополнительного изолирующего компонента?

6. В диссертационной работе имеется ряд грамматических ошибок и неудачных стилистических формулировок. В целом, указанные недостатки не снижают положительной оценки диссертационной работы.

## **8. Общая оценка диссертационной работы**

Диссертация Ю.В. Юферова «Композиционные наноструктурированные изоляционные оксидные покрытия» является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным автором самостоятельно на высоком научном уровне. Задача актуальна, решение обладает научной новизной, полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Работа базируется на достаточном числе исходных данных, примеров и расчетов. Она написана доходчиво, грамотно, хорошим научным языком и аккуратно оформлена. В завершении каждой главы и в работе в целом сделаны четкие выводы. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации. Диссертационная работа соответствует всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям в соответствии с п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, а ее автор Юферов Юлий Валерьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности по специальностям 2.6.14. Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов, 2.6.9. Технология электрохимических процессов и защита от коррозии.

**Официальный оппонент**

Валеев Ришат Галеевич

Кандидат физико-математических наук

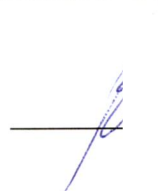
1.3.8. Физика конденсированного состояния

Ведущий научный сотрудник

Лаборатория атомной структуры и анализа поверхности Отдела физики и химии поверхности Физико-технического института

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук»

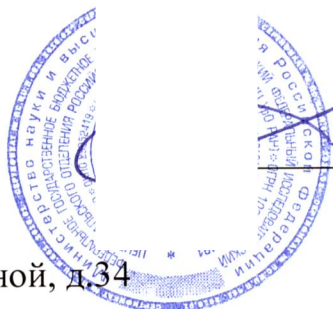
«08» декабря 2021 г.

 /Валеев Р.Г./

Подпись Валеева Р.Г. заверяю.

Директор УдмФИЦ УрО РАН,

д.ф.-м.н., профессор



 Альес М.Ю.

Адрес: г. Ижевск, ул. Т. Барамзиной, д. 34

Интернет: <http://udman.ru>

e-mail: [rishatvaleev@udman.ru](mailto:rishatvaleev@udman.ru)

раб. тел.: +7(3412)43-01-63