

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки (специальность) Материаловедение и технологии материалов
Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Получение керамических нанопористых мембран методом анодирования алюминия

УДК 666.64.067.124

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б62	Ху Чуаньнин		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Воронова Г.А.	к.х.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кащук И.В.	к.т.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Сечин А.И.	д.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
22.03.01 Материаловедение и технологии материалов	Овечкин Б. Б.	к.т.н.		

Томск – 2020 г.
Планируемые результаты обучения по ООП 22.04.01

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P1	Применять основные положения и методы гуманитарных наук при решении социально-общественных и профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов
P2	Использовать современное информационное пространство при решении профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов
P3	Разрабатывать, оформлять и использовать техническую документацию, включая нормативные документы по вопросам интеллектуальной собственности в области материаловедения и технологии материалов
P4	Проводить элементарный экономический анализ ресурсов, технологий и производств при решении профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов
P5	Эффективно работать в коллективе на основе принципов толерантности, использовать устную и письменную коммуникации на родном и иностранном языках в мультикультурной среде.
P6	Эффективно выполнять трудовые функции по реализации высокотехнологичных производств материалов и изделий
P7	Проводить комплексную диагностику материалов, процессов и изделий с использованием технических средств измерений, испытательного и производственного оборудования
P8	Готовность к мотивированному саморазвитию, самоорганизации и обучению для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности в области материаловедения и технологии материалов
P9	Успешно использовать методы и приемы организации труда, обеспечивающие эффективное, экологически, социально и технически безопасное производство
P10	Использовать принципы производственного менеджмента и управления персоналом в производственной деятельности в области материаловедения и технологии материалов

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа новых производственных технологий

Направление подготовки Материаловедение и технологии материалов

Отделение школы Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

____ Овечкин Б. Б.

(Подпись)

(Дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврская работа

Студенту:

Группа	ФИО
154Б62	Ху Чуаньнин

Тема работы:

Получение керамических нанопористых мембран методом анодирования алюминия	
Утверждена приказом директора ИШ НПТ	Приказ №59-87/с от 28.02.220

Срок сдачи студентом выполненной работы:	02.06.2020 г
--	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям	Разработка двухстадийного процесса анодирования алюминия в простых лабораторных условиях для создания упорядоченных наноструктур анодированного алюминия.
---	---

<p>функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</p>	
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (Аналитический обзор литературных данных для определения мировых достижений в области науки и техники в области исследований; постановка проблем исследования, проектирования и строительства; процедуры исследования, проектирование и содержание конструкции; обсуждение результатов работы; другие части, подлежащие разработке Наименование; заключение о работе).</p>	<p>Анализ и систематизация литературных материалов о состоянии проблемы. Определите параметры, оказывающие решающее влияние на структуру покрытия АОА. Алюминий А99 использовался для подготовки образцов к анодированию (предварительная механическая прокатка, оптимизация толщины фольги, химическая очистка от масла и загрязнений, термический отжиг для перекристаллизации и релаксации, электрополировка). Двухэтапный метод анодирования готового алюминия А99 был разработан для создания упорядоченного самоорганизующегося наноструктурированного покрытия АОА. Изучить структуру покрытий, полученных из АОА, и сравнить полученные результаты друг с другом. Сформулировать рекомендации по влиянию условий процесса на структуру АОА-покрытий.</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент</p>	<p>Кашук И. В ,доцент ОСГН ШБИП</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Сечин А.И.профессор ООД ШБИП</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Разделы введение, литературный обзор, методика эксперимента и расчета, результаты и их обсуждение, финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение, социальная ответственность и заключение должны быть написаны на русском языке.</p>	
<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Воронова Г.А.	канд.хим.наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б62	Ху Чуаньнин		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Школа Инженерная школа новых производственных технологий

Направление подготовки Материаловедение и технологии

Отделение школы Отделение материаловедения материалов

Уровень образования: Бакалавра

Период выполнения: Весенний семестр 2020/2021 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН

выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	02.06.2020 г
--	--------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
15.03.2020	Литературный обзор по теме магистерской работы	20
20.03.2020	Выполнение эксперимента по теме работы	30
01.05.2020	Обсуждение результатов и оформление работы	50

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Воронова Г.А.	канд.хим.наук		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
22.03.01 Материаловедение и технологии материалов	Овечкин Б. Б.	к.т.н.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
154Б62	Ху Чуаньнин

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	ОМ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	22.03.02 Материаловедение и технологии материалов

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды 30 %
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Анализ конкурентных технических решений (НИ)	Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)	Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования
3. Составление бюджета инженерного проекта (НИ)	Расчет бюджетной стоимости НИ

4. Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)	Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности
---	--

Перечень графического материала

1. Оценка конкурентоспособности ИР
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта
4. . Бюджет НИ
5. Основные показатели эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кащук Ирина Вадимовна	К.Т.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б62	Ху Чуаньнин		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
154Б62	Ху Чуаньнин

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	ОМ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	22.03.02 Материаловедение и технологии материалов

Тема ВКР:

Получение керамических нанопористых мембран методом анодирования алюминия	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект: пористый анодированный оксид алюминия Область применения: темплатный синтез наноразмерных частиц кобальта
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	Трудовой кодекс Российской Федерации ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ
2. Производственная безопасность: <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	1. Отклонение показателей микроклимата. 2. Превышение уровня шума. 3. Недостаточная освещенность рабочей зоны. 4. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека
3. Экологическая безопасность:	Анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы). Анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы).

4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Авария, взрыв, пожар
--	----------------------

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Сечин А.И.	Д.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б62	Ху Чуаньнин		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 90 с., 21 рис., 25 табл., 70 источника.

Ключевые слова: анодирование, самоупорядочение, окисление, электрохимическая полировка, вязкость, плотность, вольтстатический режим, гальваностатический режим, анодный оксид алюминия.

Объектом исследования является методика получения керамических нанопористых структур на основе оксида алюминия для мембранных технологий в различных электролитах.

Цель работы – разработка двухэтапного процесса анодирования алюминия в лабораторных условиях для создания упорядоченных наноструктур на основе оксида алюминия.

В процессе исследования проводились анализ литературных данных о состоянии проблемы, выбор условий и режимов процесса, подготовка исходного алюминия к анодированию, проведение одно- и двухступенчатого процесса анодирования образцов, анализ структуры полученных нанопористых структур на основе анодного оксида алюминия.

В результате исследования были представлены выводы по влиянию условий и режимов процесса на свойства и характеристики нанопористых структур на основе оксида алюминия, предложены сферы его дальнейшего использования.

Область применения: мембранные технологии, оптика, микроэлектронные устройства, матрицы для темплатного синтеза.

В будущем планируется проведение дополнительных исследований по усовершенствованию методик контролируемого роста нанопористых структур на основе анодного оксида алюминия.

Перечень сокращений и обозначений

В настоящей работе применяют следующие сокращения и обозначения:

АОА – Анодный оксид алюминия

ВСП – Вольтстатический режим

ГСП – Гальваностатический режим

АСМ – Атомно- силовая микроскопия

РФА – Рентгенофазовый анализ

РЭМ – Растровый электронный микроскоп

Содержание

Введение.....	15
Глава 1. Литературный обзор.....	18
1.1 Анодирование алюминия и его сплавов	18
1.2 Стадии порообразования	20
1.3 Получение АОА	22
1.3.1 «Мягкое» и «жесткое» анодирование	22
1.3.2 Высокоупорядоченный АОА, полученный двухступенчатым анодированием	25
Глава 2. Методика эксперимента.....	31
2.1 Термическая обработка алюминиевых пластин А99	31
2.2 Электрохимическая полировка алюминиевых пластин.....	31
2.3 Экспериментальная установка анодирования.....	33
2.4 Сканирующая атомно-силовая микроскопия.....	34
2.5 Растровая электронная микроскопия	35
Глава 3. Результаты и их обсуждение	37
3.1 Подготовка алюминиевых пластин к анодированию.....	37
3.2 Первая ступень анодирования	38
3.3 Удаление оксидного слоя АОА, полученного на первой стадии.....	42
3.4 Вторая ступень анодирования	43
Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	47
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	48
4.1.1 Анализ конкурентных технических решений.....	48
4.1.2 SWOT-анализ	49
4.2 Планирование научно-исследовательских работ	52

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	52
4.2.2 Разработка графика проведения научного исследования	54
4.2.3 Бюджет научно-технического исследования	58
4.2.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования	58
4.2.3.2 Расчет амортизации специального оборудования	58
4.2.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы	60
4.2.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)....	62
4.2.3.5 Накладные расходы	63
4.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования ..	64
Глава 5. Социальная ответственность	69
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	69
5.2 Производственная безопасность	70
5.2.1 Описание рабочего места	70
5.2.2 Анализ вредных факторов при проведении исследований	71
5.2.3 Анализ опасных производственных факторов	75
5.3 Экологическая безопасность	78
5.3.1 Защита санитарной зоны	78
5.3.2 Анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы)	78
5.3.3 Анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы)	79
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	79
Заключение	82
Список использованных источников	83

Введение

В процессе электрохимического оксидирования алюминия в растворах электролитов (анодирования) часто имеет место конкуренция нескольких анодных процессов, таких как образование пленки, растворение пленки и растворение металла (питтинг) [1]. Это обеспечивает возможность формирования анодных оксидов алюминия (АОА) с широким спектром структурно-морфологических и электрофизических характеристик за счет изменения состава электролита и условий процесса анодирования. На алюминии (и целом ряде сплавов на его основе) могут быть получены как плотные, барьерного типа, так и пористые АОА, в том числе самоорганизованные пленки с регулярно расположенными цилиндрическими порами наноразмерного диаметра. Если толщина (δ) плотных пленок, как правило, не превышает 1 мкм, то для пористых АОА она может составлять сотни микрометров [2].

Недавно высокоупорядоченная сотовая структура была получена в растворе щавелевой кислоты при 40 В [5], [6]. Сообщалось, что диаметр пор и межпоровое расстояние были линейно пропорциональны приложенному напряжению [7]. Было также предложено, что для самоупорядочения требуется пористость 10%, которая не зависит от конкретных условий анодирования [8]. Механизм, с помощью которого растут поры, все еще обсуждается, но были разработаны модели порообразования [9, 10, 11, 12, 13]. Открытие пор нижнего слоя или удаление барьерного слоя также считается важным шагом на пути к созданию сквозной пористой анодной мембраны. Недавно пористый анодный оксид алюминия был отделен от алюминиевой подложки, а барьерный слой был полностью удален с помощью одноэтапного

метода отрыва импульсом напряжения [14], [15]. Сообщалось, что эта процедура является экологически чистой и эффективной по сравнению с химическими или электрохимическими методами отщепления [16].

Спектр функциональности пористых пленок АОА очень широк: они применяются как антикоррозионные покрытия, электроизоляционные, износостойкие, защитно-декоративные, используются в оптике, микроэлектронике, различных датчиках, мембранной технике, темплатном синтезе как наноразмерные матрицы и др. Эта тенденция возникла в результате открытия Масудой и Фукуда в 1995 году самоорганизованных массивов пор Al_2O_3 [3], поскольку они обладают рядом уникальных свойств (высокое аспектное соотношение, оптическая прозрачность, биологическая инертность), также механической прочностью, термической стабильностью и химической стойкостью.[4]

Используемые в настоящее время способы получения нанопористого АОА с высокой степенью упорядоченности в расположении пор, а именно: долгосрочное анодирование, нанолитография, двухступенчатое анодирование, анодирование при высоких напряжениях и плотностях тока («жесткое» анодирование) предполагает: использование высокочистого (99,99% мас. алюминия) электрополированного металла, много времени и энергетических затрат, проведение процесса при пониженных температурах, использование специального дорогостоящего оборудования. Все эти факторы затрудняют внедрение технологии в производство. По этой причине разработка обновленных подходов к созданию заданного АОА является актуальной задачей [2].

Снижение себестоимости АОА является неотложной задачей: в текущей работе были выбраны алюминиевые пластины промышленного качества (алюминий класса А99 с минимальным содержанием алюминия 99,9%).

Целью данной работы является разработка двухэтапного процесса анодирования алюминия в лабораторных условиях для создания упорядоченных наноструктур на основе оксида алюминия.

Задачи исследования:

1. Введение и анализ литературных материалов по смежным вопросам;
2. Определение параметров, оказывающих решающее влияние на покрытие из АОА;
3. Подготовка образцов из алюминия А99 к проведению анодирования;
4. Разработка двухступенчатого процесса анодирования для анодированного алюминия А99 (сборка компонентов, выбор оптимальных параметров процесса - времени, температуры, концентрации и состава электролита, напряжения, силы тока и плотности, метода анодирования) для формирования самоорганизующегося наноструктурного АОА покрытия;
5. Изучения структуры полученного покрытия АОА;
6. Проведение анализа по разделам «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».

Научная новизна работы:

Получено самоорганизующееся наноструктурированное АОА-покрытие на основе алюминия марки А99 по заказу российского рынка.

Глава 1. Литературный обзор

1.1 Анодирование алюминия и его сплавов

В атмосферных условиях алюминий быстро покрывается плотным оксидным слоем толщиной 2–3 нм. Слой природного оксида предотвращает дальнейшее окисление поверхности металла. Из-за естественного оксида на поверхности алюминий обычно имеет хорошую коррозионную стойкость. Однако в достаточно агрессивных внешних средах, содержащих агрессивные химические вещества (такие как хлориды или сульфаты), может произойти локальная коррозия металлов.

В 1857 году немецкий химик Бафф первым обнаружил, что алюминий может электрохимически окисляться в водном растворе с образованием оксидного слоя, более толстого, чем природный оксид алюминия. Это явление называется анодированием, поскольку обрабатываемая алюминиевая деталь является анодом в батарее. В начале 1920-х годов обнаруженное Баффом явление использовалось в промышленности, например, для защиты частей гидросамолетов, нижней части судов от эрозии морской водой.

Известно, что пленки анодного оксида алюминия (АОА) образуются с двумя различными морфологиями (то есть непористыми оксидными пленками барьерного типа и оксидными пленками пористого типа), зависящими главным образом от природы анодирующего электролита [17].

Может быть сформирован АОА с порами, которые независимо собираются в упорядоченную структуру. Оказывается, наноструктурированные оксиды металлов очень подходят в качестве каркасов для выращивания нанопроводов и нанотрубок с регулируемым диаметром и узким распределением пор по размерам (темплатный синтез).

Пористая пленка АОА, выращенная на алюминии, состоит из тонкого барьерного оксидного слоя (рис. 1), находящегося в конформном контакте с алюминием, и вышележащей, относительно толстой, пористой оксидной пленкой, содержащей взаимно параллельные поры, простирающиеся от барьерного оксидного слоя до поверхности пленки [18]. Каждое цилиндрическое отверстие и окружающая его оксидная область образуют гексагональную ячейку, перпендикулярную поверхности металла. В определенных электрохимических условиях оксидные ячейки самоорганизуются в гексагональную плотно упакованную структуру, образуя сотовую микро- или наноструктуру.

Пористый анодированный алюминий образуется в слабокислом растворе. Использование постоянной плотности тока анода (режим постоянного тока или постоянное напряжение анода (электростатический режим) может способствовать растворению оксидов. Обычно напряжение анода находится в диапазоне 10–200 В или 0,1 - плотность тока 100 мА / см². На рисунке 1 показана идеальная структура пористой мембраны АОА.

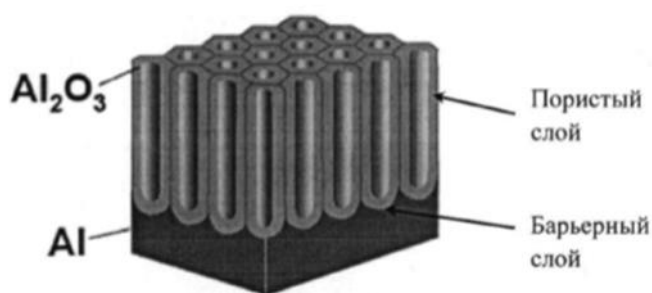


Рисунок 1 – Схема идеальной пористой структуры АОА [19]

Пористая АОА состоит из вертикально расположенных пористых и цилиндрических пор диаметром примерно от 10 до 300 нм, а толщина является

неопределенной. Гребенчатый барьерный слой на дне отверстия отделяет пористый слой от алюминиевой подложки [18].

Однако, несмотря на быстрое развитие технологии анодирования, механизм образования АОА все еще находится в стадии обсуждения. Обычно считается, что поры образуются из-за нестабильности оксидов при анодировании [21, 22, 23]. Мы не знаем причину нестабильности. Для эксплуатации новых структур АОА должно быть обеспечено намного лучшее понимание механизма формирования пор.

1.2 Стадии порообразования

Анодирование алюминия в водном электролите может образовывать пленку АОА двух разных форм, а именно непористую оксидную пленку барьерного типа и оксидную пленку пористого типа. Химическая природа электролита в основном определяет морфологию АОА [18,20].

Ранняя модель, описывающая рост анодных оксидов, была разработана на основе барьерных оксидов [25, 26]. Более того, в начале роста пористых оксидов образование начальных барьерных оксидов сопровождается появлением пор нуклеации.

Плотность анодного тока в режиме постоянного напряжения (или пластовое напряжение в режиме постоянного тока) может использоваться для мониторинга структурной эволюции порообразования [23, 34]. На рисунках 2 (a) и (b) показаны принципиальные схемы анодного напряжения и переходного анодного тока для анодирования в слабокислом растворе, соответственно. Стадия порообразования также показана [22]. В режиме постоянного тока (режим с постоянной плотностью тока) (рисунок 2a)

начальное увеличение напряжения пласта представляет собой постепенный рост оксида барьерного типа, определяемый уравнением G-E (стадия I). В феноменологических терминах из-за утолщения оксида сопротивление оксида увеличивается с постоянной скоростью.

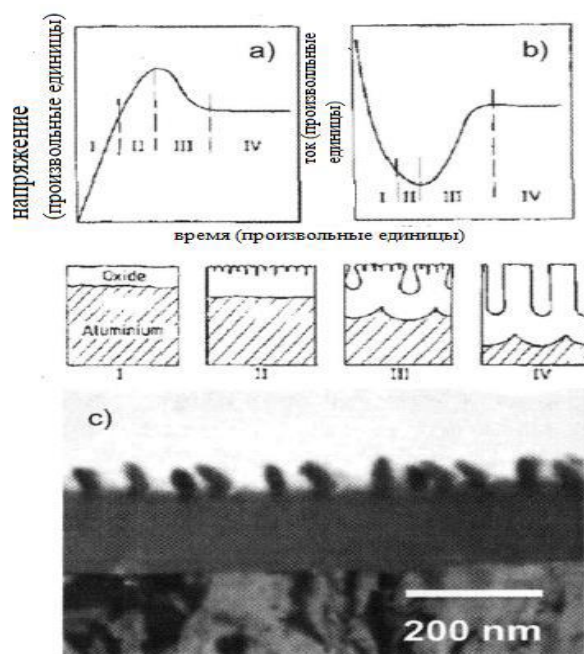


Рисунок 2 Схема переходного напряжения и тока в (а) гальваностатическом и (б) потенциостатическом режимах [12]. Также показаны этапы эволюции пористой структуры. (в) ПЭМ-изображение этапа II [28].

На втором этапе на границе раздела фаз образуется дырочная структура ядра. На рисунке 2в показано ПЭМ-изображение структуры пор на стадии II [27]. Вторая стадия также связана с началом образования пор. Кришанан указал, что заряд через оксид является постоянным независимо от условий анодирования оксида до начала образования пор [29]. Он также считает, что это может быть связано с механизмом инициирования пор, вызванным критическим растягивающим напряжением во время анодирования. Дальнейшее анодное окисление приведет к неравномерному распределению электрического поля на оксиде и, следовательно, приведет к хорошо развитой структуре пор с

зигзагообразным барьерным слоем на границе раздела металл / оксид (стадия III). Напряжение пласта постепенно уменьшается из-за падения общего сопротивления из-за увеличения межфазной области Al / оксид. Наконец, формируется структура пор устойчивого состояния (этап IV). Эволюцию структуры пор в потенциостатическом режиме можно объяснить аналогичным образом. Однако следует отметить, что рост барьерного слоя и инициирование пор в начале формирования пор не очень четко определены в потенциостатическом режиме роста. Понятно, что в потенциостатическом режиме детали эволюции пор I и II фаз не были изучены, отчасти из-за быстрого развития структуры (обычно <30 с) [29].

1.3 Получение АОА

1.3.1 «Мягкое» и «жесткое» анодирование

Хотя структура пористого АОА была смоделирована как гексагональная плотноупакованная клеточная структура из первого наблюдения с использованием СЭМ, только спустя примерно 50 лет Масуда и Фукуда впервые обнаружили в 1995 году, что поры могут самоорганизовываться в идеальный АОА, но только после продолжительного анодирования (160 часов) в 0,3 М щавелевой кислоте при температуре 0°C с приложением постоянного напряжения 40 В [3030]. В [30] формируется область с плотноупакованной гексагональной формой отверстия, и шаг отверстия D_p составляет около 100 нм. Вскоре после открытия стали широко использоваться другие условия анодирования, приводящие к образованию самоупорядочивающихся пористых структур с различным D_p . В результате было обнаружено, что после длительного периода анодирования на алюминиевой фольге (обычно > 10

часов), в $V_a = 19$ и 25 В серной кислоте, после анодного окисления щавелевой кислоты, нестандартный АОА при $D = 50, 65, 100, 420$ и 500 нм Условия анодирования. При $V_a = 40$ В и фосфорной кислоте при $V_a = 160$ и 195 В соответственно. Эти условия называются режимом самоупорядочения анодирования в мягких условиях анодирования.

Не так давно были открыты новые условия анодирования, которые могут привести к D в АОА между 90 - 140 нм и 220 - 300 нм [31-33]. Эти условия анодирования называют жестким анодированием. Рис. 3 суммирует напряжения самоупорядочения и соответствующие значения D_p в мягких и жестких условиях анодирования. Жесткое анодирование обычно включает очень высокую плотность тока, обычно >100 мА / см², и приводит к очень высоким скоростям роста >50 мкм/час. Однако он страдает от сильного теплового и оксидного повреждения, что препятствует стабильному анодированию и идеальному выравниванию пор. Чтобы избежать таких побочных эффектов, электролит необходимо подвергнуть старению или предварительно обработать Al путем формирования предоксидного слоя толщиной ~ 400 нм. Например, автор [31] сообщил, что образование самоупорядоченных поровых доменов с $D_p = 90 \sim 140$ нм наблюдалось при 40 – 70 В с использованием выдержанной серной кислоты. Следует отметить, что при дальнейшем увеличении анодного напряжения до $V = 70$ В вместо пористого Al_2O_3 образуются нанотрубки Al_2O_3 .

Автор [3232] использовал метод предварительного анодирования для систематической стабилизации твердого анодирования и доказал, что $0,3$ М щавелевая кислота использовалась при $1^\circ C$, а постоянное напряжение от 120 до 150 В использовалось для Самосортировка дырок. Аналогично, условия

самоанодирования в других электролитах, таких как цитриновая, малоновая и винная кислоты, также были обнаружены с помощью жесткого анодирования [34]. Следует отметить, что коэффициент пропорционального жесткого анодирования ξ_{int} составляет около 2,0 нм / В, тогда как коэффициент коэффициента умеренного анодирования составляет около 2,5 нм / В.

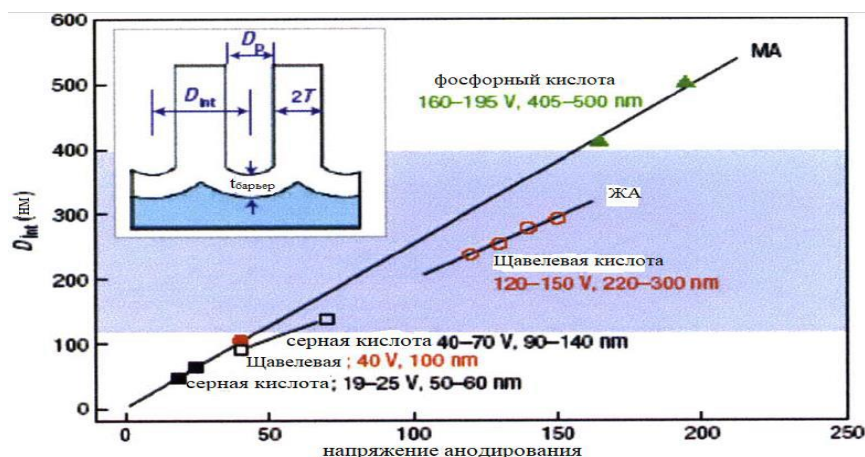


Рис. 3. Сводка самоупорядочивающихся напряжений и D , в различных условиях анодирования [32].

Кроме того, D увеличивается с уменьшением плотности тока в первые 30 минут при 140 В, что указывает на то, что плотность тока анодирования также является важным параметром для получения пор самосеквенирования в процессе жесткого анодирования [32]. Последние достижения в области анодирования Al с использованием высокого анодного напряжения / высокого электрического поля позволили использовать самоупорядоченные нанопористые АОА с использованием нетрадиционных электролитов, а именно кислотных органических электролитов [32,35]. В результате они добились получения самоупорядоченного АОА со скоростью роста 240-600 мкм/ч. Они также обнаружили, что D зависит не только от напряжения на аноде, но и от плотности тока анода.

1.3.2 Высокоупорядоченный АОА, полученный двухстадийным анодированием

Одностадийные, двухстадийные или трехстадийные процессы анодирования могут быть использованы для приготовления пленок АОА. В предыдущем разделе мы обсуждали одностадийный процесс анодирования, в ходе которого становится ясно, что естественная самоорганизация массивов пор / клеток далека от идеализированной модели. Отсутствие высокоупорядоченных массивов пор / клеток является результатом случайного характера начального механизма формирования. Исследование, проведенное Масудой и Фукуда в 1998 году, показало, что высокоупорядоченная гексагональная структура может быть получена только при определенных параметрах анодирования, и образование пленки АОА происходит через самоорганизующийся механизм роста [36]. В ходе этого исследования им удалось доказать, что идеальный массив пор имеет длительное время анодирования (до 160 часов). Именно во время этого длительного процесса анодирования отверстие может саморегулироваться независимо от его случайного начального положения. После удаления барьерного слоя упорядоченные положения пор наблюдаются только на границе раздела металл / оксид. Положение пор на границе раздела оксид / электролит отражает начальную позицию случайного зародышеобразования, сформированную на ранних стадиях формирования [38]. Чтобы улучшить порядок пор / ячеек на границе раздела оксид / электролит, Масуда и Сато разработали двухэтапный процесс анодирования [36]. Этот метод позволяет получить идеальную гексагональную конфигурацию плотно упакованных

прямых и параллельных каналов пор от границы раздела металл / оксид до границы раздела оксид / электролит. Именно эта макроструктурная наноструктурированная пленка вызвала новый интерес к использованию пленок АОА в качестве возможных шаблонов для производства наноструктурированных материалов и устройств [39-41].

Как описано ранее, домены самоупорядоченных пор образуются только на границе раздела m / o , так как АОА растет после продолжительного времени анодирования в определенных режимах самоупорядочения анодирования. Однако поры на верхней поверхности АОА все еще разупорядочены, что указывает на то, что многие поры на верхней поверхности не проникали в нижнюю поверхность. Для изготовления заказанного АОА с прямыми порами Масуда продемонстрировал двухэтапный процесс анодирования [37]. В двухэтапном процессе анодирования анодирование сначала выполняется в течение длительного времени для формирования упорядоченного массива отверстий на интерфейсе m / o , а затем выборочно удаляется АОА. В результате поверхность Al имеет упорядоченные углубления на дне удаленного пористого оксида алюминия, точную копию упорядоченных пор. Этот Al nano шаблон затем направляет начало образования пор при втором анодировании, которое обычно проводится в тех же условиях, что и первое анодирование. Используя эту технику, Масуда смог изготовить тонкие, упорядоченные мембраны АОА для нанесения теневой маски Au-точек. Впоследствии двухэтапный процесс анодирования стал стандартной процедурой для создания локально упорядоченных лесов АОА. На первом этапе более длительное время анодирования используется для формирования высокоупорядоченного массива отверстий на границе раздела металл / оксид.

Затем оксидный слой удаляют, чтобы показать высокопериодический и изогнутый ландшафт, покрывающий поверхность алюминиевой подложки. Эти углубления образуют места инициации для формирования пор на втором этапе анодирования [42,43]. Недавно самосборные полистирольные шарики были размещены на поверхности подложки, чтобы указать начальное положение на первом этапе анодирования [44]. На втором этапе сформированные массивы дырок / клеток плотно упакованы, высоко упорядочены, а каналы прямые и параллельные [45-47]. На рис. 4 показана двухступенчатая схема процесса анодирования. Именно эта структура недавно получила потенциальное применение в производстве наноматериалов [37]. Продолжение исследований по контролю местоположения исходного участка пор / клеток привело к разработке нескольких методов. Эти методы варьируются от предварительного текстурирования или поверхностной нанопечати с использованием форм или шаблонов до ионно-лучевой литографии и процессов анодирования, поэтому последовательность гексагональных решеток можно контролировать [49,50]. Следует отметить, что использование таких методов, как ионно-лучевая литография, требует использования сложного и дорогостоящего оборудования по сравнению с двухстадийным процессом анодирования, в котором используется относительно недорогое лабораторное оборудование.

Основное преимущество использования двухэтапного процесса анодирования заключается в том, что на втором этапе процесса анодирования образуется превосходный пористый оксидный слой. Это связано с тем, что рост оксида определяется на первом этапе: сначала анодирование, затем удаление оксида или предварительная обработка поверхности (например,

предварительное текстурирование). Это также означает, что не требуется долгосрочной самонастройки, поэтому можно достичь высокой степени упорядочения пор / ячеек за более короткое время.

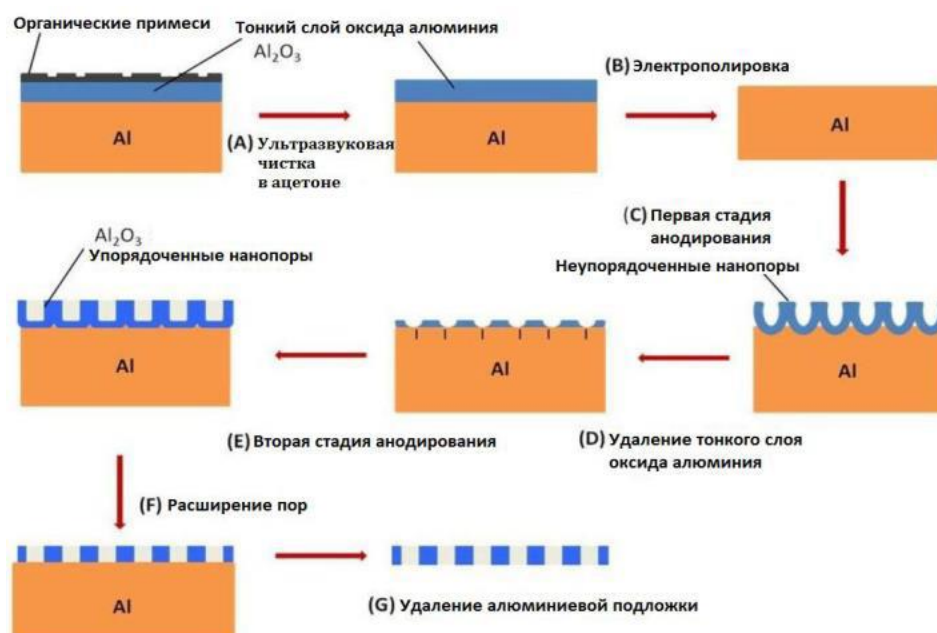


Рисунок 4. Схема двухэтапного процесса анодирования [37].

Кроме того, кривая плотности тока двухстадийного процесса анодирования показывает, что для первой стадии требуется более длительное время для достижения постоянной скорости роста (устойчивого состояния) в пористом оксидном слое по сравнению со второй стадией. Это подтверждает преимущества использования двухэтапного процесса анодирования, поскольку удаление оксида, образовавшегося на первом этапе, обнажает высокочастотные и углубляющиеся поверхности. Это позволяет быстро начать зарождение и расположение пор на последующих этапах анодирования. В результате стабильный рост оксидного слоя может быть достигнут за более короткое время [51], см. Таблицу 1. В этом процессе оксидный слой, полученный после первой и второй стадий анодирования, химически

удаляется. Затем алюминиевую подложку анодировали на две трети и более. Этот процесс не показал значительного улучшения в упорядочении массивов клеток / ячеек [52].

Таблица 1. Типичные двухступенчатые параметры анодирования для распространенных пористых электролитов [37]

Электролит	Концентрация (М)	Потенциал (V)	1-я анодизация (часы)	2-я анодизация (часы)
Серная кислота	0,3	24	5	3
Щавелевая кислота	0,3	30	8	5
Щавелевая кислота	0,3	60	5	3
Фосфорная кислота	2,5	60	8	5

После завершения процесса анодирования необходимо удалить слой пористого оксида с алюминиевой подложки. До этого тонкий слой Acrifix 192 [53] или аналогичного полимера наносили на анодированную сторону подложки. Когда алюминиевая подложка удаляется, этот метод укрепляет хрупкую пленку АОА и облегчает ее обработку. Для удаления субстрата использовали 0,1 М раствор хлорида меди в 7% соляной кислоте. После удаления подложки оксид барьерного слоя протравливается фосфорной кислотой, что также приводит к тому, что акриловая подложка полностью растворяется и образует прозрачную пленку. Другой метод удаления алюминиевых подложек заключается в использовании механизма одностадийного высвобождения. Этот процесс осуществляется в высококонцентрированном электролите, и напряжение обычно на 5-10 В выше, чем потенциал образования оксида, и пульсирует в течение соответствующего времени, в результате чего слой оксида отделяется от подложки [53]. После

отделения оксидного слоя от алюминиевой подложки размер пор можно увеличить. Расширение пор осуществляется для избирательного увеличения диаметра пор до желаемого размера. Эта регулировка достигается путем химического травления поверхности оксида в столбчатом канале отверстия в течение определенного периода времени. Обычно используемый травитель представляет собой фосфорную кислоту, и типичное время может составлять от 20 минут до 85 минут, в зависимости от потенциала, концентрации и температуры. Чем дольше скорость растворения, тем больше размер пор (D_p). Следует также отметить, что толщина оксидного слоя также уменьшается по мере расширения пор. Если скорость растворения увеличивается в течение более длительного периода времени, стенки пор станут настолько тонкими, что они начнут разрушаться. Недавнее исследование Ye et al. Можно доказать способность контролировать морфологическое превращение наноструктур на поверхности оксидного слоя при анодировании [54]. Увеличивая время анодирования и регулируя плотность тока, можно увеличить время растворения, тем самым эффективно увеличив количество поврежденных стенок пор. С развитием процесса анодирования на поверхности оксидного слоя начали появляться поврежденные стенки пор. И по мере того, как время продолжало увеличиваться, эти поврежденные конструкции стен начали формировать птичьи гнездообразные структуры на поверхности. Эти структуры были переплетены с десятками тысяч наноразмерных листов и проводов. При обычном процессе анодирования поверхность АОА является гидрофильной с типичным углом контакта с водой около 64° . Однако полученная структура птичьего гнезда эффективно создает супергидрофильную поверхность с углами контакта менее 10° [55].

Глава 2. Методика эксперимента

2.1 Термическая обработка алюминиевых пластин А99

В качестве образцов для барьеров роста или пористых анодных пленок мы использовали первичный алюминий высокой чистоты 99,97% (А99) в виде пластин различной толщины. Состав приведен в таблице 2.

Таблица 2. Химический состав алюминия первичного А99 по ГОСТ 11069-74, %

Марка	Al, не менее	Примесь, не более						
		Fe	Si	Cu	Zn	Ti	Прочие	Сумма
А99	99,99	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,001	0,010

Температура плавления алюминия составляет 660 ° С. Отжиг алюминиевой пластины проводят в муфельной печи на воздухе при 450-500 ° С в течение 4 часов, что помогает снять остаточное напряжение в металлической структуре и повысить ее износостойкость.

2.2 Электрохимическая полировка алюминиевых пластин

Электролитическая полировка - это электрохимический процесс, при котором материал может удаляться из металлических заготовок. Благодаря выравниванию мелких пятен и углублений для уменьшения шероховатости поверхности и улучшения качества поверхности ее часто называют обратным покрытием. Может использоваться для замены тонкого шлифования и полировки при подготовке микроструктур. Погрузите заготовку в ванну с постоянной температурой, заполненную электролитом и действуйте как анод. Он подключен к положительному полюсу источника питания постоянного тока, а отрицательный полюс подключен к катоду. Ток течет от анода к катоду, и металл анода на поверхности анода окисляется и растворяется в электролите.

Реакция восстановления происходит на катоде и обычно дает водород. Электролит, используемый для электрополировки, обычно представляет собой концентрированный кислый раствор с высокой вязкостью, такой как смесь серной кислоты и фосфорной кислоты [9].

Непосредственно перед процессом анодирования образцы электрохимически полировали при напряжении 12-20 В в растворе H_3PO_4 (85% по объему) + CrO_3 (92 г/л). Использован ИПТ Profigroup в качестве источника постоянного тока (напряжения) (рисунок 5 а). Перед полировкой электролит нагревали до 60 °С в течение одного часа. После нагревания электролита на аноде была установлена алюминиевая пластина для полировки, и тот же чистый алюминий был использован на катоде для уменьшения загрязнения электролита и анода. Чтобы стабилизировать плотность тока в процессе, площадь алюминиевой пластины на катоде больше, чем площадь анода. Продолжали этот процесс, пока на полированном алюминии не появится однородная зеркальная поверхность. Площадь полированного алюминия составляет около 1 см². Схема экспериментального процесса электрополирования показана на рисунке 5 б.



Рисунок 5. Установка электрохимической полировки; а) источник питания ИПТ

«Профигрупп» б) схема установки полирования

Один образец электрополировали при постоянном напряжении 20 В в течение 3 минут. В процессе электрополировки для непрерывного перемешивания используется магнитная мешалка.

После электрополировки образец тщательно промывают дистиллированной водой и сушат в потоке холодного воздуха, а затем хранят в закрытом контейнере до анодирования.

2.3 Экспериментальная установка анодирования

На рисунке 6 оказана лабораторная установка для анодирования алюминия. Анодирование проводят в охлаждающей рубашке (со льдом / водой) для поддержания температуры, близкой к 0 °С. Образец помещали на медную пластину, чтобы обеспечить электрический контакт между образцом и источником питания. В качестве катода использовали квадратную платиновую (Pt) пластину 10 × 10 см или алюминиевую пластину А99 с различными площадями поверхности (от 10 × 10 до 30 × 30 мм) и погружали в раствор параллельно аноду на расстоянии 10 мм друг от друга. Во время процесса анодирования для непрерывного перемешивания используется магнитная мешалка, так что температура стабильна по объему.

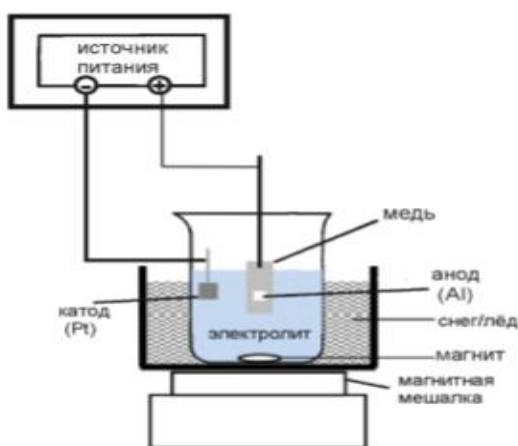


Рис 6 Схема экспериментальной установки анодирования

Электролитом служил водный 0,3 М раствор щавелевой кислоты ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ - сильная органическая кислота).

На первом этапе предварительно отполированную алюминиевую пластину анодировали при 0-2 °С в 0,3 М растворе щавелевой кислоты при постоянном напряжении 40–60 В в течение 4 ч. В результате зеркальная поверхность алюминия становилась мутной и покрытой беловатым слоем оксида алюминия. Полученный оксидный слой избирательно удаляли обработкой в водном растворе ортофосфорной кислоты H_3PO_4 (6 мас.%) и хромового ангидрида CrO_3 (1,8 мас.%) при 60 °С. Затем поверхность алюминия, которая была сконструирована на первой стадии и очищена от оксида, была подвергнута второй стадии анодирования. Условия второго этапа такие же, как первого. Характеристики полученных АОА зависят от приложенного напряжения, интенсивности и плотности тока, температуры, типа и концентрации электролита.

2.4 Сканирующая атомно-силовая микроскопия

Атомно-силовые микроскопические исследования рельефа поверхности образцов проводились на сканирующем микроскопе НаноЛаборатория ИНТЕГРА Прима (ОАО "НТ-МДТ") (рис.7) в Наноцентре ТПУ, г. Томск.

Использовались алмазоподобные кантилеверы высокого разрешения (NSG01-A) длиной 125 мкм, резонансная частота 87-230 кГц, радиус кривизны иглы составляет 10 нм, силовая постоянная 1,45-15,1 Н/м, длина иглы 14-16 мкм. Размер области сканирования варьировали от 1 до 50 мкм.

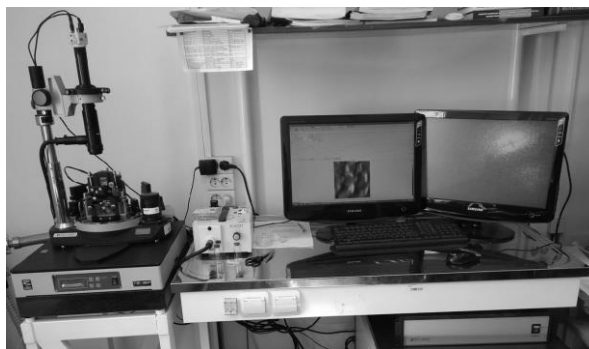


Рис.7 Сканирующий микроскоп НаноЛаборатория ИНТЕГРА Прима (ОАО "НТ-МДТ")

Выбирали скорость сканирования и шаг, то есть амплитуду колебаний кантилевера. Фокус на получении самого четкого и самого контрастного изображения AFM. Морфологию образца АОА измеряли полуконтактным методом на воздухе. Морфология образца полированного алюминия измерялась в контактном режиме на воздухе.

Результаты измерений представляют собой двумерные и трехмерные цифровые изображения поверхности. Микрофотографическая обработка включает использование программного обеспечения для анализа стандартных арифметических средних параметров поверхности.

2.5 Растровая электронная микроскопия

Исследования морфологии поверхности и элементного состава покрытий проводили методом РЭМ (растровый электронный микроскоп «LEO EVO 50» Zeiss, Германия, ЦКП ИФПМ СО РАН «Нанотех» г. Томск, рис.8). Образцы готовились с помощью вакуумного поста ВУП-4 (рабочий вакуум $5 \cdot 10^{-5}$ тор, ток испарителей 50 А) методом угольных реплик.



Рис. 8 Растровый электронный микроскоп «LEO EVO 50» Zeiss, Германия

Исследования проведены в режиме backscattered (CZ BSD) micrograph, и SE (secondary electron) detection для исследования морфологии поверхности (SE) и приповерхностного слоя (BSD).

Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

Цель данного раздела ВКР заключается в оценке перспективности разработки и планировании финансовой и коммерческой ценности конечного продукта, предлагаемого в рамках НИ. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на следующие вопросы: будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- оценка коммерческого потенциала разработки;
- планирование научно-исследовательской работы;
- расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

Целью данной исследовательской работы является разработка двухэтапного процесса анодирования алюминия в лабораторных условиях для создания упорядоченных наноструктур на основе оксида алюминия. Такая система имеет большую удельную поверхность и используется для фильтрации, разделения и катализа.

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технологических решений с точки зрения ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет нам оценить относительную эффективность научного развития и определить направление его дальнейшего совершенствования.

Поэтому мы нашли две компании для сравнения, компания "НТЦ-ВОДА" специализируется на производстве и поставке водоочистного оборудования и комплектующих для водоподготовки. компания НПО «Керамикфильтр» занимается разработкой и производством керамических фильтров с керамическими мембранами из ультратонких керамических волокон для промышленных систем микрофльтрации и ультрафльтрации, а также лабораторной практики, обеспечивающей очистку, сепарацию и концентрирование на микрофльтрационных и ультрафльтрационных мембранах.

В таблице 3 представлено сравнение разработок-конкурентов и разработки данного НИ с точки зрения технических и экономических критериев оценки эффективности.

Таблица 3 – Сравнение конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентно-способность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Срок изготовления	0.09	3	5	4	0,27	0,45	0,36
2. Пористость	0.2	5	4	3	1	0,8	0,6
3. Экологически чистый	0.07	5	5	5	0,35	0,35	0,35
4. Легко производить	0.07	5	3	5	0,35	0,21	0,35
5. Простота в эксплуатации	0.08	5	5	4	0,40	0,40	0,32
6. Безопасное производство	0.07	5	5	5	0,35	0,35	0,35
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Реализация продукта	0.07	5	5	4	0,35	0,35	0,28
2. Уровень охвата рынка	0.08	4	4	5	0,36	0,32	0,40
3. Предполагаемая цена	0.07	4	5	5	0,28	0,35	0,35
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0.07	4	5	5	0,28	0,35	0,35
5. Финансирование научной разработки конкурентных товаров и разработок	0.07	4	4	5	0,28	0,28	0,35
6. Срок выхода на рынок	0.6	5	5	3	0,30	0,30	0,18
Итого	1	54	50	51	4,57	4,51	3,89

4.1.2 SWOT-анализ

Для исследования внешней и внутренней среды проекта проведен SWOT-анализ, где детально продуманы сильные и слабые стороны научно-

технической разработки. На втором этапе проведения SWOT-анализа составлены интерактивные матрицы проекта, в которых осуществлено выполнение анализа соответствия параметров SWOT каждого с каждым. Соотношения параметров представлены в таблицах 4–7.

Таблица 4 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	-	-	-	-	-
	B2	-	+	-	-	-
	B3	-	+	-	+	-
	B4	-	+	-	+	-
	B5	+	+	-	-	-

Таблица 5 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	-	-	-	+	-
	B2	-	-	-	-	-
	B3	-	-	-	-	-
	B4	-	-	-	-	-
	B5	-	-	-	-	-

Таблица 6 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	+	+	-	-	-
	У2	-	-	-	-	-

Таблица 7 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта						
------------------------	--	--	--	--	--	--

Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	-	-	-	+	-
	У2	-	+	-	-	-

Результаты выполнения SWOT-анализа представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта С1. Низкая стоимость исходного сырья С2. Высокий уровень физико- и термомеханических свойств продукции С3. Взаимосвязи ТПУ с потенциальными заказчиками С4. Экологичность технологии С5. Квалифицированный персонал	Слабые стороны научно-исследовательского проекта Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки Сл2. Невысокие объемы производства Сл3. Риск нарушения правил безопасности и возникновения различных непредвиденных ситуаций Сл4. Вероятность получения брака Сл5. Большой срок поставок материала, используемого при проведении научного исследования
Возможности В1. Использование оборудования ИШНПТ ТПУ В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт В3. Внедрение технологии в производство	Направления развития В2С2. Высокий уровень физико- и термомеханических свойств продукции позволит расширить спрос В3С2С4. Высокий уровень физико- и термомеханических свойств продукции и экологичность технологии являются основанием для внедрения технологии в производство	Сдерживающие факторы В1Сл4. Новейшее оборудование позволит на ранних стадиях исследование выявить и предотвратить появление брака

В4. Участие в грантах В5. Выход на зарубежные рынки	В4С2С4. Высокий уровень физико- и термомеханических свойств продукции и экологичность технологии позволит участвовать в грантах В5С1С2. Низкая стоимость исходного сырья и высокий уровень физико-механических свойств продукции является хорошим основанием для выхода на зарубежные рынки	
Угрозы У1. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок У2. Разработка новых технологий конкурентами и снижение цен	Угрозы развития У1С1С2. Более ускоренные темпы разработки и производства и поиск технологического решения для ускорения технологического процесса	Уязвимости: У2Сл2. Разработка новых технологий для увеличения объема производства У1Сл4. Введение систем совершенствования производственных процессов для снижения брака

По данным таблицы можно сделать следующие выводы:

1. В связи с улучшением качества продукции, возможности и сильные стороны способствуют развитию рынка и спроса на производимую продукцию.
2. Угрозы, которые могут возникнуть в производстве, такие как недостаточный спрос и усиление конкуренции, могут значительно ослабить положение этого разработанного продукта на рынке, но с его собственными сильными сторонами это вызовет спрос на новые продукты и технологии производства.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование работ предполагало определение структуры работ по проведению научного исследования, определение участников каждого вида работ, установление продолжительности работ, построение графика проведения исследований. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей по выполнению НТР представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Научный руководитель
	2	Календарное планирование выполнения ВКР	Студент-инженер, научный руководитель
Выбор способа решения поставленной задачи	3	Обзор научной литературы	Студент-инженер
	4	Выбор методов исследования	Студент-инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование эксперимента	Студент-инженер, научный руководитель
	6	Проведение эксперимента	Студент-инженер
Обобщение и оценка результатов	7	Анализ полученных результатов НИР	Студент-инженер
	8	Оценка эффективности результатов	Научный руководитель
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	9	Составление пояснительной записки	Студент-инженер
	10	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Студент-инженер
	11	Социальная ответственность	Студент-инженер

4.2.2 Разработка графика проведения научного исследования

Определение трудоемкости выполнения научного исследования проведено экспертным путем в человеко-днях. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ использована следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (1)$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, человеко-дни;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни.

Исходя из рассчитанной ожидаемой трудоемкости работ, была определена продолжительность каждого этапа работы (в рабочих днях T_p), учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями, а также возможность выполнения нескольких видов работ в один временной промежуток. Далее с помощью формулы 2 рассчитана продолжительность одной работы в рабочих днях:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (2)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, рабочие дни;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 10.

Таблица 10 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ож\ i}$, чел-дни			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	1		4		2,2		2,2	3
2. Календарное планирование выполнения ВКР	1	1	4	4	2,2	2,2	2,2	3
3. Обзор научной литературы		4		6		2,2	2,2	3
4. Выбор методов исследования		4		6		4,2	4,2	6
5. Планирование эксперимента		20		25		10	10	15
6. Проведение эксперимента		8		12		8	8	12
7. Анализ полученных результатов НИР		4		8		2	4,2	6
8. Оценка эффективности результатов		2		2		4	4,2	6

9. Составление пояснительной записки		2		8		6	6,2	9
10. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение		5		8		8	6,2	9
11. Социальная ответственность		10		12				10
Итого	2	60	8	91	4,4	46,6	49,6	82

Примечание: Исп. 1 – научный руководитель, Исп. 2 – студент-инженер.

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица 11).

Таблица 11 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность работ											
				февр			март			апр			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Исп1	3												
2	Календарное планирование выполнения ВКР	Исп1 Исп2	3												
3	Обзор научной литературы	Исп2	3												
4	Выбор методов исследования	Исп2	6												
5	Планирование эксперимента	Исп2	15												
6	Проведение эксперимента	Исп2	12												
7	Анализ полученных результатов НИР	Исп2	6												
8	Оценка эффективности результатов	Исп2 Исп3	6												
9	Составление пояснительной записки	Исп2 Исп3	6												
	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Исп1	3												
	11. Социальная ответственность	Исп1	3												

Примечание:



– Исп 1 (научный руководитель)



– Исп 2 (студент-инженер)

4.2.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением.

4.2.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Материальные затраты отражают стоимость приобретенных материалов и сырья, которые входят в состав вырабатываемой продукции, образуя ее основу, или являются необходимыми компонентами при изготовлении продукции (таблица 12).

Таблица 12 – Стоимость материалов

Реактив	Единицы измерения	Цена	Израсходовано	Стоимость, руб.
А99 алюминии пластина	кг	220	1	220
Электропровод	м	60	1	60
Щавелевая кислота	кг	165	1	165
Оксид хрома	кг	228	0,5	114
Ацетон	л	136	1	136
Лимонная кислота	кг	202,20	2	404,4
Ортофосфорный кислота 85%	л	280	2	560
Итого				1660

4.2.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

Расчет амортизации производится на находящееся в использовании оборудование. В итоговую стоимость проекта входят отчисления на

амортизацию за время использования оборудования в статье накладных расходов (таблица 11).

Амортизацию оборудования рассчитываем:

$$A = \frac{C_n \cdot H_a}{\text{кол. раб. дн. в год} \cdot 100} \cdot T_p \quad (3)$$

где C_n – первоначальная стоимость оборудования, руб;

H_a – норма амортизации, %;

Число проработанных месяцев n берем из расчета того, что на НТИ инженером было затрачено 1248 ч = 1,73 месяца.

Таблица 13 – Затраты на специальное оборудование для проведения исследовательской работы.

Наименование оборудования	C_n , руб
Печь камерная	70000
Регулируемый линейный источник постоянного тока MPS-3003D	5800
SmartSPM™ - сканирующий зондовый микроскоп	6000000
Рентгеновский дифрактометр XRD-7000S (Shimadzu, Япония)	5000000
Растровый электронный микроскоп «LEO EVO 50» Zeiss, Германия	5500000
Итого:	16575800

Таблица 13 – Расчет амортизации оборудования

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации:

$$H_a = \frac{1}{n}, \quad (4)$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m, \quad (5)$$

где I – итоговая сумма, тыс. руб.; m – время использования, мес.

Принимая во внимание различный срок службы различного оборудования, амортизация нашего компьютерного оборудования также отличается

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

Печь камерная:

$$A = \frac{H_A N}{12} \cdot m = \frac{0,067 \cdot 70000}{12} \cdot 2 = 778 \text{ руб.} \quad (6)$$

Регулируемый линейный источник постоянного тока MPS-3003D:

$$A = \frac{H_A N}{12} \cdot m = \frac{0.05 \cdot 5800}{12} \cdot 4 = 97 \text{ руб.} \quad (7)$$

SmartSPM™ - сканирующий зондовый микроскоп:

$$A = \frac{H_A N}{12} \cdot m = \frac{0.02 \cdot 6000000}{12} \cdot 1 = 10000 \text{ руб.} \quad (8)$$

Рентгеновский дифрактометр XRD-7000S:

$$A = \frac{H_A N}{12} \cdot m = \frac{0.02 \cdot 5000000}{12} \cdot 1 = 8333 \text{ руб.} \quad (9)$$

Растровый электронный микроскоп «LEO EVO 50»:

$$A = \frac{H_A N}{12} \cdot m = \frac{0.02 \cdot 5500000}{12} \cdot 1 = 9166 \text{ руб.} \quad (10)$$

Суммарные затраты амортизационных отчислений:

$$A = 718 + 97 + 10000 + 8333 + 9166 = 28314 \text{ руб.} \quad (11)$$

4.2.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата $З_{осн}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{он} \cdot T_p, \quad (12)$$

где $З_{он}$ – среднедневная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (таблица 8).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$З_{он} = \frac{З_m \cdot M}{F_0} = \frac{51285 \cdot 10,3}{246} = 2147,3 \text{ руб.}, \quad (13)$$

где $З_m$ – должностной оклад работника за месяц; F_0 – действительный годовой фонд рабочего времени исполнителей, раб.дн.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

- при отпуске в 28 раб. дня – $M = 11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя;
- при отпуске в 56 раб. дней – $M = 10,3$ месяца, 6-дневная рабочая неделя.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$З_{он} = \frac{З_m \cdot M}{F_0} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.} \quad (14)$$

Должностной оклад работника за месяц:

- для руководителя:

$$З_m = З_{мс} \cdot (1 + k_{np} + k_o) k_p = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.} \quad (15)$$

- для инженера:

$$З_m = З_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_o) k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.}, \quad (16)$$

где $З_{mc}$ – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.; k_{np} – премиальный коэффициент, равен 0,3; k_o – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2; k_p – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 14 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	52/14	104/14
- выходные дни		
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	48/5	24/10
- отпуск		
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	213

Таблица 15 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$З_{mc}, \text{руб}$	k_{np}	k_o	k_p	$З_m, \text{руб}$	$З_{он}, \text{руб}$	$T_p, \text{раб.дн.}$	$З_{осн}, \text{руб}$
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	10	21473
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	30	52293
Итого:								73766

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$З_{дон} = k_{дон} \cdot З_{осн} = 0,15 \cdot 21473 = 3221 \text{ руб.} \quad (17)$$

– для инженера:

$$З_{дон} = k_{дон} \cdot З_{осн} = 0,15 \cdot 52293 = 7844 \text{ руб.} \quad (18)$$

где $k_{дон}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15).

4.2.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

Для руководителя:

$$З_{внеб} = k_{внеб} (З_{осн} + З_{доп}) = 0,3 * (21473 + 3221) = 7408 \text{ руб.} \quad (19)$$

Для инженера:

$$З_{внеб} = k_{внеб} (З_{осн} + З_{доп}) = 0,3 * (52293 + 7844) = 18041 \text{ руб.} \quad (20)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2020 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

4.2.3.5 Накладные расходы

Накладными расходами учитываются прочие затраты организации, такие как: печать и ксерокопирование проектировочных документов, оплата услуг связи.

Накладные расходы в целом:

$$З_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 6) \cdot k_{нр} =$$
$$= (28314 + 1660 + 73766 + 11065 + 25449) * 0,2 = 28050,8 \text{ руб.} \quad (21)$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НИ «Получение керамических нанопористых мембран методом анодирования алюминия» по форме, приведенной в таблице 16.

Таблица 16 – Группировка затрат по статьям

Статьи							
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Итого бюджетная стоимость
28314	1660	73766	11065	25449	140254	28050,8	168304,8

4.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Для определения эффективности исследования рассчитан интегральный показатель эффективности научного исследования путем определения интегральных показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получен в ходе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принят за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Комплексные показатели финансового развития определяются как:

$$I = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} \quad (22)$$

где I – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_1 = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}} = \frac{58766}{80729} = 0.73$$

$$I_2 = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}} = \frac{65406}{74389} = 0,88$$

$$I_3 = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}} = \frac{89936}{89936} = 1$$

В результате расчета интегрального финансового показателя по трем вариантам разработки вариант 3 (данная НТР) с небольшим перевесом признан более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов выполнения НТР (I_{pi}) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 17).

Таблица 17 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НТР

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Вар.1	Вар.2	Вар.3
1. Срок изготовления	0.15	5	4	4
2. Пористость	0.2	4	5	5
3. Экологически чистый	0.3	4	3	5
4. Легко производить	0.1	5	4	4
5. Простота в эксплуатации	0.1	5	5	4
6. Безопасное производство	0.15	5	4	5
ИТОГО	1	3,3	4	4,65

Рассчитанная сравнительная ресурсоэффективность разработки представлена в таблице 4.5.2

$$I_{p-исп1} = (0,15 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,3 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5) = 3.3$$

$$I_{p-исп2} = (0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,3 \cdot 3 + 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4) = 4$$

$$I_{p-исп3} = (0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,3 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5) = 4,65$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = I_{p-исп.i} / I_i \quad (23)$$

$$I_{\text{исп.1}} = 3.3/0.73=4.52$$

$$I_{\text{исп.2}} = 4/0.88=4.54$$

$$I_{\text{исп.3}} = 4.65/1=4.65$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НТР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица 18).

№ п/п	Показатели	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,73	0,88	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,3	4	4,65
3	Интегральный показатель эффективности	4,52	4,54	4,65
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	Вар.1/Вар.2 = 0,9 Вар. 1/Вар. 3= 0,8	Вар. 2/Вар. 1 = 1,1 Вар. 2/Вар. 3 = 0,9	Вар. 3/Вар. 1 = 1,2 Вар. 3/Вар. 2 = 1,1

$$\text{Вариант 1: } 0,73+3,3+4,52=8,55$$

$$\text{Вариант 2: } 0,88+4+4,54=9,42$$

$$\text{Вариант 3: } 1+4,65+4,65=10,3$$

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансово- и ресурсоэффективным является вариант 3 (данная разработка), т. к. показатель его сравнительной эффективности по отношению к каждому из сравниваемых вариантов больше 1.

Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

1. Результатом проведенного анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации НТР как наиболее предпочтительного и рационального по сравнению с остальными.
2. При проведении планирования был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее количество календарных дней для выполнения работы – 95 дней; общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер, – 63; общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель, – 15;
3. Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 168304,8 руб;
4. По факту оценки эффективности ИР, можно сделать выводы:
 - 1) значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,71, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной по сравнению с аналогами;
 - 2) значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,65, по сравнению с 4 и 3,3;
 - 3) значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 4,65, по сравнению с 4,52 и 4,54, и является наиболее высоким, что означает, что

техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

Глава 5. Социальная ответственность

Рабочее место располагается на 2 этаже в корпусе 15 Химико-термической лаборатории, помещение представляет собой комнату размером 8 м на 6 м, высотой 3 м, 2 окон выходящих на север, в помещении находится два вытяжных шкафа, вакуумную печь, атмосферную печь, вакуумную распылительную сушилку, компьютер для обработки результатов, вентиляционное оборудование, источники воды и термостаты и противопожарное оборудование, Может работать 6 человек одновременно. Остальное при анализе по разделам. Целью лаборатории является получение глиноземной пленки путем электрохимического анодирования.

Этот тип работ связан с приготовлением кислотных электролитов, а следовательно, кислот, ацетона и порошковых реагентов. Также в процессе синтеза наночастицы выбрасываются в атмосферу.

Поэтому, чтобы обеспечить здоровье человека, необходимо контролировать внутреннюю среду. В основном заботятся о внедрении и постоянном использовании средств индивидуальной и коллективной защиты. Использование электрических приборов одновременно означает безопасное использование электричества.

Поэтому нам необходимо анализировать лабораторную среду, учитывать вредные факторы и предлагать разумные решения.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

При работе в лаборатории следует соблюдать положения Закона о труде Российской Федерации № 197-ФЗ (ред.от 02.12.2019) [56]. Работая в лаборатории, человек должен быть не моложе 18 лет, проходить медицинский осмотр и не иметь противопоказаний по состоянию здоровья.

Есть много сложных и вредных условий, которые влияют на здоровье человека в химической лаборатории. Согласно литературным данным [57], при работе в лаборатории следует сократить рабочее время и оперативно

оценить условия труда на рабочем месте, где существуют серьезные и вредные условия.

5.2 Производственная безопасность

Исследования проводятся в лаборатории № 211 Томского технологического университета, корпус 15. Лаборатория оборудована ультразвуковой ванной, приточно-вытяжной вентиляцией, рабочим столом, духовкой и различными электронными приборами. В целях обеспечения безопасности труда необходимо определить вредные и опасные факторы в лаборатории. В лаборатории много химических веществ, некоторые из которых токсичны.

Для идентификации потенциальных факторов использован ГОСТ 12.0.003-2015 [58]. Определенные возможные опасные и вредные факторы представлены в таблице 19.

Таблица 19 – Возможные опасные и вредные факторы .

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96 [59] ГОСТ 12.1.005-88 [60]
2. Превышение уровня шума		+		ГОСТ 12.1.003-2014 [61] ГОСТ 12.1.029-80 [62] СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [63]
3. Недостаточная освещенность рабочей зоны		+	+	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [64] СП 52.13330.2016 [65]
4. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	ГОСТ 12.1.019-2017 [66] ГОСТ 12.1.038-82 [67]

5.2.1 Описание рабочего места

Рабочая зона-Химико-термической лаборатории 211 в корпусе 15, Лаборатория имеет площадь 48 м². Здание закрытое, сухое, в хороших рабочих условиях, с хорошим естественным и искусственным освещением.

Технологический процесс включает в себя следующие виды работ: Используя алюминиевый лист А99 и платиновый лист для электролиза в растворе щавелевой кислоты, получают упорядоченное покрытие АОА. использовать оборудование (электрической плиткой, регулируемый линейный источник постоянного тока MPS-3003D).

5.2.2 Анализ вредных факторов при проведении исследований

Повышенная температура воздуха рабочей зоны

Нам нужно нагреть образец алюминия А99 в печи до 450 °С в течение 4 часов, а затем вынуть его, охладить и отжечь на воздухе. Это приведет к повышению температуры в рабочей зоне, поскольку тепловая изоляция печей обжига не способна полностью уменьшить теплопередачу от внутренних слоев печи к внешним, но позволяет снизить тепловыделение через наружный слой печи до приемлемой температуры согласно ГОСТ 12.1.005-88.[60]

Чтобы поддерживать в лаборатории наиболее подходящую температуру для эксперимента, использовалась центральная система кондиционирования воздуха, а выпуск свежего воздуха был установлен с наветренной стороны, вдали от загрязненного места.

Анализ уровня шума на рабочем месте

Гигиенические нормативы определяются методами в ГОСТ 12.1.003-2014 [61] и в СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [63]. Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука представлены в таблице 20.

Таблица 20 – Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах для трудовой деятельности разных категорий тяжести и напряженности в дБА

	Категория тяжести трудового процесса
--	--------------------------------------

Категория напряженности трудового процесса	легкая физическая нагрузка	средняя физическая нагрузка	тяжелый труд 1 степени	тяжелый труд 2 степени	тяжелый труд 3 степени
Напряженность легкой степени	80	80	75	75	75
Напряженность средней степени	70	70	65	65	65
Напряженный труд 1 степени	60	60	-	-	-
Напряженный труд 2 степени	50	50	-	-	-

В лаборатории относится к категории работ с легкой со средней физической нагрузкой.

Для рабочих мест таких работников предельно допустимый уровень шума составляет 80 дБА

Снижение уровня шума на рабочем месте

Лаборатория обычно является закрытой средой, поэтому уровень шума соответствует стандарту и не влияет на здоровье человека. Общий шум вызван оборудованием и работой. Если уровень шума слишком высок, вы можете уменьшить шум, смазывая машину и ремонтируя оборудование.

Анализ освещенности рабочей зоны

Нормы освещения научно-технических лабораторий, в том числе физических, стилометрических, спектрографических и т. п., по [64] представлены в таблице 21.

Таблица 21 – Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения научно-технических лабораторий

Рабочая поверхность и плоскость нормирования КЕО и освещенности (Г – горизонтальная, В – вертикальная) и высота плоскости	Естественное освещение КЕО e_n , %		Совмещенное освещение КЕО e_n , %		Искусственное освещение				
	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	Освещенность, лк		Показатель дискомфорта, М, не более	Коэффициент пульсации освещенности, КЕО e_n , %, не более	
					при комбинированном освещении	при общем освещении			
					всего	от общего			

над полом, м									
Г-0,8	3,5	1,2	2,1	0,7	$\frac{50}{0}$	300	400	40	10

Работа по проводимые в процессе выполнения ВКР работы относится к VI категории зрительных работ.

Таблица 22 – Требования к освещению помещений промышленных предприятий (для категории VI)

Искусственное освещение				
Освещенность, лк			Сочетание нормируемых величин объединенного показателя дискомфорта UGR и коэффициента пульсации	
при системе освещения	комбинированного	при системе общего освещения	UGR, не более	К _п , %, не более
Всего	В том числе от общего			
-	-	200	25	20

Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда. Расчет освещения производится согласно методическим указаниям [68].

Помещение имеет размеры:

- 1) Длина $A = 8$ м;
- 2) Ширина $B = 6$ м;
- 3) Высота $H = 3$ м.

Площадь помещения таким образом составит:

$$8 \cdot 6 = 48 \text{ м}^2$$

Освещенность в помещении рассчитывается по формуле 5.1.

$$E = E_0 \cdot K, \quad (5.1)$$

где E_0 – рекомендуемая освещенность, лк;

K – коэффициент запаса, принимаемый равным 1,3.

Таким образом, освещенность в помещении:

$$E = 200 \cdot 1,3 = 260 \text{ лк.}$$

Уровень от рабочей поверхности до потолка рассчитывается по формуле 5.2.

$$h = H - h_p, \quad (5.2)$$

где h_p – высота рабочей поверхности, м.

$$h = 3 - 0,9 = 2,1\text{м}$$

Расчетная длина между двумя рядами светильников рассчитывается по формуле 5.3. Соответствующее число рядов светильников (n) находится как отношение ширины помещения к расчетной длине между светильниками.

$$L = g \cdot h, \quad (5.3)$$

где g – оптимальное соотношение световых потоков (для выбранного типа ламп ЛБ-40 составляет 1,3).

$$L = 1,3 \cdot 2,1 = 2,73\text{м}$$

$$n = \frac{6}{2,73} = 2,2$$

Принимаем число рядов равным двум. Индекс освещения рассчитывается по формуле 5.4 и составляет:

$$i = \frac{s}{(A+B) \cdot n} = \frac{48}{(6+8) \cdot 2} = 1,71 \quad (5.4)$$

Коэффициент использования потока может быть рассчитан по формуле 5.5.

$$\eta = 0,5 \cdot (q_n + q_c), \quad (5.5)$$

где q_n – коэффициент отражения светового потока от потолка (0,7);

q_c – коэффициент отражения светового потока от стен (0,7).

$$\eta = 0,5 \cdot (0,7 + 0,7) = 0,7.$$

Необходимое число светильников в ряду находится по формуле 5.6.

$$N = \frac{E \cdot S \cdot Z}{n \cdot F \cdot \eta \cdot \gamma}, \quad (5.6)$$

где Z – коэффициент непрерывности, равный 1,1;

F – световой поток светильника, лм;

γ – коэффициент затемнения, равный 1.

В светильнике две лампы, световой поток каждой равен 2480 лм, соответственно световой поток светильника в два раза больше и составляет 4960 лм.

$$N = \frac{260 \cdot 84 \cdot 1,1}{2 \cdot 4960 \cdot 0,7 \cdot 1} = 3,46.$$

Примем число светильников равным 2.

При длине светильника 1,27 м, их общая длина составляет:

$$1,27 \cdot 2 = 2,54\text{м}$$

Расстояние между светильниками при этом составит:

$$\frac{8 - 2,54}{2 + 1} = 1,82$$

Схема расположения светильников представлена на рисунке 21.

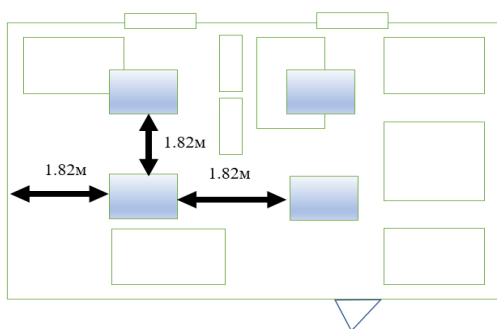


Рисунок 21 – Схема расположения светильников.

Способ размещения светильников в лаборатории - симметричный, это обеспечивает равномерное освещение оборудования и рабочих мест.

Освещение лаборатории является наиболее важным фактором, влияющим на производительность труда работников. Увеличение освещения помогает создать хорошие визуальные условия, недостаточное освещение вызывает утомление глаз работников и влияет на эффективность работы, кроме того, слишком низкая интенсивность освещения лаборатории также вызывает близорукость.

5.2.3 Анализ опасных производственных факторов

Анализ показателей микроклимата

Соответствие показателей микроклимата нормам необходимо регулярно проверять с помощью последствием измерении данных показателей на основании требований обозначенных в СанПиН 2.2.4.548-96.[59]

Таблица 23 – Требования к микроклимату помещения для категории работ «Легкая Ia»

Период года	Температура, °С					Относительная влажность, %		Скорость движения, м/с	
	оптимальная	допустимая				оптимальная	допустимая на рабочих местах	оптимальная, не более	допустимая на рабочих
		верхняя граница		нижняя граница					
		на рабочих местах							
		постоянных	непостоянных	постоянных	непостоянных				
Холодный	22-24	25	26	21	18	40-60	75	0,1	Не более 0,1
Теплый	23-25	28	30	22	20	40-60	55 (при 28°С)	0,1	0,1-0,2

Эти факторы указывают на влияние микро-среды на температуру тела человека, производительность, здоровье и производительность труда. Лучшие условия микроклимата обеспечивают комфорт рабочей зоны, улучшают работоспособность и не влияют на здоровье людей.

Улучшение показателей микроклимата

Для создания нормальных условий при проведении лабораторных работ следует регулярно контролировать показатели микроклимата по СанПиН 2.2.4.548-96 [59]

В лаборатории возникают проблемы с высокой влажностью, высокой температурой и отсутствием воздушного потока. Вентиляционное оборудование должно быть установлено в лаборатории, и регулярная вентиляция для обеспечения чистого воздуха. Чтобы отрегулировать температуру и влажность, необходимо установить систему кондиционирования воздуха. Длительная эксплуатация запрещена в условиях

неудовлетворительного микроклимата, а показатели микроклимата должны быть немедленно отрегулированы.

Повышенная температура поверхностей оборудования и материалов

Печи являются оборудованием с повышенной температурой поверхности. Данные аппараты должны быть защищены специальными заградительными корпусами. При работе оборудованием необходимо исключить их непосредственный контакт с кожными покровами, для этого используются специальные ухваты и защитные перчатки из жароустойчивого материала.

Необходимо соблюдать правила пожарной безопасности, знать места расположения первичных средств пожаротушения. Помещение для работы с электропечью должно быть обеспечено первичными средствами пожаротушения: огнетушителем, ящиком с песком, емкостью с водой.

Анализ электробезопасности

Электричество - это главная опасность, оно напрямую угрожает жизни и здоровью людей. Помещение относится к категории: Помещения повышенной опасности поражения электрическим током. Максимально допустимые значения тока и напряжения контакта приведены в таблице 24.

Таблица 24 – Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов

Род тока	U , В	I , мА
	не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

Поскольку рабочая среда относительно влажная, это приведет к сокращению срока службы устройства, а в случае чрезмерной влажности устройство будет разряжаться.

Способы снижения влажности:

1. Поместите сиккатив в лабораторию.
2. Используйте центральный кондиционер для сушки и вентиляции

Человек попадает под воздействие электрического тока при:

- Прикосновении к токоведущим частям;
- Прикосновении к нетокковедущим частям, оказавшимся под

напряжением;

- Шаговом напряжении.

Для обеспечения электробезопасности людей (ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ [69]) имеются:

- 1) указатели напряжения;
- 2) инструмент с изолирующими ручками;
- 3) изолирующие подставки;
- 4) защитные очки.

5.3 Экологическая безопасность

Охране окружающей среды должно уделяться большое внимание. При выполнении данной выпускной работы используются вещества, которые имеют определенное негативное воздействие на природу. В процессе проведения экспериментальных работ отходы могут быть выгружены только после механической, химической и термической обработки.

5.3.1 Защита санитарной зоны

В дополнение к поддержанию чистоты рабочего места и вентиляции для удаления пыли из воздуха, не существует особых требований по защите зданий, процессов и оборудования. Поэтому нет необходимости использовать это средство для защиты жилых районов в качестве санитарно-защитных зон [70].

5.3.2 Анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы).

Возможные причины загрязнения воздуха во время исследования:

Часть выбросов в атмосферу происходит из-за диоксида углерода, образующегося в процессе электролиза, что приведет к увеличению концентрации диоксида углерода в рабочей зоне.

Нам нужно добавить чистящее устройство к экспериментальному устройству для поглощения диоксида углерода, полученного в ходе эксперимента, для защиты нашей экспериментальной среды и атмосферной среды.

5.3.3 Анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы).

В настоящее время экологическая проблема уже стала самой актуальной. Отход отработанных веществ сильно влияет на экологию. Избыточное количество вредных веществ в воде вредно для людей, животных и растений.

Во время заключительной работы с жидкими отходами электролитической щавелевой кислоты необходимо правильно обращаться, поскольку щавелевая кислота обладает сильной токсичностью и коррозионной активностью. Минимальная летальная доза щавелевой кислоты для человека составляет 71 мг / кг, а летальная доза для взрослых составляет 15-30 г. Поэтому мы не можем напрямую залить раствор щавелевой кислоты после эксперимента в канализацию, которая загрязнит источник воды. Нам нужно налить отработанную жидкость в ведро с отработанной жидкостью и добавить известковую воду для осаждения, а затем слить после фильтрации.

Таким образом, проведение исследования не наносит вред атмосфере, гидросфере.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Готовность к чрезвычайным ситуациям является одним из важнейших факторов безопасности жизнедеятельности.

Чтобы решить потенциальные угрозы безопасности, мы сначала проектируем список возможных чрезвычайных ситуаций при разработке и эксплуатации решений.

Таблица 25 – Чрезвычайные ситуации делятся на техногенные и электрические сбои

Аварийные ситуации	Человеческая ошибка	Отказ электрооборудования
Пожар или взрыв при обогреве электрической плитой	+	+
Брызги на кожу при использовании щавелевой кислоты	+	
Удар током при использовании Коробка постоянного напряжения	+	+

Из Таблицы 25 видно, что аварийная ситуация может быть человеческой ошибкой или неисправностью электрического оборудования, поэтому нам

необходимо учитывать два фактора, чтобы предотвратить эту аварийную ситуацию.

В качестве примера мы используем пожары или взрывы, вызванные нагревом электропечи.

Если в результате пожара произошла ошибка человека, мы принимаем следующие меры:

1) Перед работой с оборудованием, являющимся потенциальным источником чрезвычайной ситуации, работник обязан пройти инструктаж по технике безопасности.

2) Установка не должна загромождать пути эвакуации в случае чрезвычайных ситуаций и закрывать собой предупредительные знаки и сигналы.

3) Около каждой установки должен быть автомат аварийного отключения электроэнергии, а в электрической цепи присутствовать устройство защитного отключения.

Если это электрическая неисправность, которая вызывает пожар, наши профилактические меры:

1) Дымовая пожарная сигнализация должна быть оборудована в лаборатории, чтобы предотвратить пожар, вызванный изоляцией соединительного провода, когда лаборатория пуста.

2) Лаборатория должна быть оснащена противопожарным оборудованием.

3) В случае пожара или взрыва в лаборатории ответственное лицо или сотрудник по безопасности лаборатории должны немедленно отключить источник питания и аксессуаров.

Согласно нашей лаборатории, мы можем получить, что категория опасности является Б взрыво-пожароопасная

Чтобы предотвратить чрезвычайные ситуации, такие как пожары, мы должны немедленно прекратить работу в закрытом помещении и принять меры по их устранению. По возможности необходимо использовать универсальный выключатель для отключения всего оборудования в лаборатории. Если пламя не распространяется по всей комнате, вы должны

использовать огнетушитель, чтобы вовремя погасить воспламененное оборудование или часть источника питания. При необходимости необходимо обеспечить эвакуацию людей в безопасное место и использовать кнопку пожарной сигнализации. Также в лаборатории есть аптечка с лекарствами, которые могут оказать первую помощь пострадавшим.

Выводы по разделу "Социальная ответственность"

В результате работы над разделом "Социальная ответственность" выявлены вредные и опасные факторы при работе в лаборатории, а также описан план действий в случае чрезвычайной ситуации.

Анализировать и предлагать превентивные меры для чрезвычайных ситуаций в различных ситуациях.

Проведение исследовательской работы никаким образом не влияют на экологическую безопасность, так как Специальная обработка для отработанных жидкостей, таких как щавелевая кислота

При введении этой исследовательской работы в производство следует помнить, что обработка отработанной жидкости очень важна. Полученная нами пористая керамическая мембрана может быть использована для производства нанопорошков. Углекислый газ, выделяющийся в процессе производства, должен поглощаться скруббером, чтобы избежать парниковый эффект.

Заключение

1. Разработана методика управляемого электрохимического анодирования алюминия А99 в лабораторных условиях для создания упорядоченных наноструктурированных структур АОА

2. Показано, что природа электролита, стадийность и режим анодирования влияют на размер образующихся пор и степень упорядочения АОА

3. Двухступенчатый процесс анодирования способствует получению более упорядоченного АОА

4. В главе 4 проведен SWOT анализ научного исследования. Для лучшего планирования проведения работ и реализации труда исполнителей была построена ленточная диаграмма Ганта. Определена смета научного исследования: 160,8 тыс. руб.

5. В главе 5 рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, опасные и вредные факторы в химико-термической лаборатории

Список использованных источников

1. Thompson G. E. // Thin Solid Films, 1997, vol. 297, pp. 192—201.
2. 2015 Н. М. Яковлева, А. Н. Кокатев, Е. А. Чупахина, К. В. Степанова, А. Н. Яковлев, С. Г. Васильев, А. М. Шульга // Наноструктурирование поверхности металлов и сплавов
3. Woo Lee, Sang-Joon Park. Porous anodic aluminum oxide: Anodization and templated synthesis of functional nanostructures// Chemical Review -2014., -С. 7487-7556.
4. Тилеуберди Тауба // Получение керамических нанопористых структур на основе оксида алюминия для мембранных технологий, Магистерская диссертация. Томск, 2019. 117 с.
5. Н. Masuda, K. Fukuda Ordered metal nanohole arrays made by a two-step replication of honeycomb structures of anodic alumina Science, 268 (1995), p. 1466
6. Н. Masuda, M. Satoh Fabrication of gold nanodot array using anodic porous alumina as an evaporation mask Jpn. J. Appl. Phys., 35 (1996), p. L126
7. J.P. O'Sullivan, G.C. Wood The morphology and mechanism of formation of porous anodic films on aluminum Proc. R. Soc. Lond. B Biol. Sci. Math. Phys. Sci., 317 (1970), pp. 511-543
8. K. Nielsch, J. Choi, K. Schwirn, R. Wehrspohn, U. Gosele Self ordering regimes of porous alumina: 10% porosity rule Nano Lett., 2 (7) (2002), pp. 677-680

9. J.W. Diggle, T.C. Downie, C.W. Goulding Processes involved in reattainment of steady-state conditions for the anodizing of aluminum following formation voltage changes J. Electrochem. Soc.: Electrochem. Sci. (1969), pp. 737-740
10. S.J. Garcia-Vergara, P. Skeldon, G.E. Thompson, H. Habazaki A flow model of porous anodic film growth aluminum Electrochim. Acta, 52 (2006), pp. 681-687
11. N. Itoh, K. Kato, T. Tsuji, M. Hongo Preparation of tubular anodic aluminum oxide membrane J. Membr. Sci., 117 (1996), pp. 189-196
12. T.P. Hoar, N.F. Mott A mechanism for the formation of porous anodic oxide films on aluminium J. Phys. Chem. Solids, 9 (1959), p. 97
13. J. Siejka, C. Ortega An O-18 study of field-assisted pore formation in compact anodic oxide films on Al J. Electrochem. Soc., 124 (1977), p. 883
14. J.H. Yuan, F.Y. He, D.C. Sun, X.H. Xia A simple method for preparation of through-hole porous anodic alumina membrane Chem. Mater., 16 (2004), pp. 1841-1844
15. J.H. Yuan, W. Chen, R.J. Hui, Y.L. Hu, X.H. Xia Mechanism of one-step voltage pulse detachment of porous anodic alumina membranes Electrochim. Acta, 51 (2006), pp. 4589-4595
16. J.H. Yuan, W. Chen, J.S. Wu, X.H. Lin, X.H. Xia An environment friendly electrochemical detachment method for porous anodic alumina J. Electroanal. Chem., 600 (2007), pp. 257-264
17. Woo Lee, Sang-Joon Park. Porous anodic aluminum oxide: Anodization

and templated synthesis of functional nanostructures// Chemical Review -2014., -C. 7487-7556.

18. Keller, F., M.S. Hunter, and D.L. Robinson, *Structural Features of Oxide Coatings on Aluminum*. Journal of the Electrochemical Society, 1953. 100(9): p. 411-419

19. А. Н. Кокатев, Структура и свойства композитных покрытий на основе пористых анодных оксидов алюминия и титана модифицированных наночастицами Ag и MnO₂ канд. физ.-мат. наук. —Петрозаводск, 2013. -4. 9

20. Diggle, J.W., T.C. Downie, and C.W. Goulding, *Anodic oxide films on aluminum*. Chemical Reviews, 1969.69(3): p. 365-405.

21. O'Sullivan, J.P. and G.C. Wood, *The Morphology and Mechanism of Formation of Porous Anodic Films on Aluminium*. Proceedings of the Royal Society of London. A. Mathematical and Physical Sciences, 1970. 317(1531): p. 511-543.

22. Hoar, T.P. and N.F. Mott, A mechanism for the formation of porous anodic oxide films on aluminium. Journal of Physics and Chemistry of Solids, 1959. 9(2): p. 97-99.

23. Parkhutik, V.P. and V.I. Shershulsky, *Theoretical Modeling of Porous Oxide-Growth on Aluminum*. Journal of Physics D-Applied Physics, 1992. 25(8): p. 1258-1263.

24. Garcia-Vergara, S.J., et al., A flow model of porous anodic film growth

on aluminium. *Electrochimica Acta*, 2006. 52(2): p. 681-687.

25. G. Ntherschulz, A.; Betz, H. *Z. Phys.* 1934, 92, 367.

26. Verwey, J. W. *Physica* 1935, 2, 1059.

27. Thompson, G. E. *Thin Solid Films* 1997, 297, 192.

28. Thompson, G.E., et al., Nucleation and Growth of Porous Anodic Films on Aluminum. *Nature*, 1978. 272(5652): p. 433-435

29. Krishnan, R., Templated self-assembly of nanoporous alumina: pore formation and ordering mechanisms, methodologies, and applications, in Department of Materials Science and Engineering. 2005, MIT: Cambridge

30. Masuda, H. and K. Fukuda, Ordered Metal Nanohole Arrays Made by a 2-Step Replication of Honeycomb Structures of Anodic Alumina. *Science*, 1995. 268(5216): p. 1466-1468.

31. Chu, S.Z., et al., Fabrication of ideally ordered nanoporous alumina films and integrated alumina nanotubule arrays by high-field anodization. *Advanced Materials*, 2005. 17(17): p. 2115-2119.

32. Lee, W., et al., Fast fabrication of long-range ordered porous alumina membranes by hard anodization. *Nature Materials*, 2006. 5(9): p. 741-747.

33. Ono, S., et al., Controlling factor of self-ordering of anodic porous alumina. *Journal of the Electrochemical Society*, 2004. 151(8): p. B473-B478.

34. Chen, W., J.S. Wu, and X.H. Xia, Porous anodic alumina with continuously manipulated pore/cell size. *Acs Nano*, 2008. 2(5): p. 959-965.

35. Li, Y.B., et al., Fabrication of highly ordered nanoporous alumina films by stable high-field anodization. *Nanotechnology*, 2006. 17(20): p. 5101-5105.
36. Zhang, L.; Cho, H.S.; Li, F.; Metzger, R.M.; Doyle, W.D. Cellular growth of highly ordered porous anodic films on aluminium. *J. Mater. Sci. Lett.* 1998, 17, 291-294.
37. Progress in Nano-Engineered Anodic Aluminum Oxide Membrane Development. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mdpi.com/1996-1944/4/3/487/htm> (дата обращения 14.03.2019)
38. Suh, J.S.; Lee, J.S. Highly ordered two-dimensional carbon nanotube arrays. *Appl. Phys Lett.* 1999, 75, 2047-2049.
39. Ono, S.; Saito, M.; Asoh, H. Self ordering of anodic porous alumina formed in organic acid electrolytes. *Electrochem. Solid-State Lett.* 2004, 7, B21 B24.
40. Zhao, N.-Q.; Jiang, X.-X.; Shi, C.-S.; Li, J.-J.; Zhao, Z.-G.; Du, X.-W. Effects of anodizing conditions on anodic alumina structure, *J. Mater. Sci.* 2006, 42, 3878-3882.
41. Gong, J.; Butler, W.H; Zanari, G. Tailoring morphology in free-standing anodic aluminium oxide: Control of barrier layer opening down to the sub-10 nm diameter. *Nanoscale* 2010, 2, 778-785.
42. Masuda, H.; Satoh, M. Fabrication of gold nanodot array using anodic porous alumina as an evaporation mask. *Jpn. J. Appl. Phys.* 1996, 35, L126-L129.

43. Ghorbani, M.; Nasirpour, F.; Iraji zad, A.; Saedi, A. On the growth sequence of highly ordered nano-porous anodic aluminium oxide. *Mater. Des.* 2006, 27, 983-988.
44. Ono, S.; Uchibori, K.; Asoh, H. Control of nano/microstructure and pit initiation sites on aluminium surface by use of self-assembled spheres. *Surf. Interface. Anal.* 2010, 42, 264-268.
45. Sui, Y.C.; Saniger, J.M. Characterisation of anodic porous alumina by AFM. *Mater. Lett.* 2001, 48, 127-136.
46. Choi, D.H.; Lee, P.S.; Hwang, W.; Lee, K.H.; Park, H.C. Measurement of pore sizes for anodic aluminium oxide (AOA). *Curr. Appl. Phys.* 2006, 6S1, e125-e129.
47. Popat, K.C.; Mor, G.; Grimes, C.; Desai, T.A. Poly (ethylene glycol) grafted nanoporous alumina membranes. *J. Membr. Sci.* 2004, 243, 97-106.
48. Martin, C.R. Membrane based synthesis of nanomaterials. *Chem. Mater.* 1996, 8, 1739-1746.
49. Robinson, A.P.; Burnell, G.; Hu, M.; MacManus-Driscoll, J.L. Controlled, perfect ordering in ultrathin anodic aluminium oxide templates on silicon. *Appl. Phys. Lett.* 2007, 91, 143.
50. Zavadil, K.R.; Ohlhausen, J.A.; Kotula, P.G. Nanoscale void nucleation and growth in the passive oxide on aluminium as a prepitting process. *J. Electrochem. Soc.* 2006, 153, B296-B303.

51. Zhao, Y.; Chen, M.; Zhang, Y.; Xu, T.; Liu, W. A facile approach to formation of through-hole porous anodic aluminium oxide film. *Mater. Lett.* 2005, 59, 40-43.
52. Sulka, G. *Electrochemical Nanostructuring of Aluminium based on Anodizing and a Consecutive Electroplating of Magnetic Material into Plates*; Katholieke Universiteit: Leuven, Belgium, 2003.
53. Xu, T.T.; Piner, R.D.; Ruoff, R.S. An improved method to strip aluminium from porous anodic alumina films. *Langmuir* 2003, 19, 1443-1445.
54. Ye, J.; Yin, Q.; Zhou, Y. Superhydrophilicity of anodic aluminium oxide films: From honeycomb to birds nest. *Thin Solid Films* 2009, 517, 6012-6015.
55. Thompson, G.E.; Xu, Y.; Skeldon, P.; Shimizu, K.; Han, S.H.; Wood, G.C. Anodic oxidation of aluminium. *Philos. Mag. Part B* 1987, 55, 651-667.
56. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 02.12.2019)
57. Правительства РФ от 12.08.98 N 938 (СЗ РФ. 1998. N 33. Ст. 4037).
58. ГОСТ 12.0.003-2015. ССБТ. Опасные и вредные производственные факто-ры. Классификация (дата введения: 01.03.2017).
59. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений (утв. Постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 1 октября 1996 г.).
60. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (дата введения: 01.01.1989).
61. ГОСТ 12.1.003-2014. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности (дата введения: 01.11.2015).

62. ГОСТ 12.1.029-80. ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация (дата введения: 01.07.1981).

63. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки (утв. Постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 31 октября 1996 г.).

64. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий (дата введения: 15.06.2003).

65. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* (дата введения: 08.05.2017).

66. ГОСТ 12.1.019-2017. ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты (дата введения: 01.01.2019).

67. ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов (дата введения: 01.07.1983).

68. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение.

69. ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.

70. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий