

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

Институт: Физико-технический
Направление подготовки: Техническая физика
Кафедра: Экспериментальной физики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
ОСАЖДЕНИЕ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИХ ПЛЁНОК ОКСИДА ТИТАНА С ПОМОЩЬЮ ПЛАЗМЫ МАГНЕТРОННОГО РАЗРЯДА

УДК 539.216.2:661.882:621.793.1

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Д31	Андреева М.А.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. лаб. каф. ЭФ ФТИ	Юрьев Ю.Н.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Верховская М.В.	к.э.н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ПФ	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭФ ФТИ	Кривобоков В.П.	д.ф.-м.н., профессор		

Томск – 2017 г.

**Результаты обучения бакалавров
направления 16.03.01 «Техническая физика»
(профиль «Пучковые и плазменные технологии»)**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Использовать фундаментальные законы природы и естественнонаучных дисциплин, физико-математический аппарат, методы математического анализа, моделирования, оптимизации и статистики для решения задач в различных отраслях технической физики.	Требования ФГОС (ПК-2, 3). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P2	Участвовать в теоретических и экспериментальных исследованиях в различных отраслях технической физики, связанных с современными высокотехнологическими способами обработки материалов, основанными на использовании радиационных и плазменных потоков; самостоятельно осваивать современную физическую аналитическую и технологическую аппаратуру, применять современные методы исследования свойств материалов и различных структур, проводить стандартные и сертификационные испытания технологических процессов, оборудования и изделий, изучать научно-техническую информацию, разрабатывать адекватные физические и математические модели изучаемых объектов.	Требования ФГОС (ПК-4, 10, 11, 12, 13). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P3	Владеть основными методами работы с информацией, самостоятельно работать на компьютере в средах современных операционных систем и наиболее распространенных прикладных программ и программ компьютерной графики, применять современные образовательные и информационные технологии.	Требования ФГОС (ПК-5, 6, 7). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P4	Знать иностранный язык на уровне, позволяющем работать с научно-технической литературой и участвовать в международном сотрудничестве в области технической физики.	Требования ФГОС (ПК-8). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P5	Участвовать в производственно-технологической деятельности, определять основные параметры технологических процессов, анализировать свойства физико-технических объектов, изделий и материалов, применять современные информационные технологии, пакеты прикладных программ для расчета технологических параметров, обосновывать принятие конкретного технического решения при разработке технологических процессов и изделий.	Требования ФГОС (ПК-14, 15, 17). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P6	Использовать нормативные документы по качеству, стандартизации и сертификации изделий, элементы экономического анализа производственно-технологических циклов, знать и выполнять правила техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и нормы охраны труда.	Требования ФГОС (ПК-16, 18). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P7	Участвовать в проектно-конструкторской деятельности, разрабатывать функциональные и структурные схемы элементов и узлов экспериментальных и промышленных электрофизических установок, реализующих современные пучковые и плазменные технологии, проектировать	Требования ФГОС (ПК-19, 20). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
	технологические процессы и оборудование с использованием современных информационных технологий.	EUR-ACE и FEANI
P8	Участвовать в организационно-управленческой деятельности, уметь работать в команде и организовывать работу исполнителей, находить и принимать управленческие решения.	Требования ФГОС (ОК-3, ПК-21, 22, 23). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P9	Внедрять и коммерциализировать результаты исследований и проектно-конструкторских разработок, уметь оценивать инновационный потенциал новой продукции в области современных технологий, основанных на использовании радиационных и плазменных потоков.	Требования ФГОС (ПК-21, 22, 23, 24). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
<i>Универсальные компетенции</i>		
P10	Осознавать социальную значимость своей профессии, развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, в течение всей жизни самостоятельно обучаться новым методам исследований, пополнять свои знания в области современной технической физики и смежных наук, расширять и углублять свое научное мировоззрение, повышать свою квалификацию и мастерство, поддерживать здоровый образ жизни	Требования ФГОС (ОК-1, 2, 6, ПК-1). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P11	Свободно и грамотно пользоваться русским и иностранными языками как средством делового и профессионального общения, владеть навыками публичной дискуссии, создавать и редактировать тексты профессионального назначения.	Требования ФГОС (ОК-2). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P12	Уметь критически переосмысливать свой накопленный социальный и профессиональный опыт, изменять при необходимости профиль своей профессиональной деятельности, следовать этическим и правовым нормам и нести ответственность за последствия своей профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-5, 7, ПК-3). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

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

Физико-технический институт
Направление подготовки: 16.03.01 Техническая физика
Кафедра: Экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
ОД31	Андреевой Марине Андреевне

Тема работы:

Осаждение фотокаталитических плёнок оксида титана с помощью плазмы магнетронного разряда	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<ol style="list-style-type: none">1. Вакуумно-плазменная установка.2. Магнетронная распылительная система дискового типа с титановым катодом ВТ1-0.3. Униполярные источники питания APEL-M-10PDC и MPS 3-5-9-600-PC.4. Спектрофотометр СФ-20005. Эллипсомер «Эллипс-1891»
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none">1. Аналитический обзор литературных источников с целью обобщения актуального состояния исследования по получению фотокаталитических покрытий на основе оксида титана.2. Постановка цели и задач научного исследования.3. Исследование влияния режимов осаждения на свойства получаемых покрытий.4. Измерение зависимости фотокаталитических свойств плёнок оксида титана от режимов осаждения.5. Обсуждение результатов проведенных исследований.

	6. Заключение по проделанной работе.
Перечень графического материала	<ol style="list-style-type: none"> 1. Осаждение фотокаталитических плёнок оксида титана с помощью плазмы магнетронного разряда; 2. Актуальность; 3. Цель и задачи; 4. Экспериментальное оборудование; 5. Гистерезисные характеристики разряда; 6. Оптические свойства и скорость осаждения плёнок; 7. Ширина запрещённой зоны для TiO₂; 8. Фотокаталитические свойства плёнок; 9. Заключение.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент кафедры менеджмента, к.э.н, Верховская М.В.
Социальная ответственность	Ассистент кафедры прикладной физики, к.ф.-м.н, Гоголева Т.С.

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

<ol style="list-style-type: none"> 1. Применение и получение тонких плёнок оксида титана; 2. Экспериментальное оборудование и методики исследований; 3. Осаждение фотокаталитических плёнок оксида титана; 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; 5. Социальная ответственность.
--

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. лаб. каф. ЭФ ФТИ	Юрьев Ю.Н.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОД31	Андреева М.А.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
ОД31	Андреевой Марине Андреевне

Институт	ФТИ	Кафедра	ЭФ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	16.03.01 Техническая физика/Пучковые и плазменные технологии

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

<p>1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i></p> <p>2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i></p> <p>3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i></p>	<p>Использование информации, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах и изданиях, нормативно-правовых документах, а именно:</p> <p>1.«Налоговый кодекс Российской Федерации (часть первая)» от 31.07.1998 № 146-ФЗ (ред. От 30.11.2016) (с изм. и доп., вступ. В силу с 01.01.2017)</p> <p>2.«Налоговый кодекс Российской Федерации (часть вторая)» от 05.08.2000 № 147-ФЗ</p> <p>3.ГОСТ 14.322-83 Нормирование расхода материалов. Основные положения</p> <p>4.ГОСТ Р 51750-2001 Энергосбережение. Методика определения энергоемкости при производстве продукции и оказании услуг в технологических энергетических системах. Общие положения</p> <p>5.ГОСТ Р 54097-2010 Ресурсосбережение. Наилучшие доступные технологии. Методология идентификации.</p>
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i></p> <p>2. <i>Определение возможных альтернатив проведения научных исследований</i></p> <p>3. <i>Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски.</i></p>	<p>1. Потенциальные потребители результатов исследования</p> <p>2. Анализ конкурентных технических решений</p> <p>3. Выполнение SWOT-анализа проекта.</p> <p>1.Определение трудоемкости выполнения работ</p> <p>2. Разработка графика проведения научного исследования.</p> <p>3. Бюджет научно – технического исследования (НИИ)</p> <p>3.1. Расчет материальных затрат НИИ</p> <p>3.2. Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ</p> <p>3.3. Основная заработная плата исполнителей темы</p> <p>3.4. Отчисления на социальные нужды.</p> <p>3.5. Накладные расходы</p> <p>3.6. Формирование бюджета затрат научно – исследовательского проекта.</p>
<p>4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности.</i></p>	<p>Проведение оценки экономической эффективности исследования.</p>

Перечень графического материала:

1. *Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)*
2. *Матрица SWOT*
3. *Оценка готовности проекта к коммерциализации*
4. *Календарный план-график и бюджет НИИ*
5. *Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ*
6. *Сравнительная эффективность разработки*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Верховская Марина Витальевна	к.э.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Д31	Андреева Марина Андреевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
ОД31	Андреевой Марине Андреевне

Институт	ФТИ	Кафедра	ЭФ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	16.03.01 Техническая физика

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения:</p>	<ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (микроклимат, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующее излучение, работа с газовым баллоном); – опасных проявлений факторов производственной среды (электрической, пожарной и взрывной природы).
<p>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</p>	<ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность; – пожаробезопасность; – требования охраны труда при работе на ПЭВМ; – требование безопасности при работе на установке; – работа с газовым баллоном.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p>	<ul style="list-style-type: none"> – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью; – предлагаемые средства защиты.
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности:</p>	<ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	20.04.17
---	----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ПФ ФТИ	Гоголева Татьяна Сергеевна	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОД31	Андреева Марина Андреевна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 98 страниц, 24 рисунков, 25 таблиц, 43 источников.

Ключевые слова: оксид титана, магнетронные распылительные системы (MPC), реактивное магнетронное распыление, фотокаталитическая активность, показатель преломления.

Объектом исследования являются плёнки оксида титана, полученные с помощью MPC.

Цель работы - исследование влияния режимов осаждения на фотокаталитические свойства тонкоплёночных покрытий на основе оксида титана.

В процессе работы проводились: экспериментальные исследования работы магнетронных распылительных систем в среде смеси газов (аргон, кислород), получение покрытий оксида титана, измерялись оптические и фотокаталитические характеристики плёнок.

Область применения данного покрытия: в оптике для нанесения на экраны мониторов, окна, зеркала; в медицине в качестве бактерицидных покрытий; в экологии для очистки воды и воздуха.

Оглавление

Введение.....	13
Глава 1. Применение и получение тонких плёнок оксида титана	15
1.1 Принцип действия фотокатализатора на основе оксида титана	15
1.2 Фотокаталитические плёнки TiO ₂	17
1.3 Химическое осаждение из паровой фазы.....	20
1.4 Магнетронная распылительная система.....	23
1.4.1 Работа МРС с реактивным газом.....	27
Глава 2. Экспериментальное оборудование и методики исследований.....	30
2.1 Экспериментальная установка	30
2.2 Ионный источник с замкнутым дрейфом электронов	32
2.3 Планарный магнетрон	33
2.4 Методика получения тонких плёнок	35
2.5 Измерение фотокаталитических свойств	36
2.6 Определение ширины запрещенной зоны.....	37
2.7 Измерение показателя преломления и толщины плёнки	38
2.8 Измерения коэффициента пропускания.....	40
Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	43
4.1 Предпроектный анализ.....	43
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	43
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	44
4.1.3 SWOT-анализ.....	46
4.2 Планирование научно-исследовательских работ	50
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	50
4.2.2 Разработка графика проведения научного исследования	51
4.3 Бюджет научного исследования.....	53
4.3.1 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты.....	54

4.3.2 Амортизационное начисление на специальное оборудование для научных работ.....	55
4.3.3 Основная заработная плата	56
4.3.4 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала.....	58
4.3.5 Отчисления на социальные нужды.....	59
4.3.6 Накладные расходы.....	59
4.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	59
4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	60
Глава 5. Социальная ответственность.....	65
5.1 Анализ вредных факторов производственной среды	66
5.2 Организационные мероприятия при работе на вакуумной установке и ПЭВМ.....	67
5.2.1 Правила безопасной работы на вакуумной установке	67
5.2.2 Организация рабочего места оператора ПК.....	69
5.3 Условия безопасной работы	71
5.4 Электробезопасность.....	74
5.5 Пожарная и взрывная безопасность.....	75
Заключение	78
Список публикаций.....	81
Список используемой литературы	82

Введение

На сегодняшний день тонкоплёночные покрытия из оксида титана представляют повышенный интерес, который связан их с широким применением в оптике, медицине, экологии и т.д. [1]. Благодаря фотокаталитическим свойствам оксида титана, различные изделия с нанесённым на их поверхность покрытием приобретают функцию самоочищения. Например, керамическая плитка, оконное стекло и много другое дольше не загрязняются и, более того, проявляют бактерицидность, что особенно актуально для медицинских учреждений [2].

Одним из наиболее перспективных направлений применения плёнок оксида титана является создание тонкоплёночных фильтров для очистки воды и воздуха, принцип действия которых основан на фотокаталитическом эффекте, который способствует тому, что органическое загрязнение, находящееся на поверхности фотокатализатора, под действием света распадается на безопасные и легко удаляемые компоненты [3]. Так же покрытия из TiO_2 перспективны для промышленного катализа, преобразователей солнечной энергии, ликвидации загрязнений водных объектов, химической промышленности [1].

Тем не менее, в настоящее время отсутствует общепринятый метод осаждения оксида титана, который позволяет получать прозрачные в видимом спектре света покрытия с высокой фотокаталитической активностью.

Методы получения фотокаталитических плёнок условно можно разделить на две группы – химические и физические.

Среди химических методов наибольшее распространение получило химическое газофазное осаждение (CVD – Chemical Vapor Deposition). Однако этому методу свойственны некоторые недостатки: сравнительно небольшая обрабатываемая площадь, высокая температура, химически агрессивная среда и т.д., которые ограничивают их практическое применение [4].

Более важными для нас являются физические методы получения плёнок оксида титана. Метод физического осаждения из паровой фазы (PVD – Physical

Vapor Deposition), основан на распылении или испарении вещества мишени с последующим его осаждением на подложке. Но этим методом не всегда можно обеспечить хорошую равномерность плёнки по толщине на подложках большой площади [5].

В данный момент времени самым распространенным физическим методом получения покрытий оксида титана является магнетронное распыление.

Но, распыление титана в среде, содержащей кислород, приводит к ряду проблем, которые делают процесс осаждения нестабильным. Это приводит к существенному ухудшению качества получаемых плёнок [2]. Одним из таких негативных эффектов является гистерезис параметров магнетронного разряда. В зависимости от того, в какой точке на гистерезисной кривой работает магнетрон, во многом будут, зависеть параметры покрытий оксида титана.

Однако, фазовый состав и, как следствие, фотокаталитические свойства тонких плёнок оксида титана сильно зависят от условий процесса осаждения.

Таким образом, **цель работы** состоит в исследовании влияния режимов осаждения на фотокаталитические свойства тонкоплёночных покрытий на основе оксида титана.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Изучить современные исследования в области получения тонкоплёночных фотокатализаторов на основе оксида титана;
2. Исследовать влияние различных параметров (источники питания, поток кислорода, давление в рабочей камере и т.д.) на работу МРС при распылении титана в присутствии кислорода;
3. Получить образцы покрытий оксида титана при различных режимах работы МРС;
4. Исследовать оптические и фотокаталитические свойства плёнок TiO_2 .

Глава 1. Применение и получение тонких плёнок оксида титана

1.1 Принцип действия фотокатализатора на основе оксида титана

Тонкие плёнки оксида титана (TiO_2) обладают целым набором замечательных физических свойств:

- высокая диэлектрическая постоянная;
- механическая и химическая стабильности;
- хорошие изоляционные свойства.

Благодаря высоким значениям показателя преломления и оптического коэффициента пропускания света в видимом диапазоне, TiO_2 используется в качестве материала для просветляющих покрытий и защитных слоев в оптических покрытиях. Покрытия такого рода дольше не загрязняются и, более того, проявляют бактерицидность, что особенно актуально для медицинских учреждений.

Материалы с TiO_2 покрытиями применяются в фильтрах для очистки воды и воздуха от органики и перспективны для промышленного катализа, преобразователей солнечной энергии и химической промышленности [1].

Фотокаталитический эффект основан на возбуждение химических реакций на поверхности фотокатализатора под действием ультрафиолетовой части спектра света. В результате чего загрязнение, находящееся на поверхности плёнки оксида титана распадается на легко удаляемые компоненты.

Принцип действия фотокатализатора изображен на рисунке 1.1.

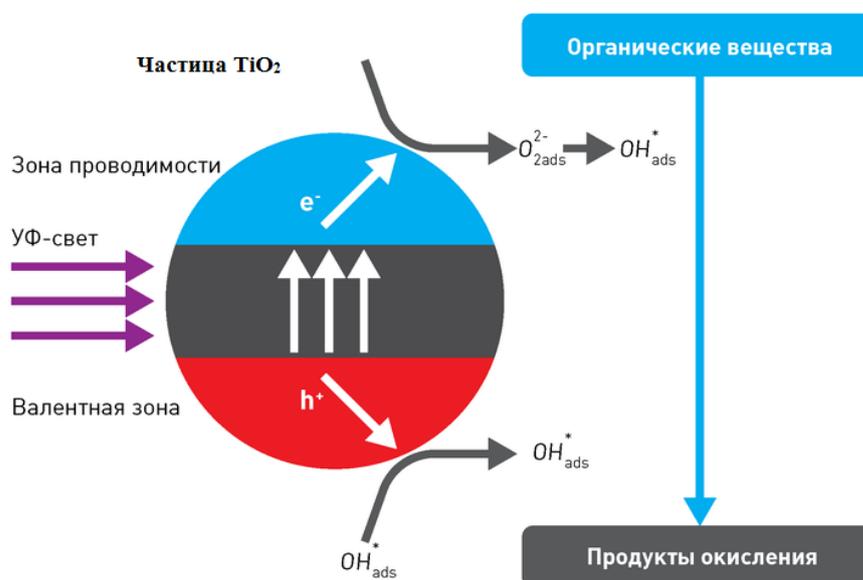


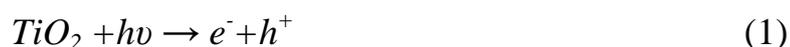
Рисунок 1.1 – Схематическое изображение процессов, идущих на полупроводниковой частице [6].

Оксид титана является полупроводниковым соединением. В таких соединениях электроны могут находиться в свободном и связанном состояниях.

В свободном состоянии электроны движутся по кристаллической решётке, образованной катионами титан Ti^{4+} и анионами кислорода O_2 . В связанном состоянии электроны взаимодействуют с каким-либо ионом кристаллической решетки и участвуют в образовании химической связи.

Электрон из связанного состояния может перейти в свободное, для этого ему необходимо затратить энергию не менее 3,2 эВ. Эту энергию могут доставить кванты света с длиной волны $\lambda < 390$ нм. При поглощении света в объеме частицы TiO_2 рождаются свободный электрон и электронная вакансия (т.е. дырка h) [2].

Инициирование фотокаталитического окисления можно представить следующим образом [7]:



Электрон и дырка, достаточно подвижные образования и, они двигаются по полупроводнику. Некоторые из них рекомбинируют, а другая часть выходит на поверхность, и удерживаются ею. Захваченные поверхностью электрон и

дырка являются вполне конкретными химическими частицами. Например, электрон — это, вероятно, Ti^{3+} на поверхности, а дырка локализуется на решетчатом поверхностном кислороде, образуя $O^{\cdot -}$. Таким образом, на поверхности оксида образуются чрезвычайно реакционноспособные частицы.

В терминах окислительно-восстановительных потенциалов реакционная способность электрона и дырки на поверхности TiO_2 характеризуется следующими величинами: потенциал электрона $\sim -0,1$ В, потенциал дырки $\sim +3$ В относительно нормального водородного электрода.

Другими словами, электрон способен реагировать с кислородом, образуя последовательность реакций, показанных на рисунке 1.2.

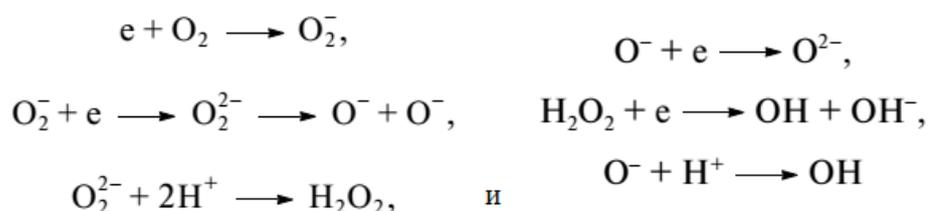


Рисунок 1.2 – Последовательность реакций электрона с кислородом [2].

Таким образом, могут образовываться мощные окислители, такие как $O^{\cdot -}$ и $OH^{\cdot -}$ радикал, способные окислить практически любое органическое соединение. Исходя из этого, поверхность TiO_2 под действием света становится сильнейшим окислителем [2].

1.2 Фотокаталитические плёнки TiO_2

Важным параметром, по которому судят о качестве фотокаталитических плёнок оксида титана, является их фазовый состав. Как известно, что он бывает в трех кристаллических модификациях: анатаз, рутил и брукит. Последняя фаза является наименее устойчивой и трудно получаемой, из-за чего не нашла практического применения.

По литературным данным можно сказать, что одни исследователи считают фазу анатаза наиболее подходящим для высокой фотокаталитической активности [8,9]. Другие утверждают, что смесь рутила (30-25 %) и анатаза (70-75 %) является более активным фотокатализатором, чем чистый анатаз [10].

Факторами, которые оказывают наибольшее влияние на качество получаемых плёнок, являются интегральное и парциальное давление кислорода, общее давление в рабочей камере, температура подложки, влияние плазмы на растущую плёнку и т.д.

В работе [11] подробно исследовано влияние интегрального и парциального давления кислорода на фазовый состав плёнок (рис.1.3).

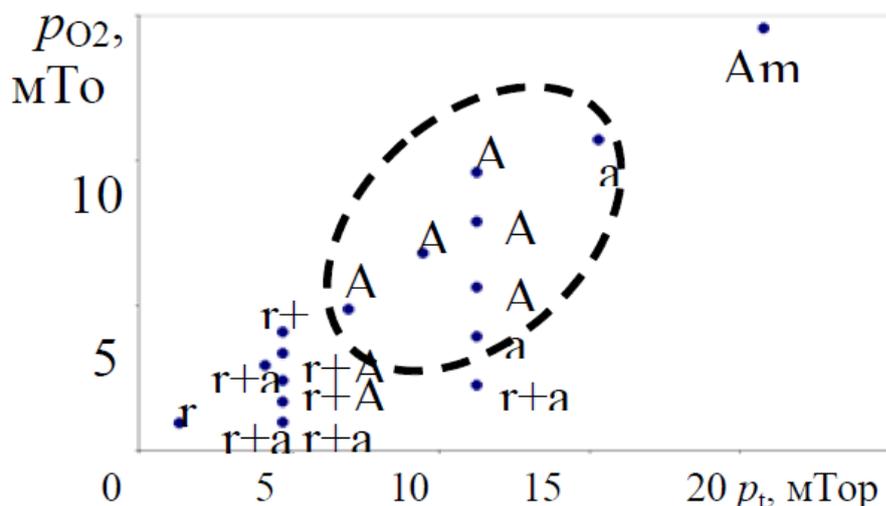


Рисунок 1.3 – Зависимость фазового состава плёнок оксида титана от парциального давления кислорода и интегрального давления: Am – аморфная фаза, A и a – анатаз (высокая и низкая степень кристалличности, R – рутил [11].

Авторы данной работы выявили, что если интегральное давление и парциальное давление кислорода не высокое, то преимущественно образуется смесь фаз рутила и анатаза, тогда как по мере их повышения (более 1×10^{-2} Тор) и увеличение содержания кислорода образуется преимущественно анатаз. Фазовое преобразование в плёнке TiO_2 от рутила к анатазу ведет к увеличению фотокаталитической активности. Плёнки рутила, изготовленные при более

низких давлениях, характеризуются очень низкой эффективностью разложения. При этом наиболее высокие показатели фотокаталитической активности были получены в плёнках, выделенных на рисунке 1.3 пунктирной линией [11].

Авторы работы [12] установили, что соотношение между фазами зависит от парциального давления кислорода и от температуры подложки (рис. 1.4).

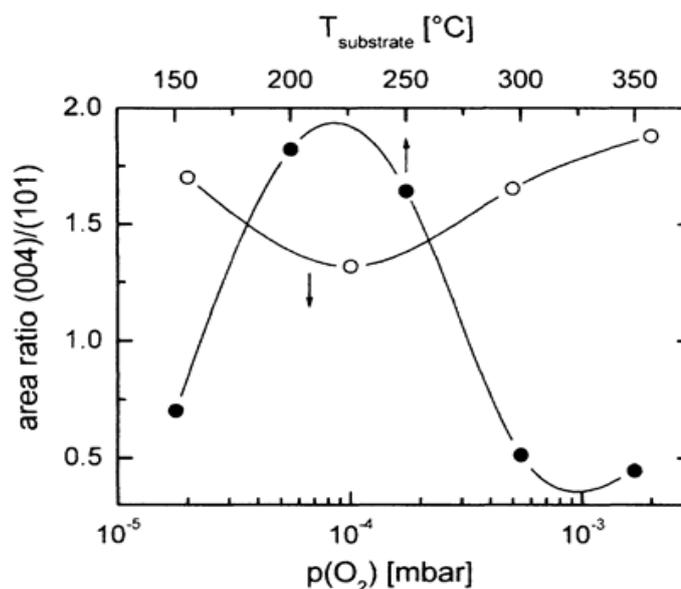


Рисунок 1.4 – Зависимость кристаллической структуры плёнок TiO_2 от давления кислорода и температуры подложки [12].

Из рисунка 1.4 можно сказать, что относительная доля кристаллитов анатаза с плоскостями (004) при увеличении давления кислорода растёт, а при температуре подложки 200-250 °C имеет максимум кристаллитов анатаза с плоскостями (004).

Существуют несколько путей увеличения содержания анатаза в плёнках TiO_2 . Один из них это отжиг плёнок при высоких температурах, который можно проводить как при синтезе покрытия, так и после него. Однако температура, при которой достигалась максимальная степень содержания анатаза, составляла 700°C. Такой режим осаждения не подходит для подложек с невысокой температурой плавления [13].

Методы получения фотокаталитических плёнок условно можно разделить на две группы – химические и физические. Ниже рассмотрим, как метод получения оксида титана влияет на фотокаталитические свойства этих плёнок.

1.3 Химическое осаждение из паровой фазы

Химическое осаждение из газовой фазы это метод получения тонких плёнок при помощи высокотемпературных химических реакций разложения или взаимодействия газообразных прекурсоров на подложке.

Метод химического осаждения практически не имеет ограничений по химическому составу покрытий. Все присутствующие частицы могут быть осаждены на поверхность материала. Какие покрытия при этом образуются, зависит от комбинации материалов и параметров процесса. Если он протекает при заполнении пространства реакционным газом (кислородом, азотом или углеводородом), то происходит нанесение оксидных, нитридных и карбидных покрытий. При этом происходит химическая реакция между атомами осаждаемых металлов и молекулами реакционного газа. Состав покрытия зависит от парциального давления реакционного газа и скорости осаждения покрытия. При химическом осаждении происходят химические реакции на или около поверхности покрываемого материала [14].

При процессе CVD в камеру покрытия подается смесь газов. Для протекания необходимых химических реакций требуется температура до 1100°. Это необходимое условие существенно ограничивает число материалов, на которые можно нанести покрытие методом CVD. Если твердые сплавы выдерживают такой нагрев практически без последствий, то термообработанные быстрорежущие стали теряют все свои свойства в результате отпуска.

Схема реактора для химического осаждения тонких плёнок представлена на рис. 1.5.

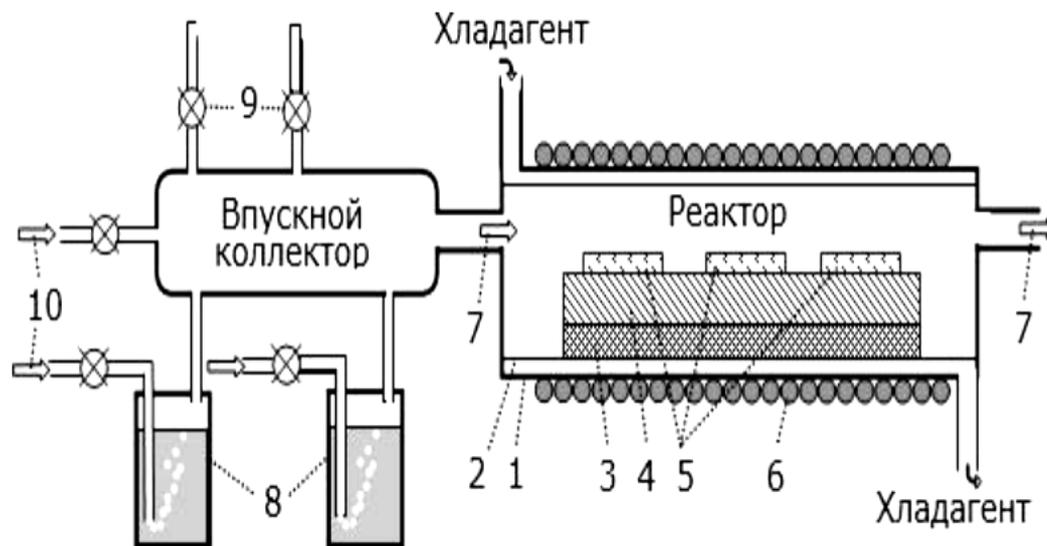


Рисунок 1.5 – Схема реактора для химического осаждения тонких плёнок:

- 1 – внешняя кварцевая труба; 2 – внутренняя кварцевая труба;
- 3 – теплоизолятор; 4 – металлическая плита; 5 – подложка; 6 – катушка;
- 7 – газовая смесь; 8 – барботеры; 9 – клапаны; 10 – газ-носитель [15].

Процессы CVD происходят в вакууме при давлениях между 50 и 1000 Па. В результате обеспечивается нанесение покрытия на всю поверхность изделия. Для получения одинаковых свойств во всем объеме камеры покрытия (особенно большой) необходимо обеспечить оптимальные потоки газа. Для этого применяется специальная система подачи газа, так называемый газовый душ. Установки CVD, как правило, имеют довольно большой размер.

Технология формирования слоёв химического осаждения проводят в проточном реакторе, состоящем из внешней (1) и внутренней (2) кварцевой трубы. Сквозь пространство между ними прокачивают хладагент, обычно холодную воду. Внутри реактора на теплоизоляторе (3) устанавливают металлическую плиту (4), на которую крепят подложки (5). Плиту и подложки нагревают высокочастотным полем через катушку (6). Сквозь внутренний объём реактора продувают газовую смесь (7). Она образуется во впускном коллекторе, в который поступают пары жидких реактивов от барботеров (8) или

газообразные реактивы – через впускные клапаны (9), а также газ-носитель (10) [15].

Для получения фотокаталитических плёнок оксида титана применяют разные виды газофазных методов. Некоторые результаты получения плёнок TiO_2 с их помощью приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Результаты химических газофазных методов получения плёнок TiO_2 .

Метод осаждения	$P_{общ},$ Па	$T_{подложки},$ К	Толщина, нм	Структура	Примечание
Химическое газофазное осаждение (CVD) [16]	31	600	160	A	Скорость осаждение не выше 11 нм/мин
Химическое газофазное осаждение, активированное плазмой (PECVD) [17]	50	-	50-200	Am+a	После отжига при 900 °C наблюдается фаза R
Химическое газофазное осаждение из металлоорганического соединения (MOCVD) [18]	600	573	100	a	После отжига при 1373 °C наблюдается фаза R

Примечание: Am – аморфная фаза, A и a – анатаз (высокая и низкая степень кристалличности, R – рутил.

Результаты из таблицы 1.1 свидетельствуют о том, что температура подложки, общее давление в камере оказывают значительное влияние на фазовый состав плёнок оксида титана.

Эти методы имеют ряд преимуществ, таких, как возможность получать высокоплотные и чистые материалы. Так же процесс осаждения плёнок осуществляется в относительно дешевом оборудовании, и позволяет наносить покрытия на детали любой формы.

Недостаток данных методов — химическая и пожарная опасность, обусловленная токсичностью, коррозионной агрессивностью, горючестью и взрывоопасностью газового прекурсора.

Относительную трудность представляет также осаждение многокомпонентных материалов со строго контролируемой стехиометрией, что связано с различием в скоростях испарения используемых прекурсоров .

В связи с этим, особое внимание исследователей направлено на изучение физических методов осаждения плёнок оксида титана.

1.4 Магнетронная распылительная система

В настоящее время самым распространенным физическим методом получения покрытий оксида титана является магнетронное осаждение, действие которого основано на распылении материала катода при его бомбардировке ионами рабочего газа, образующимися в плазме аномального тлеющего разряда [19].

Принцип работы МРС заключается в следующем. Магнитное поле, создаваемое магнитной системой, захватывает и удерживает электроны, которые находятся в остаточной атмосфере вакуумной камеры при давлениях 10^{-3} - 10^{-5} Па. После подачи электрического смещения вблизи поверхности мишени возникает ловушка из полей.

В области ловушки электроны задерживаются и, двигаясь в ней по сложным траекториям, успевают провести несколько актов ионизации частиц рабочего газа [20]. Конструкция магнетронного распылителя представлена на рис. 1.6.

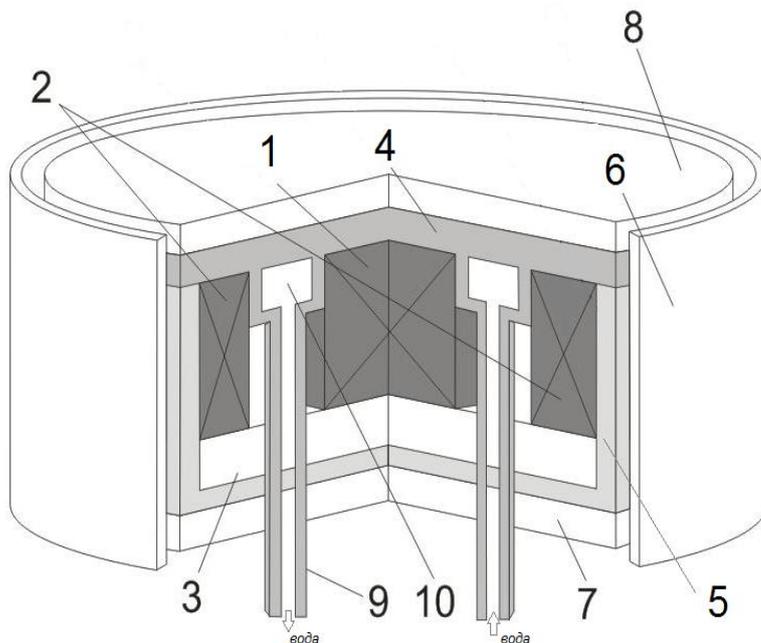


Рисунок 1.6 – Конструкция магнетронного распылителя:

1 – центральный магнит; 2 – периферийные магниты; 3 – магнитопровод; 4 – медный радиатор; 5 – корпус; 6 – экран-анод; 7 – изолятор; 8 – мишень (катод); 9 – токовод-штуцер подачи воды; 10 – кольцевой канал охлаждения [21].

Одновременно в магнитной ловушке происходит увеличение количества ионов, создающих над поверхностью мишени положительный заряд, вследствие чего возрастает интенсивность бомбардировки зоны эрозии мишени. Этот положительный заряд является виртуальным анодом, и практически всё падение приложенного к катоду потенциала происходит в пространстве между ним и мишенью.

В этой области под действием электрического поля происходит ускорение ионов. Короткое расстояние и большая масса обеспечивают движение ионов к мишени по прямолинейным траекториям. Сталкиваясь с

поверхностью, они выбивают из нее атомы и инициируют выход вторичных электронов.

За счет локализации плазмы у поверхности катода имеет место большая удельная мощность, рассеиваемая на мишени, а также плотность ионного тока. Это позволяет достигать достаточно существенных скоростей осаждения и низких рабочих давлений, что обеспечивает более чистые плёнки [22]. Для охлаждения мишени внутрь корпуса МРС подается вода.

Преимуществами МРС являются:

- высокие скорости нанесения покрытия (более чем в десять раз по сравнению с катодным распылением);
- невысокие тепловые нагрузки на подложку, что важно при нанесении покрытий на полимерные подложки;
- возможность нанесения покрытий сложного состава из сплавов;
- возможность нанесения покрытий в среде реактивного газа (оксиды, нитриды, карбиды);
- возможность нанесения покрытия с хорошей воспроизводимостью по толщине и составу на подложки больших размеров (эта особенность МРС определяет их подавляющее преимущество перед остальными системами при нанесении покрытий на рулонные и листовые материалы);
- возможность использовать МРС в технологических линиях с непрерывным нанесением покрытий, за счет большого запаса материала в распыляемом катоде (время напыления от 5 до 20 дней).

К недостаткам магнетронных распылительных систем следует отнести:

- нестабильность реактивных процессов при нанесении оксидов нитридов и карбидов металлов и, как следствие, необходимость применения сложных систем контроля и управления разрядом.

Все МРС можно разделить на группы по следующим признакам:

1. По типу питания диода (на постоянном токе, импульсным униполярным током, импульсным переменным током, высокочастотным током);

2. По форме мишени (плоские, цилиндрические, конические и т.д.);

3. По типу магнитной системы (на постоянных магнитах, на электромагнитах, сбалансированные и несбалансированные) и т.д.

Влияние параметров источника питания магнетронной распылительной системы (МРС) и температуры подложки на фазовый состав покрытий было исследовано многими авторами и обобщено в работе [11]. Результаты этого анализа представлены в табл. 1.2.

Таблица 1.2 – Зависимость фазового состава плёнок TiO_2 от условий осаждения.

Метод осаждения	$P_{общ},$ мТор	$P_{O_2},$ мТор	$T_{подл},$ °C	Структура	Толщина, нм
Реактивное распыление на постоянном токе [23]	0,1	0,1	-	A + r	25-35
Импульсное реактивное магнетронное распыление [24]	3,75	-	200	A	100-200
Магнетронное ВЧ распыление [25]	10	1	300	Am	-

Примечание: Am – аморфная фаза, A и a – анатаз (высокая и низкая степень кристалличности, r– рутил.

Проведенные исследования свидетельствуют о том, что температура подложки, парциальное давление кислорода и общее давление в камере оказывают значительное влияние на фазовый состав плёнок оксида титана и их фотокаталитическую активность [11].

1.4.1 Работа МРС с реактивным газом

Процесс реактивного магнетронного распыления (при использовании O_2 в качестве реактивного газа) условно можно поделить на три составляющие: металлический режим, переходная область, оксидный режим.

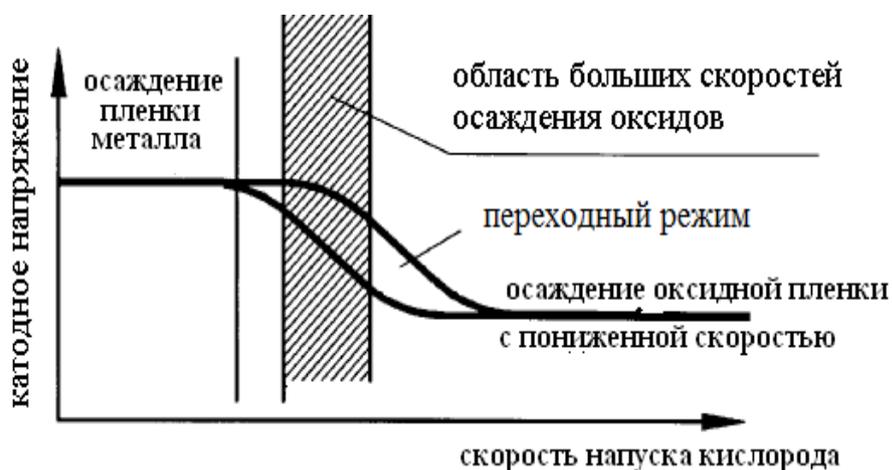


Рисунок 1.7 - Зависимость напряжения на катоде от напуска кислорода в камеру при постоянной мощности разряда

Большой интерес представляет переходный режим. В таком режиме происходит процесс напыления оксида металла с высокой скоростью. Но распыление в этой области приводит к ряду проблем, которые делают процесс осаждения нестабильным.

Это приводит к существенному ухудшению качества получаемых плёнок. Одним из таких эффектов является гистерезис параметров магнетронного разряда. Гистерезисные характеристики в реактивном магнетронном разряде возникают вследствие разности свойств исходного материала мишени и его соединения с реактивным газом, в частности из-за

различий в коэффициенте распыления чистого металла и его окисла. Поэтому так важны данные о коэффициентах распыления окислов на поверхности мишени и их соотношения с коэффициентами распыления исходного материала мишени. Гистерезис разряда зависит как от количества кислорода в камере, так и от параметров источника питания.

Процесс осаждения возможен лишь в том случае, когда реализуется стабилизация работы магнетрона в рабочей точке. На рис.1.8 представлен гистерезис парциального давления кислорода при распылении титана в среде Ar/O₂ при управлении расходом газа.

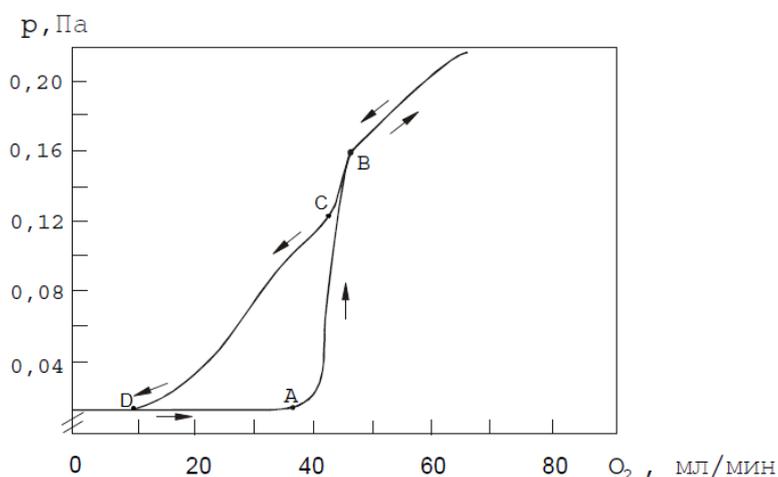


Рисунок 1.8 – Гистерезис парциального давления кислорода при распылении Ti в среде Ar/O₂ при управлении расходом газа [26].

Парциальное давление кислорода остается практически неизменным до точки A, весь поступающий O₂ расходуется на образовании оксидной пленки на мишени, стенках камеры, откачивается вакуумной системой. При этом на начальном отрезке (до точки A) мишень остается чистой от окислов. Участок АВ описывает резкое окисление мишени, что приводит к уменьшению скорости её распыления. Снижается скорость поглощения кислорода растущей пленкой, поэтому при заданной скорости потока кислорода в камеру происходит скачкообразное изменение значения его парциального давления до значения в

точке В. Дальнейший рост парциального давления O_2 в камере в основном определяется скоростью откачки, мишень полностью окислена.

При уменьшении потока кислорода до значения в точке В парциальное давление в камере остаётся такой же как и при увеличении потока кислорода. Очистка мишени от окисла происходит с некоторой задержкой, что видно по значению потоков O_2 в камеру на участке CD, при которых происходит выход работы магнетрона в металлический режим. Несовпадение скоростей потока O_2 в камеру при уменьшении его потока (CD) со скоростью потока, при которой мишень окисляется (AB), отражает инерционный характер процесса очистки мишени.

Как отмечалось ранее, осаждение пленки оксида в переходном режиме наиболее выгодно, т.к. достигаются высокие скорости осаждения пленок химических соединений. Однако столь резкий переход состояния мишени при контроле по потоку реактивного газа не позволяет использовать переходную область для осаждения пленки оксида. Таким образом, при контроле количества кислорода в рабочей камере по значению скорости его потока стабильность работы магнетрона достигается только в случае металлического и оксидного режимов. Точка В - оптимальная рабочая точка с позиции технологического процесса: происходит осаждение оксидной пленки при минимальном парциальном давлении O_2 [27]. В зависимости от того, в какой точке на гистерезисной кривой работает магнетрон, во многом зависят параметры покрытий оксида титана.

Глава 2. Экспериментальное оборудование и методики исследований

2.1 Экспериментальная установка

Экспериментальная вакуумная установка предназначена для осуществления процесса ионной очистки подложек и напыления тонких плёнок.

Управление работой установки осуществляется в полуавтоматическом режиме.

Общий вид установки представлен на рисунке 2.1.



Рисунок 2.1. – Общий вид экспериментальной установки.

Она состоит из рабочей камеры ($0,1 \text{ м}^3$), системы газовой подачи, системы управления и питания установки, вакуумной системы (ВС); магнетронной распылительная система, ионного источника с замкнутым дрейфом электронов.

Система управления служит для контроля и управления работой вакуумной системы, ионно-плазменных устройств по нанесению покрытий на образцы.

Вакуумная схема собрана по стандартной схеме получения высокого вакуума на базе турбомолекулярного насоса.

ВС включает в себя (рис.2.2):

- турбомолекулярный насос;
- пластинчато-роторный насос;
- магистраль откачки турбомолекулярного насоса;
- вакуумный клапан.

Пластинчато-роторный насос служит для форвакуумной откачки турбомолекулярного насоса и предварительной откачки рабочей камеры.

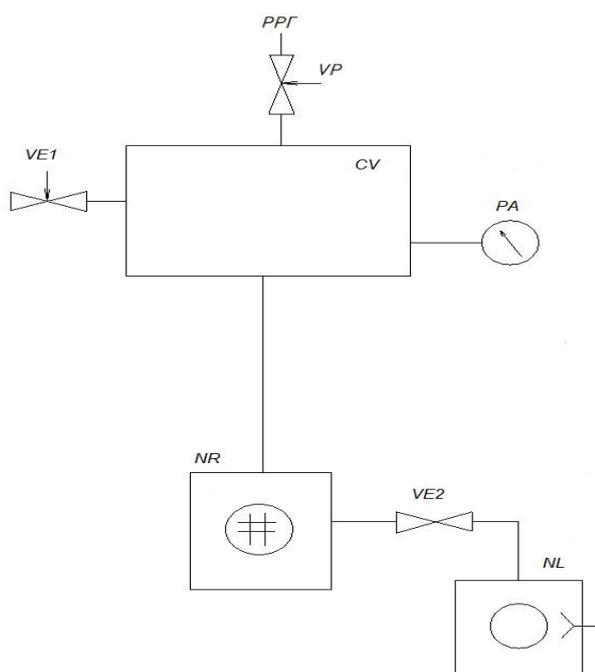


Рисунок 2.2 – Схема вакуумной установки: CV – вакуумная камера, PA – вакуумметр, VE2 – клапан, NR – турбомолекулярный насос, NL – пластинчато-роторный насос, VE1 – натекатель, VP – натекатель (регулятор расхода газа – PПГ).

Установка оборудована системой движения столика для обеспечения перемещения подложек внутри вакуумной камеры.

2.2 Ионный источник с замкнутым дрейфом электронов

Ионный источник с замкнутым дрейфом электронов (рис. 2.3) используется для очистки поверхности подложки непосредственно перед осаждением тонкопленочных структур.

Главная особенность такого рода устройств заключается в близости рабочих давлений с областью работы магнетронных источников плазмы и наличии электронной ловушки для формирования разряда плазмы. Образование электронной ловушки, так же как и в МРС, происходит за счет наличия скрещенных электрического и магнитного полей.

При подаче положительного потенциала на анод, возникает разряда между электродами, катод имеет отрицательный потенциал. Ионы газа ускоряются в межэлектродном промежутке, образуя ионный поток на подложку. Характерные энергии ускоренных ионов находятся в диапазоне 0,3-3 кэВ.

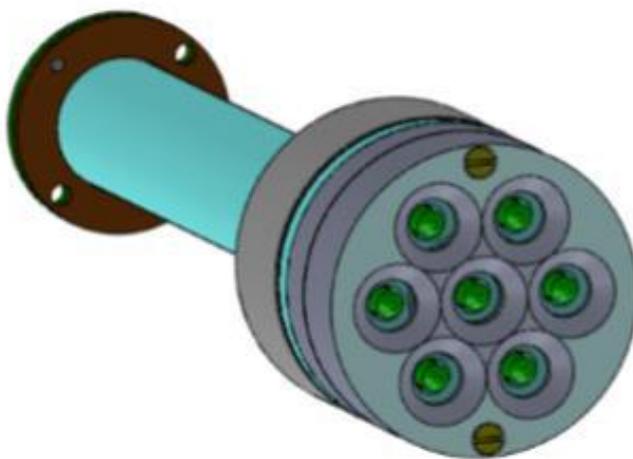


Рисунок 2.3 - Ионный источник с замкнутым дрейфом электронов

В качестве источника питания ионного тока использовался источник постоянного тока со следующими рабочими характеристиками:

- максимальное ускоряющее напряжение - 3 кВ;
- максимальный ток - 1 А;
- максимальная мощность - 3 кВт.

Ионный источник с замкнутым дрейфом электронов является многоячейковым источником (семь ячеек). Плазма генерируется возле каждого анода, образуя на выходе каждой апертуры семь ионных пучком, которые при удалении от ионного источника создают сплошной пучок. Это одно из основных преимуществ многоячейковых ионных источников.

2.3 Планарный магнетрон

Осаждение плёнок TiO_2 производилось на планарной магнетронной распылительной системе в среде Ar и O_2 . Мишени толщиной 8 мм и диаметром 90 мм была выполнена из титана марки VT-1-0.

На рисунке 2.4 приведена схема планарного магнетрона, используемого в эксперименте. Он состоит из титановой мишени 5, расположенной в медном корпусе 4 и магнитной системы 7.

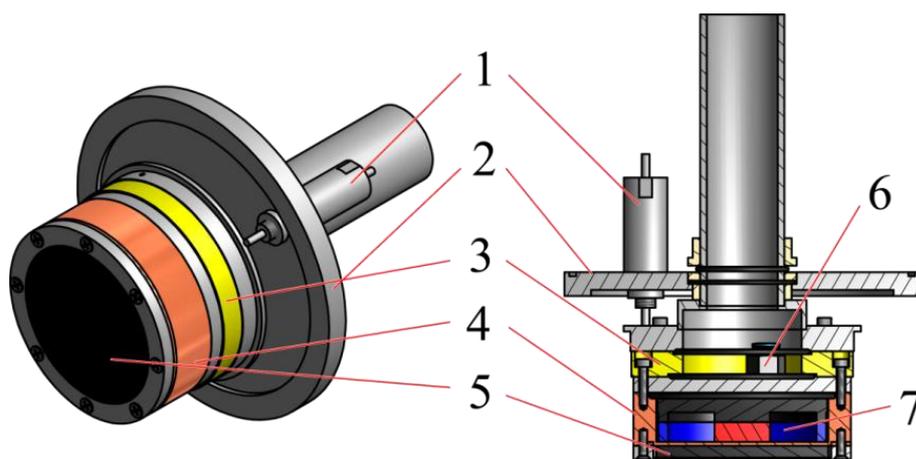


Рисунок 2.4 – Планарный магнетрон: 1 – напуск рабочего газа; 2 – фланец; 3 – диэлектрическая прокладка; 4 – медный корпус; 5 – титановая мишень; 6 – водяное охлаждение; 7 – магнитная система.

При нанесении покрытий были использованы два блока питания магнетрона: униполярный источник напряжения APEL-M-10PDC, предназначенный для электропитания регулируемым напряжением постоянного и импульсного тока MPC мощностью до 10 кВт [28]; униполярный источник тока MPS 3-5-9-600-PC для электропитания с регулируемым ограничением тока, напряжения и мощности до 5 кВт [29].

Основные параметры источников питания MPC приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Параметры источников питания магнетрона

Источник питания магнетрона	Униполярный источник питания APEL-M-10PDC	Униполярный источник питания MPS 3-5-9-600-PC
		
Максимальная выходная мощность	10кВт	5 кВт
Выходное напряжение	65÷650 В	600 В
Выходной средний ток	0,1-15,0 А	9 А
Выходная средняя мощности	0,1-10 кВт	5 кВт

Тип выходного напряжения	отрицательное, постоянное, импульсное униполярное	однополярное импульсное отрицательной полярности
Частота следования импульса	1-100 кГц с шагом 1 кГц	132 кГц
Коэффициент заполнения импульсов	10-80% или пауза 3 - 50 мкс	-
Режимы стабилизации	напряжение, ток, мощность	напряжение, ток, мощность

2.4 Методика получения тонких плёнок

Осаждение тонких плёнок оксида титана производилось при следующих параметрах: остаточный вакуум не более 0,02 Па, рабочее давление 0,2 - 0,3 Па. Поток аргона в рабочую камеру поддерживался постоянным и равный 10,875 см³/мин, а поток кислорода изменялся в диапазоне (19,5 - 27) см³/мин.

Процесс осаждения оксида титана производился следующим образом. После достижения требуемого остаточного вакуума производилась предварительная ионная очистка подложки, которая составляла 10 минут. После этого осуществлялась тренировка мишени магнетрона. Далее выполнялся выход в рабочий режим с последующим осаждением плёнок TiO₂. Время напыления составляло 30 минут. Покртия наносились на подложки из стекла и кремния.

В таблице 2.2 представлены параметры режимов осаждения оксида титана.

Таблица 2.2 – Параметры режимов осаждения TiO_2 .

Источник питания	№ Образца	$P_{\text{раб.}}$, Па	$Q(Ar)$, $см^3/мин$	$Q(O_2)$, $см^3/мин$	I, А	U, В	V, нм/мин	d, нм
DC	1-1	0,285	10,9	19,5	6,91	398	8,25	247,4
	1-2	0,269		21	6,94	386	5,87	176,6
	1-3	0,307		22,5	6,98	388	6,41	192,4
134 кГц	2-1	0,279		24	5,97	364	9,33	280
	2-2	0,296		25,5	6,08	323	8,15	244,6
	2-3	0,353		27	6,18	316	8,08	242,5

2.5 Измерение фотокаталитических свойств

Полученные плёнки были исследованы на фотокаталитическую активность по двум методикам, описанных в работах [30, 31].

Первая методика состоит в следующем:

1. Приготавливался водный раствор метилена синего с концентрацией 1мМоль/литр. Он был использован в качестве «загрязнителя».

2. Образцы помещались в раствор, и выдерживался в нем в течение часа. Это делалось для того, чтобы раствор как можно более сильно осел на поверхности плёнки.

3. После этого стекло извлекалось из раствора и переносилось в темную ёмкость для сушки в течение 30 минут.

4. Затем с помощью спектрофотометра измерялся коэффициент пропускания T_0 .

5. Далее производилось облучение поверхности образца TiO_2 , покрытого метиленом голубым, УФ светом в течение 30 минут с последующим измерением коэффициента пропускания T_i .

6. Значение фотокаталитической активности плёнок (ΔABS) определялось по соотношению:

$$\Delta ABS = Ln\left(\frac{T_0}{T_i}\right) \quad (2)$$

Вторая методика состоит в следующем:

1. Приготавливался водный раствор метилена синего с концентрацией 1мМоль/литр. Он был использован в качестве «загрязнителя». Затем с помощью спектрофотометра измерялся коэффициент пропускания T_0 водного раствора метилена синего.

2. Образцы помещались в раствор. После этого производилось облучение поверхности образца TiO_2 , УФ светом в течение 30 минут.

3. После этого проводилось измерение коэффициента пропускания T_i водного раствора.

4. Значение фотокаталитической активности плёнок (ΔABS) определялось по соотношению (2).

Коэффициенты пропускания плёнок TiO_2 были измерены на спектрофотометре СФ- 2000 в видимом диапазоне (380-780 нм) длин волн.

2.6 Определение ширины запрещенной зоны

Исследование фазового состава тонких плёнок является очень сложной экспериментальной задачей. Известно, что у кристаллического оксида титана ширина запрещенной зоны лежит в интервале (3,0-3,2) эВ для плёнок с фазой рутила и анатаза соответственно [32]. Таким образом, по характеру изменения значений ширины запрещенной зоны можно судить о возможном присутствии той или иной фазы. Для его приблизительной оценки используется методика, основанная на вычислении ширины запрещённой зоны (E_g) из края собственного поглощения света полупроводником и связанная с возбуждением валентного электрона в зону проводимости за счет поглощаемой энергии фотона [33,34].

Край поглощения определяется при прямых и непрямых переходах как соотношение:

$$\alpha = -\frac{\ln(T)}{d} \quad (3)$$

Где T – коэффициент пропускания, d – толщина плёнки.

Связь между краем поглощения и шириной запрещенной зоны реализуется в формуле (4).

$$\alpha = (h\nu - E_g)^m \quad (4)$$

Где m – коэффициент, характеризующий процесс оптического поглощения; $h\nu$ – энергия фотонов (эВ). В оксиде титана возможны прямые оптические и непрямые оптические переходы с участием фотонов. Для случая непрямого разрешенного перехода коэффициент m равен «2», а для прямого разрешенного перехода $m = 1/2$.

Оптическое поглощение плёнок TiO_2 наилучшим образом описывается в случае непрямого разрешенного перехода [34].

Строится зависимость коэффициента пропускания от длины волны света. На основе этой зависимости и приведенным выше формулам (3) и (4), построить зависимость вида $(\alpha \cdot E)^{1/2}$ от энергии фотонов для экспериментальных плёнок.

При помощи экстраполяции линейных участков в этой зависимости к оси X , нужно найти значения E_g для всех образцов.

2.7 Измерение показателя преломления и толщины плёнки

Измерение показателя преломления и толщины покрытий производилось на спектральном эллипсометре «Эллипс-1891», который представлен на рис. 2.5. Он предназначен для прецизионных измерений толщин наноразмерных плёнок, оптических параметров тонкоплёночных структур и спектральных зависимостей оптических констант поверхностей различных

материалов (металлов, полупроводников, диэлектриков и др.), в том числе анизотропных и жидких [35].



Рисунок 2.5 - Общий вид эллипсометра «Эллипс-1891»

В основу комплекса положена быстродействующая статическая схема эллипсометрических измерений [36].

Алгоритмы считывания сигналов и расчета рабочих параметров обеспечивают очень высокую чувствительность, необходимую для проведения измерений с высоким спектральным разрешением. Использование новой измерительной схемы обеспечивает быстрое сканирование всего спектра или отдельных участков спектра с повышенным спектральным разрешением. Основные характеристики эллипсометра показаны в таблице 2.3.

Таблица 2.3 Характеристики эллипсометра «Эллипс 1891»

Характеристика	Значение
Источник света	галогенная лампа
Спектральный диапазон, нм	350 - 1000 nm
Время измерения	
на одной длине волны	1 мс
полный спектр	8–20 сек
Диаметр светового пучка	3 мм
Углы падения света, фиксированно	45°, 50°, 55°, 60°, 65°, 70°, 90°
ручное перемещение	25 мм по осям X.Y
Вертикальное перемещение	0–20 мм
Регулировка наклона плоскости предметов	2°

Воспроизводимость	$\psi = 0.02^\circ$ $d\Delta = 0.05^\circ$
Ручное перемещение	25 мм по осям X.Y
Вертикальное перемещение	0–20 мм
Регулировка наклона плоскости предметов	2°
Оптические и механические компоненты	
Монохроматор	Малогобаритный, быстродействующий, с вогнутой дифракционной решеткой
Поляризатор	Призма Глана-Тейлора
Анализатор	Призма Волластона
Компенсатор	Ахроматический фазосдвигающий элемент типа Ромб Френеля
Фотоприемник	Два кремниевых двухэлементных фотоприемника

В качестве источника света используется галогенная лампа, обеспечивающая спектральный диапазон 350-1000 нм.

2.8 Измерения коэффициента пропускания

Измерение коэффициента Спектрофотометр СФ-2000 предназначен для определения спектров пропускания, отражения, оптической плотности твердых материалов и жидкости в диапазоне длин волн 190-1100 нм [37]. Внешний вид спектрофотометра СФ-2000 изображен на рис. 2.6.



Рисунок 2.6 – Внешний вид спектрофотометра СФ-2000.

Параметры спектрофотометра приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4. Характеристики спектрофотометра СФ-2000

Характеристика	Значение
Спектральный диапазон измерений, нм	190 - 1100
Оптическая схема	Однолучевая
Монохроматор	Абберационно-скорректированная вогнутая нарезная решетка
Спектральный диапазон измерений, нм	190 - 1100
Оптическая схема	Однолучевая
Диапазон измерения	
-коэффициентов пропускания, %	0,1 - 200
-оптической плотности, ед. ОП	-0,3 - 3,0
Фотометрическая точность	
-при измерении коэффициентов пропускания, %	+0,1 при 10% у 550 нм
-при измерении оптической плотности, ед. ОП	+0,005 при ОП=1,0 у 550 нм
Фотометрическая воспроизводимость	
-при измерении коэффициентов пропускания, %	0,01 при 10% у 550 нм
-при измерении оптической плотности, ед. ОП	0,0005 при ОП=1,0 у 550 нм
Погрешность установки длин волн, нм	
-в диапазоне от 200 до 390 нм	+0,4
-в диапазоне от 390 до 1100 нм	+0,8
Точность воспроизведения длины волны, нм	0,004
Наименьшая ширина спектральной щели, нм	1,0
Коррекция базовой линии	Автоматическая коррективровка

Оптическая схема – однолучевая, фиксированная. Конструкция прибора такова, что ультрафиолетовый и видимый каналы работают совершенно

раздельно, что исключает их взаимное влияние. Все элементы, влияющие на фокусировку, выделение спектрального интервала и детектирование индивидуально оптимизированы для каждого из каналов. В спектрофотометре используются высококлассные оптические элементы с кварцевым покрытием для получения качественных характеристик пропускания с минимальным светорассеянием. В качестве источников УФ-излучения используются качественные дейтериевые лампы Hamamatsu, а в канале видимого света - галогеновые лампы Philips, имеющие превосходные характеристики свечения и надежности.

Детекторами излучения служат ПЗС-линейки с высокими параметрами по чувствительности и разрешению. Маленькая спектральная ширина щели 1 нм позволяет фиксировать практически любой спектр без искажений. Высокоскоростной интерфейс связи с компьютером (USB) обеспечивает быстрый двунаправленный обмен данными с компьютером.

Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Предпроектный анализ

Настоящая работа посвящена разработке технологии производства фотокаталитических покрытий на основе магнетронных распылительных систем.

Разрабатываемая нами технология в меньшей степени затратная и практически безотходна. Такое производство может занять большую долю рынка.

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для выявления потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором в будущем будет продаваться разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга).

Объектом исследования являются фотокаталитические покрытия на основе оксида титана.

Основные потребители данной технологии: большие строительные компании, имеющие свои собственные производства, компании по производству листового стекла, частные заказчики, желающие заниматься инновационными технологиями и проектами.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных решений целесообразно проводить при помощи оценочной карты, для этого были определены два конкурента на рынке. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки;
- уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа и т.п.);
- бюджет разработки;
- уровень проникновения на рынок;
- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т.д.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Данный анализ был проведен с помощью оценочной карты, приведенной в табл. 4.1. Основными конкурентами метода МРС является – методы получения физическим и химическим осаждением из паровой фазы.

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в табл. 4.1, подбирались, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации. Основными критериями методов получения плёнок будут являться: удобство в эксплуатации, безопасности проведения эксперимента, уровня шума при эксперименте, и

предоставляемые возможности, которые заключаются в возможности подключения к ЭВМ. Удобство и безопасность, а так же шум в эксплуатации является важным критерием, так как от этого зависит здоровье человека работающего на установке, так же её безопасность позволит повысить спрос на МРС метод получения плёнок.

Также важно отметить экономические критерии оценки, представленные в таблице 4.1. Конкурентоспособность метода позволит оставаться ему на рынке, а цена сделает его более перспективным методом напыления.

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_{ϕ}	$B_{\kappa 1}$	$B_{\kappa 2}$	K_{ϕ}	$K_{\kappa 1}$	$K_{\kappa 2}$
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1.Удобство и простота в эксплуатации	0,12	4	4	4	0,48	0,48	0,48
2.Уровень шума	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
3.Безопасность	0,13	4	3	1	0,52	0,39	0,13
4.Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,11	5	5	5	0,55	0,55	0,55
Экономические критерии оценки ресурсоэффективности							
1.Конкурентоспособность метода	0,12	4	4	4	0,48	0,48	0,48
2.Цена	0,17	5	5	2	0,85	0,85	0,34
3.Предполагаемый срок эксплуатации	0,13	4	4	3	0,52	0,52	0,39
4.Финансирование научной разработки	0,12	3	3	2	0,36	0,36	0,24
Итого	1	33	29	28	4,16	4,03	3,01

Позиция разработки и конкурентов оценивалась по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны были составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определялся по формуле:

$$K = \sum B \cdot \phi, \quad (5)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Согласно вышеприведенному расчету видно, что предлагаемая нами технология осаждения фотокаталитических покрытий имеет более высокий показатель конкурентоспособности (4,16). Это обусловлено следующим рядом факторов: безопасностью, обладанием подключения к ЭВМ, проста в эксплуатации. Что связано с принципом построения технологической линии, используемыми физическими принципами и наличием большого опыта по разработке технологий осаждения тонкопленочных структур. Суммарно это позволяет существенно снизить количество недостатков технологии и повысить число ее конкурентных преимуществ. Основные аспекты следующие:

- относительно низкая цена;
- повышенный срок эксплуатации;
- простота эксплуатации.

Эти факторы определяют выбор того или иного технического решения. Обеспечение таких высоких показателей свидетельствует о большом потенциале научно-технической разработки.

4.1.3 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Целью SWOT-анализа является определение всех сильных и слабых сторон научной разработки, которые рассматриваются как внутренние факторы, а также изучение внешних факторов, каковыми являются рыночные возможности и угрозы, для получения четкого представления основных

направлений развития предприятия. На основе такого исследования организация должна максимально использовать свои сильные стороны, попытаться преодолеть слабости, воспользоваться благоприятными возможностями и защититься от потенциальных угроз. Он проводится в несколько этапов.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены таблице 4.2.

Таблица 4.2 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Экономичность и энергоэффективность технологии.</p> <p>С2. Экологичность технологии.</p> <p>С3. Цена производства ниже по сравнению с другими технологиями.</p> <p>С4. Безопасность в эксплуатации</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Длительный период напыления образцов плёнок.</p> <p>Сл2. Большой срок поставок материалов и комплектующих, используемых при проведении научного исследования.</p> <p>Сл3. Недостаток финансовых средств.</p> <p>Сл4. Слабая маркетинговая политика</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ.</p> <p>В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт.</p> <p>В3. Повышение стоимости конкурентных разработок, в связи с пределом их возможности.</p>		

Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства. У2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства. У3. Развитие альтернативных технологий и аналогов оборудования.		
---	--	--

После того как сформулированы четыре области SWOT следует реализация второго этапа.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT.

Возможно использование этой матрицы в качестве одной из основ для оценки вариантов стратегического выбора. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Интерактивная матрица проекта представлен в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта					
		C1	C2	C3	C4
Возможности проекта	B1	0	+	0	+
	B2	+	+	+	0
	B3	+	-	0	0

Анализ интерактивных таблиц представляется в форме записи сильно коррелирующих сильных сторон и возможностей, или слабых сторон и возможностей и т.д. следующего вида: В1С1С2С3; В2С1С2С3. Каждая из записей представляет собой направление реализации проекта.

Результаты SWOT-анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта.

В рамках третьего этапа составлена итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Итоговая матрица SWOT-анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Экономичность и энергоэффективность технологии. С2. Экологичность технологии. С3. Цена производства ниже по сравнению с другими технологиями. С4. Безопасность в эксплуатации.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Длительный период напыления образцов плёнок. Сл2. Большой срок поставок материалов и комплектующих, используемых при проведении научного исследования. Сл3. Недостаток финансовых средств. Сл4. Слабая маркетинговая политика
Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ. В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт. В3. Повышение стоимости конкурентных разработок, в связи с пределом их возможности.	1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ поможет реализовывать конечный продукт. 2. Экологичность технологии повысит дополнительный спрос. 3. Создание более экономичного метода напыления.	1. Инновационная структура ТПУ, поможет в преодолении проблем поиска потенциальных потребителей. 2. Выпускники ТПУ могут покрыть спрос кадров для новой технологии.

<p>Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства. У2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства. У3. Развитие альтернативных технологий и аналогов оборудования.</p>	<p>1. Экономичность и энергоэффективность позволят привлечь внимание производителей. 2. Использование МРС позволяет улучшать результаты без значительных затрат, путём исследований.</p>	<p>1. Поиск классифицированных кадров для повышения спроса на новые материалы. 2. Улучшение метода напыления для более быстрой технологии нанесения, позволит привлечь финансовое обеспечение.</p>
---	---	---

Исходя из анализа матрицы, можно сделать вывод, что необходимо задействовать информационную структуру ТПУ для привлечения ресурсов и покупателей к данной разработке, т.к. она привлекательна с точки зрения экономичности производства, энергоэффективности данного метода и значительно производительней конкурентных методик получения фотокаталитических покрытий.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей, таблица 4.5.

Таблица 4.5 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Бакалавр
	3	Выбор направления исследований и способа решения задач	Руководитель
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Построение плана экспериментов по напыления	Руководитель, бакалавр
	6	Определение скорости осаждения фотокаталитических плёнок	Бакалавр
	7	Определение свойств полученных плёнок	Бакалавр
	8	Осаждение плёнок разных толщин на подложки из стекла	Бакалавр
	9	Определение оптических свойств полученных плёнок	Бакалавр
	10	Осаждение плёнок разных толщин на подложки из кремния	Бакалавр
	11	Определение фотокаталитических свойств полученных плёнок	Бакалавр
Обобщение и оценка результатов	12	Анализ полученных результатов	Бакалавр
	13	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель
	14	Подготовка ВКР	Бакалавр

4.2.2 Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта. Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. После составления

плана работ необходимо оценить их трудоемкость. В таблице 4.6 представлены временные показатели проведения научного исследования.

Таблица 4.6 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях, T_{pi}	Длительность работ в календарных днях, T_{ki}
	t_{min} , чел.-дн.	t_{max} , чел.-дн.	$t_{ож}$, чел.-дн.			
Составление и утверждение технического задания	1	1	1	Руководитель	1	3
Подбор и изучение материалов по теме	10	15	12	Бакалавр	12	18
Выбор направления исследований и способа решения задач	1	2	1	Руководитель	1,4	3
Календарное планирование работ по теме	1	1	1	Руководитель	1	3
Построение плана экспериментов	2	2	1,8	Руководитель, бакалавр	1,8	2
Определение скорости осаждения фотокаталитических плёнок	9	16	11,8	Бакалавр	11,8	18
Определение свойств полученных плёнок	4	5	4,4	Бакалавр	4,4	7
Осаждение плёнок разных толщин на подложки из стекла	12	16	13,6	Бакалавр	13,6	21
Определение оптических свойств полученных плёнок	5	8	6,2	Бакалавр	6,2	10
Осаждение плёнок разных толщин на подложки из кремния	8	16	11,2	Бакалавр	11,2	17
Определение фотокаталитических свойств полученных плёнок	3	6	4,2	Бакалавр	4,2	7
Анализ полученных результатов	2	3	2,4	Бакалавр	2,4	4
Определение целесообразности проведения ОКР	1	1	1	Руководитель	1	3
Подготовка ВКР	20	40	28	Бакалавр	14	21

его выполнения. В процессе формирования бюджета НИИ используется следующая группировка затрат по статьям:

1. материальные затраты НИИ;
2. затраты на специальное оборудование для научных работ
3. основная заработная плата исполнителей темы;
4. дополнительная заработная плата исполнителей темы;
5. отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
6. накладные расходы.

4.3.1 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество требуемых материальных ценностей определяется по нормам расхода.

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам.

Эксперименты проводились 24 часа, мощность установки для напыления плёнок составляет 4 кВт/час.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C_{эл} = C_{эл} \cdot P \cdot F_{об} , \quad (6)$$

где $C_{эл}$ – тариф на промышленную электроэнергию (5,8 руб за 1 кВт/ч); P – мощность оборудования, кВт; $F_{об}$ – время использования оборудования, ч.

$$C_{эл} = 5,8 \cdot 4 \cdot 24 = 556,8 \text{ руб.}$$

Расчет стоимости материальных затрат на материалы представлен в таблице 4.8. В стоимость материальных затрат включены транспортно-заготовительные расходы.

Таблица 4.8 – Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Ед. измерения	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Титановый катод	63 см ²	1	5000	5000
Аргон	1 баллон	0,5	2000	1000
Кислород	1 баллон	1	6000	6000
УФ лампа	1 шт	1	2000	2000
Кремний	40x40 см	2	1700	3400
Стекло	75x25	1	100	100
Метиленовый синий раствор	50 мл	1	70	70
Этиловый спирт	1 л	1	500	500
Всего за материалы				18070
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				903
Итого по статье				18973

Таблица 4.9 – Статья на все материальные затраты

Наименование	Сумма, руб.
Затраты на электроэнергию	556,8
Затраты на сырье, материалы и комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты	18973
Итого	19529,8

4.3.2 Амортизационное начисление на специальное оборудование для научных работ

В данную статью включены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (для измерения оптических характеристик), необходимого для проведения работ по данной теме. Определение стоимости спецоборудования производилось по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного научного проекта, учитывалась в виде амортизационных отчислений. Сумма амортизации за один год рассчитывается по формуле:

$$A_{\text{год}} = \frac{F_{\text{п}} * a}{100\%}, \quad (3)$$

где $F_{\text{п}}$ - первоначальная стоимость оборудования, a – норма амортизации, рассчитываемая по формуле:

$$a = \frac{1}{t} * 100\%. \quad (4)$$

Здесь t – это срок полезного использования установки.

Первоначальная стоимость установок для оптических исследований можно оценить в 500000 руб, а срок полезного использования 20 лет, тогда годовая сумма амортизационных отчислений – $A_{\text{год}} = \frac{500000 * 5}{100\%} = 25000$ руб. В рамках данного исследования установка использовалась в течение 15 дней, поэтому сумма амортизации за 15 дней составит:

$$A = \frac{25000 * 15}{254} = 1476 \text{ руб.}$$

4.3.3 Основная заработная плата

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы. Расчет основной заработной платы представлены в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), руб.

1		Руководитель	5	-	6000
2		Инженер	125	685,95	85743,75
Итого					91943,75

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (6)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата; $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата $Z_{осн}$ руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб} \quad (7)$$

где $T_{раб}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн.; $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Для руководителя, имеющего научную степень, назначается заработная плата в 300 руб/час. На консультацию бакалавра для руководителя приходится по нормам 20 часов, следовательно, заработная плата руководителя составит $C_{зп}=300 \cdot 20 = 6000$ руб.

Среднедневная заработная плата инженера рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = (Z_{м} \cdot M) / F_{д} \quad (8)$$

где $Z_{м}$ – месячный должностной оклад работника, руб (в качестве месячного оклада инженера выступает заработная плата; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 48 рабочих дней $M=11,2$ месяца, 5-дневная неделя; $F_{д}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала (в рабочих днях). В 2016 году действительный годовой фонд рабочего времени составлял 254 рабочих дней (остальные выходные и праздничные дни). Баланс рабочего времени представлен в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Инженер
Календарное число дней	365
Количество нерабочих дней	
-выходные дни	82
-праздничные дни	14

Потери рабочего времени	
-отпуск	28
-невыходы по болезни	–
Действительный годовой фонд рабочего времени	241

Месячный должностной оклад инженера:

$$Z_m = Z_{tc} \cdot k_p \quad (9)$$

где Z_{tc} – заработная плата по тарифной ставке, k_p – районный коэффициент, равный 1,3. Оклад составляет: 10223,33 рублей.

Рассчитаем основную заработную плату инженера:

$$Z_m = 10223,33 \cdot 1,3 = 13290,33 \text{ руб.};$$

$$Z_{дн} = (13290,33 \cdot 11,2) / 241 = 618 \text{ руб.};$$

$$Z_{осн} = 618 \cdot 125 = 77250 \text{ руб.}$$

Результаты расчета основной заработной платы представлены в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Расчёт основной заработной платы

Исполнитель	Z_{tc} , руб.	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	$T_{раб}$ раб.дн.	$Z_{осн}$, руб.
Инженер	10223,33	1,3	13290,33	618	125	77250

4.3.4 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

Дополнительная заработная плата включает оплату за непроработанное время (очередной и учебный отпуск, выполнение государственных обязанностей, выплата вознаграждений за выслугу лет и т.п.) и рассчитывается исходя из 12-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 9270 \text{ руб.}, \quad (10)$$

где $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.; $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты ($k_{\text{доп}}=0,12$); $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

В таблице 4.13 – приведен расчёт основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 4.13 – Заработная плата исполнителей НИР

Заработная плата	Руководитель	Инженер
Основная зарплата	6000	77250
Дополнительная зарплата	-	9270
Зарплата исполнителя	6000	86520
Итого по статье $C_{\text{зн}}$, руб	92520	

4.3.5 Отчисления на социальные нужды

Отчисления на социальные нужды для инженера (30% от статьи заработной платы) составили 25956 рублей и для руководителя 1800 рублей.

4.3.6 Накладные расходы

В эту статью включены затраты на управление и хозяйственное обслуживание и расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др. Что порядка 15% от заработной платы. Суммарно накладные расходы составляют 13878 рублей.

4.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группировались по статьям, представленным в таблице 4.14. В качестве альтернативных путей исследования рассматривается применение дуального МРС и ВЧ МРС.

Таблица 4.14 – Группировка затрат по статьям

Наименование статьи	Сумма, руб.		
	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
Материальные затраты НТИ	19529,8	42200,7	77854,5
Затраты по основной заработной плате	83250	85740	85743,75
Затраты по дополнительной заработной	9270	10000	10289,25
Отчисления во внебюджетные фонды	27756	29859,9	29859,9
Накладные расходы	13878	26903,94	32599,58
Итого плановая себестоимость НИР	153683,8	195053	236346,98

В ходе расчетов установлено, что затраты на НИР составили 153683,8 руб., что незначительно превосходит затраты на альтернативный вариант исследования фотокаталитических плёнок.

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

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{153683,8}{236346,98} = 0,65$$

$$I_{\Phi}^{a1} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{195053}{236346,98} = 0,83$$

$$I_{\Phi}^{a2} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{236346,98}{236346,98} = 1$$

где I_{Φ}^p – интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналог).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разы.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p, \quad (11)$$

где I_m – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов; a_i – весовой коэффициент i -го параметра; b_i^a , b_i^p – бальная оценка i -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания; n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы, пример которой приведен ниже. Данный расчёт был основан на критериях, которые обоснованы выше. Это удобство и простота в эксплуатации, безопасности проведения эксперимента является важным критерием, так как от этого зависит здоровье человека работающего на установке.

Экологичность и экономичность установки является очень важным критерием так как это позволит привлечь дополнительное финансирование и новых партнеров по разработки фотокаталитических плёнок.

Таблица 4.15 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Экономичность	0,2	5	4	3
2. Экологичность	0,2	5	5	3
3. Безопасность	0,5	4	4	4
4. Простота эксплуатации	0,3	5	4	2
Итого	1	19	17	12

$$I_m^p = 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,3 = 4,7$$

$$I_1^{a1} = 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,3 = 4,2$$

$$I_1^{a2} = 3 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,3 = 3$$

Интегральный показатель эффективности разработки ($I_{финр}^p$) и аналога ($I_{финр}^a$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_\phi^p} = \frac{4,7}{0,83} = 5,7$$

$$I_{финр}^{a1} = \frac{I_m^{a1}}{I_\phi^{a1}} = \frac{4,2}{0,83} = 5,1$$

$$I_{финр}^{a2} = \frac{I_m^{a2}}{I_\phi^{a2}} = \frac{3}{1} = 3$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финаi}^a}$$

где \mathcal{E}_{cp} – сравнительная эффективность проекта; $I_{финр}^p$ – интегральный показатель разработки; $I_{финаi}^a$ – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Таблица 4.16 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,65	0,83	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,7	4,2	3
3	Интегральный показатель эффективности	5,7	5,1	3
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	1,12	1,9

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет судить о приемлемости существующего варианта решения поставленной в бакалаврской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности. Как видно из таблицы 5.15 исследование осаждения медных плёнок из молибденового тигля с точки зрения финансовой и ресурсной эффективности наиболее удачно, по сравнению с альтернативными вариантами.

Выводы:

В данной главе была проанализирована и рассчитана экономическая эффективность научного исследования.

Проанализирован целевой рынок и произведено сегментирование потенциальных покупателей разрабатываемых технологий или готового продукта. Приведен план проекта и рассчитан бюджет научного исследования,

плановая себестоимость НИР которого составляет 153683,8 руб. Также проведен SWOT-анализ и составлена итоговая матрица SWOT-анализа.

Таким образом, можно сказать, что предложенный научно-исследовательский проект имеет не только научную новизну, но и заявляет о своей экологичности, энергоэффективности и экономической эффективности.

Глава 5. Социальная ответственность

В современных условиях одним из основных направлений коренного улучшения всей профилактической работы по снижению производственного травматизма и профессиональной заболеваемости является повсеместное внедрение комплексной системы управления охраной труда, то есть путем объединения разрозненных мероприятий в единую систему целенаправленных действий на всех уровнях и стадиях производственного процесса.

Охрана труда – это система законодательных, социально-экономических, организационных, технологических, гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда.

Правила по охране труда и техники безопасности вводятся в целях предупреждения несчастных случаев, обеспечения безопасных условий труда работающих и являются обязательными для исполнения рабочими, руководящими, инженерно-техническими работниками.

Опасным производственным фактором, называется такой производственный фактор, воздействие которого в определенных условиях приводят к травме или другому внезапному, резкому ухудшению здоровья.

Вредным производственным фактором называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего, в определенных условиях, приводит к заболеванию или снижению трудоспособности.

При выполнении настоящей бакалаврской работы были использованы: напылительная экспериментальная установка, персональная электронно-вычислительная машина, газовые баллоны со сжатым аргоном и кислородом. Приведем анализ вредных и опасных производственных факторов, также комплекс защитных мероприятий.

5.1 Анализ вредных факторов производственной среды

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, психофизиологические (таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	ФАКТОРЫ ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа на напылительной установке.	Шум; воздействие вредных веществ (пары этилового спирта).		НАОП 28.51-.1.38-91 правила безопасности труда при вакуумном ионно-плазменном напылении покрытий
		Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность
Обработка данных на ПЭВМ	- Физические: температура и влажность воздуха; шум; статическое электричество; электромагнитное поле низкой чистоты; освещённость; наличие излучения; - психофизиологические: умственное перенапряжение, монотонность труда, эмоциональные перегрузки		СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. «Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы»
		Пожарная безопасность	Пожаро- и взрывобезопасность промышленных объектов. ГОСТ Р12.1.004-85 ССБТ. Пожарная безопасность

Для обеспечения безопасности при работе на установке и ПЭВМ необходимо проводить ряд мероприятий по снижению вредного и опасного воздействия факторов, которые рассмотрены ниже.

5.2 Организационные мероприятия при работе на вакуумной установке и ПЭВМ

Весь персонал обязан знать и строго соблюдать правила техники безопасности. Обучение персонала технике безопасности и производственной санитарии состоит из вводного инструктажа и инструктажа непосредственно на рабочем месте ответственным лицом.

Проверка знаний правил техники безопасности проводится квалификационной комиссией или лицом ответственным за рабочее место после обучения на рабочем месте. После чего сотруднику присваивается соответствующая его знаниям и опыту работы квалификационная группа по технике безопасности и выдается удостоверение специального образца.

Лица, работающие на установке, не должны иметь медицинских противопоказаний. Состояние здоровья устанавливается медицинским освидетельствованием перед устройством на работу.

5.2.1 Правила безопасной работы на вакуумной установке

Выполнение бакалаврской работы происходило с использованием установки магнетронного распыления, газовых баллонов со сжатым аргоном и кислородом. Установка построена на базе турбомолекулярного насоса. Для защиты от движущихся механизмов применяются защитные ограждения в соответствии с [41]. Предпочтительно применение сплошных ограждений.

Ограждения, изготовленные из сетки (25x25 мм), должны иметь конструкцию, обеспечивающую постоянство формы и установленную жесткость. Сплошные ограждения кожухи в электрических установках до

1000 В. Сетчатые ограждения применяются в установках напряжения до 1000 В и выше 1000 В.

При работе с газовыми баллонами требуется соблюдать правила безопасности. Согласно [42] к работе с газовыми баллонами должны быть допущены лица, прошедшие обучение и имеющие соответствующее удостоверение. Не допускается работа с неисправными баллонами, а также с баллонами, имеющими истёкший срок хранения, за исключением слива баллонов при не герметичности газового арматурного блока или других фитингов.

Заправка и установка баллонов не допускается вблизи открытого огня, работающих электроприборов и автомобилей, а также запрещается курение. Баллоны при заправке и сливе должны быть установлены на заземлённую поверхность. Обязательно наличие исправного огнетушителя.

Обслуживающий персонал должен иметь одежду из не оплавливаемой ткани, иметь на руках перчатки или рукавицы.

Категорически запрещается заправка баллонов более 85 % общего объёма. Контроль осуществляется по началу выхода жидкой фазы из ниппеля.

В остальном, что не оговорено в настоящем разделе в части заправки и проверки баллонов, необходимо руководствоваться местными правилами.

Заправка газовых баллонов должна производиться вне помещений на специально оборудованных станциях. Слив (перелив) газа следует производить на открытой, хорошо продуваемой площадке.

В процессе работ следует руководствоваться требованиями мер безопасности, кроме этого необходимо, чтобы с подветренной стороны на расстоянии 100 м при переливе и 500 м при сливе не было людей, строений, домашнего скота, линий электро- и телеграфных передач, каких-либо не продуваемых углублений, способных накапливать газ, автомобильных и железнодорожных магистралей.

Заправленные или частично заправленные баллоны должны храниться вертикально под навесом, огороженным сеткой или иным способом, при этом

площадь, через которую может свободно проходить воздух, не должна быть меньше 25 % от площади всего ограждения и располагаться равномерно или в нижней части ограждения. На месте хранения должны находиться исправные огнетушители. Навес должен обеспечивать защиту от прямой солнечной радиации и прямого воздействия осадков.

Совместное хранение исправных и неисправных баллонов, а также баллонов с истекшим сроком технического освидетельствования не допускается. При хранении на баллонах должны быть закрыты все вентили и установлены заглушки.

5.2.2 Организация рабочего места оператора ПК

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства (рис. 5.1).

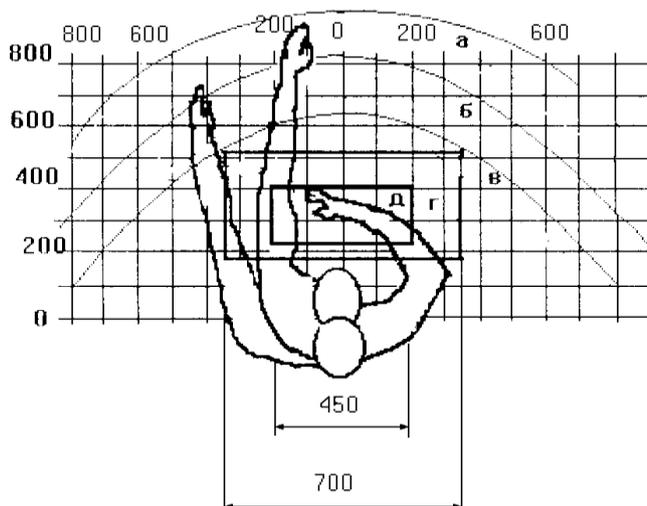


Рисунок 5.1 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости: а - зона максимальной досягаемости рук; б - зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в - зона легкой досягаемости ладони; г - оптимальное пространство для грубой ручной работы; д - оптимальное пространство для тонкой ручной работы

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук: дисплей размещается в зоне «а» (в центре); клавиатура в зоне «г»/«д»; системный блок размещается в зоне «б» (слева); принтер находится в зоне «а» (справа); документация: в зоне легкой досягаемости ладони – «в» (слева), литература и документация, необходимая при работе; в выдвижных ящиках стола, литература, не используемая постоянно.

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования. Высота рабочей поверхности стола рекомендуется в пределах 680-800 мм. Высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм. Рабочий стол должен быть шириной не менее 700 мм и длиной не менее 1400 мм. Должно иметься пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм.

Рабочее кресло должно быть подъёмно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а так же расстоянию спинки до переднего края сиденья. Рекомендуется высота сиденья над уровнем пола 420-550 мм. Конструкция рабочего кресла должна обеспечивать: ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; поверхность сиденья с заглублённым передним краем.

Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500-600 мм. Согласно нормам угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45° к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30°. Кроме того должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране.

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана: по высоте +3 см; по наклону от 10 до 20 градусов относительно вертикали; в левом и правом направлениях.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края. Нормальным положением клавиатуры является её

размещение на уровне локтя оператора с углом наклона к горизонтальной плоскости 15°. Более удобно работать с клавишами, имеющими вогнутую поверхность, четырёхугольную форму с закруглёнными углами. Конструкция клавиши должна обеспечивать оператору ощущение щелчка. Цвет клавиш должен контрастировать с цветом панели.

При однообразной умственной работе, требующей значительного нервного напряжения и большого сосредоточения, рекомендуется выбирать неяркие, малоконтрастные цветочные оттенки, которые не рассеивают внимание (малонасыщенные оттенки холодного зеленого или голубого цветов). При работе, требующей интенсивной умственной или физической напряженности, рекомендуются оттенки тёплых тонов, которые возбуждают активность человека.

5.3 Условия безопасной работы

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии с [43] и приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный и переходный	23-25	40-60	0,1
Тёплый	23-25	40	0,1

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции

и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещение должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20 м^3 на человека – не менее 30 м^3 в час на человека; при объёме помещения более 40 м^3 на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция.

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление. Параметры микроклимата в используемой лаборатории регулируются системой центрального отопления, и имеют следующие значения: влажность – 40 %, скорость движения воздуха – 0,1 м/с, температура летом – 20..25 °С, зимой – 13..15 °С. В лаборатории осуществляется естественная вентиляция. Воздух поступает и удаляется через щели, окна, двери. Основным недостатком такой вентиляции в том, что приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания.

Экран и системные блоки ПЭВМ производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видеокабеля.

Согласно [43] напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

- в диапазоне частот 5 Гц-2 кГц – 25 В/м;
- в диапазоне частот 2 кГц-400 кГц - 2,5 В/м.

Плотность магнитного потока должна быть не более:

- в диапазоне частот 5 Гц-2 кГц – 250 нТл;
- в диапазоне частот 2 кГц-400 кГц – 25 нТл.

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

- увеличение расстояния от источника (экран должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя);
- применение приэкранных фильтров, специальных экранов и других средств индивидуальной защиты.

При работе с компьютером источником ионизирующего излучения является дисплей. Под влиянием ионизирующего излучения в организме может происходить нарушение нормальной свертываемости крови, увеличение хрупкости кровеносных сосудов, снижение иммунитета и др.

Доза облучения при расстоянии до дисплея 20 см составляет 50 мкР/час. По нормам [43] конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана не более 100 мкР/час.

Утомляемость органов зрения может быть связана как с недостаточной освещенностью, так и с чрезмерной освещенностью, а также с неправильным направлением света.

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне. При выполнении работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ.

Источник шумового загрязнения при работе вакуумной установки – вращающиеся части механических насосов. При работе механического насоса максимальность шумового загрязнения составляет 52 дБ на расстоянии 1 м. Длительность возникновения максимальных шумов составляет не более 5 минут. Рабочее место расположено в 2-2,5 метров от установки. Предельно допустимый уровень шумов и средства защиты должны удовлетворять [41]. Работая в этих зонах, администрация снабжает средствами индивидуальной защиты, которыми являются специальные наушники, вкладыши в ушную раковину, защитное действие которых основано на изоляции и поглощения звука.

5.4 Электробезопасность

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с ЭВМ и другими электроустановками в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75%), высокой температуры (более 35°C), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного прикосновения к имеющим соединение с землёй металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования.

Оператор ЭВМ работает с электроприборами: компьютером (дисплей, системный блок и т.д.) и периферийными устройствами.

Существует опасность электропоражения в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- при коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развёртки.

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок:

- отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых будет проводиться работа, и принятие мер по обеспечению невозможности подачи напряжения к месту работы;
- вывешивание плакатов, указывающих место работы;
- заземление корпусов всех установок через нулевой провод;
- покрытие металлических поверхностей инструментов надёжной изоляцией;

- недоступность токоведущих частей аппаратуры (заключение в корпуса электропоражающих элементов, заключение в корпус токоведущих частей).

5.5 Пожарная и взрывная безопасность

В зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д. Так как помещение по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

Возможные причины загорания и взрыва:

- неисправность токоведущих частей установок;
- работа с открытой электроаппаратурой;
- короткие замыкания в блоке питания;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;
- наличие горючих компонентов: документы, двери, столы, изоляция кабелей и т.п;
- несоблюдение правил работы с газовыми баллонами.

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на: организационные, технические, эксплуатационные и режимные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и

оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

К режимным мероприятиям относятся, установление правил организации работ, и соблюдение противопожарных мер.

Для предупреждения возникновения пожара от коротких замыканий, перегрузок и т. д. необходимо соблюдение следующих правил пожарной безопасности:

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);
- применение при строительстве и отделке зданий негорючих или трудно сгораемых материалов;
- правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);
- правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения - предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);
- обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;
- издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;
- соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;
- правильное размещение оборудования;
- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

Для предотвращения взрыва при работе с использованием баллонов со сжатыми газами необходимо:

- баллоны установлены вертикально и надежно закреплены в таком положении металлическим хомутом;

- баллоны с газом, находятся от радиаторов отопления и других отопительных приборов на расстоянии не менее 1 метра и от печей и других источников тепла с открытым огнем не менее 5 метров. Баллоны установлены в не зоны солнечных лучей;

- выпуск газов из баллона производится через редуктор, предназначенный исключительно для данного газа и окрашенный в соответствующий цвет. Камера низкого давления редуктора имеет манометр и пружинный предохранительный клапан, отрегулированный на соответствующее давление в емкости.

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

- сообщить руководителю;
- позвонить в аварийную службу или МЧС – тел. 112;
- принять меры в соответствии с инструкцией.

Заключение

В результате выполнения работы было исследовано влияние различных режимом осаждения на фотокаталитические свойства тонкоплёночных покрытий на основе оксида титана. Были измерены фотокаталитические свойства, оптические свойства, скорости осаждения, осуществлялась оценка ширины запрещенной зоны и фазового состав плёнок. Осаждение осуществлялось на двух источниках питания постоянного и импульсного тока в течение 30 минут.

Для исследования рабочих режимов осаждения при реактивном магнетронном распылении был измерен гистерезис магнетронного разряда. Определено, что гистерезис напряжения разряда зависит от мощности источника питания. С её ростом происходит сдвиг переходной области в сторону больших потоков кислорода. Переходные процессы на источнике постоянного тока начинаются при меньшем потоке кислорода, по сравнению с импульсным источником.

По результатам работы было установлено, что скорость осаждения оксида титана зависит от потока скорости кислорода в рабочую камеру. Таким образом, увеличение потока кислорода приводит к уменьшению скорости осаждения. Так же можно сказать, что скорость осаждения на импульсном источнике питания выше, чем на источнике постоянного тока. Поэтому, источник питания оказывает существенное влияние на скорость нанесения покрытий.

Измерения оптических характеристик, проведённых на плёнках толщиной (176-280) нм показали, что показатель поглощения плёнок оксида титана близок к 0. Преломляющая способность плёнок TiO_2 зависит от типа источника питания. Для постоянного тока показатель преломления повышается при увеличении потока O_2 в камеру. Плёнки TiO_2 , полученные на импульсном токе, имеют более низкую преломляющую способность, которая слабо зависит от потока кислорода.

Для оценки фазового состава полученных плёнок, был проведён расчёт ширины запрещенной зоны (E_g). Из результатов можно сказать, что ширина запрещённой зоны зависит как от типа источника питания, так и от потока кислорода. Так образцы, имеющие ширину запрещенной зоны близкую к $E_g = 3$ эВ, вероятнее всего состоят преимущественно из фазы рутила, тогда как образцы с шириной запрещенной зоны более $E_g = 3,2$ эВ обладают преимущественно фазой анатаза или могут содержать их смесь. Однако данная методика не позволяет достоверно это определить.

Кроме того, характер изменения ширины запрещенной зоны от потока кислорода имеет различную зависимость для каждого источника питания. Для источника постоянного тока наблюдаем рост E_g , а потом спад при увеличении потока кислорода. На импульсном источнике наблюдается сначала спад, а потом рост E_g при увеличении $Q(O_2)$.

Измерения фотокаталитических свойств оксида титана проводились по двум методикам. Исследования по первой методике показали, что образцы, полученные на постоянном токе, обладают более высоким коэффициентом фотокаталитической активности по сравнению с плёнками, полученными на импульсном источнике питания.

Результаты по второй методике показали, что плёнки, полученные на импульсном источнике питания, проявили более высокую фотокаталитическую активность по сравнению с источником питания постоянного тока.

Зависимости фотокаталитической активности от времени облучения УФ светом для двух источников питания показали, что определение коэффициента фотокаталитической активности по второй методике, где измерялись коэффициенты пропускания водного раствора метилена синего, обладают более высокой фотокаталитической активностью, чем по первой методике, где измерялись коэффициенты пропускания плёнок с загрязнением.

Две эти методики являются актуальными, так как в зависимости от того в какой сфере будут применять фотокаталитические плёнки, будет зависеть метод определения фотокаталитической активности. Например, первый метод

определения фотокаталитической активности, будет применяться для использования в качестве самоочищающихся покрытий на оконных стеклах, экраны мониторов и т.д. Второй же метод будет актуален для применения в тонкоплёночных фильтрах для отчистки воды.

Список публикаций

1. Андреева М.А., Юрьев Ю.Н., Зависимость режимов осаждения оксида титана от параметров источника питания МРС // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. – Томск, 26-29 апрель 2016 г. – с. 43-45.

2. Lazarev A.V., Andreeva M.A. Magnetron sputtering system // VIII International Scientific Conference «Issues of Physics and Technology in Science, Industry and Medicine». – Tomsk, 3–6 June 2015 – P. 209-210.

Список используемой литературы

1. Нарцев В.М., Прохоренков Д.С., Осипенко Н.В., Зайцев С.В., Евтушенко Е.И. Исследование свойств TiO_x покрытий, формируемых с использованием вакуум – плазменных технологий // *Фундаментальные исследования*. – 2012. – № 11. – 1195 – 1200.
2. Савинов Е.Н. Фотокаталитические методы очистки воды и воздуха // *Соросовский образовательный журнал*. – 2000. – Т. 6. – № 11. – 52 – 56.
3. Воронцов А. В. Гетерогенная фотокаталитическая окислительная деструкция углеродсодержащих соединений на чистом и платинированном диоксиде титана: автореф. дис. д-ра хим. наук. – Новосибирск, 2009. – 35 с.
4. Parkin I. P., Clark R. J. H., Mills A., O'Neill S. A, Elliott N. Novel TiO_2 CVD films for semiconductor photocatalysis // *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*. – 2002. – V. 151. – №1-3. – P. 171-179.
5. Yang T.-S., Shiu C.-B., Wong M.-S. Structure and hydrophobicity of titanium oxide films prepared by electron beam evaporation // *Surf. Sci.* 2004. – V. 548. – № 1-3. – P. 75-82.
6. ТОО «Тенре-Аэролайф». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.tenre-airlife.kz/ru/428-tehnologija_fotokataliza.html (дата обращения: 10.04.2017).
7. Tanaka K., Mario F.V. Capule, Hisanaga T. Effect of crystallinity of TiO_2 on its photocatalytic action // *Chemical Physics Letters*. – 1991. – V.187. – №1. – P. 73-76.
8. Ohno T., Sarukawa K., Tokieda K., Matsumura M. Morphology of a TiO_2 Photocatalyst Consisting of Anatase and Rutile Crystalline Phases // *Journal of Catalysis*. – 2001. – V.203. – №1. – P. 82-86.
9. Sclafani A., Herrmann J. M. Comparison of the Photoelectronic and Photocatalytic action // *J. Phys. Chem.* – 1996. – V. 100. – P. 13655-13661.

10. Heintz O., Robert D., Weber J.V. Comparison of the degradation of benzamine and acetic acid on different TiO₂ photocatalysts // J. Photochem. Photobiol. A Chem. – 2000. – V. 135. – P. 77-80.

11. Шаповалов В.И. Плёнки оксида титана в задачах экологии: технология, состав, структура, свойства // Вакуумная техника и технология – 2007. – Т.17. – №3. – С. 233-256.

12. Van de Krol R., Goossens A. Structure and properties of anatase TiO₂ thin films made by reactive electron beam evaporation // J. Vac. Sci. Technol. – 2003. – V. 21. – P. 76.

13. Chen S.F., Wang C.W. Effects of deposition temperature on the conduction mechanisms and reliability of radio frequency sputtered TiO₂ thin films // J. Vac. Sci. Technol. B. – 2002. – V. 20. – № 1. – P. 263-270.

14. Морозов А.Н. Синтез и каталитические свойства наноструктурированных покрытий диоксида титана: дис. к.т.н. – Москва, 2014. – 144 с.

15. Национальный открытый университет «Интуин». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.intuit.ru/studies/courses/12180/1173/lecture/19620> (дата обращения: 10.04.2017)

16. Bessergenev V.G., Khmelinskii I.V., Pereira R.J.F., Krisuk V.V., Turgambaeva A.E., Igumenov I.K., Preparation of TiO₂ films by CVD method and its electrical, structural and optical properties // Vacuum. – 2002. – V.64. – P. 275-279.

17. Masahiko M., Teruyoshi W. Evaluation of photocatalytic properties of titanium oxide films prepared by plasma-enhanced chemical vapor deposition// Thin Solid Films. – 2005. – V. 489. – P.320.

18. Rong Tu, Takashi Goto. High Temperature Stability of Anatase Films Prepared by MOCVD// Materials Transactions. – 2008. – V.49. – P. 2040-2046.

19. Кузьмичев А.И., Лобанов В.И. Устройство для распыления магнитных материалов в вакууме. Авт. свид. СССР. 1 707 994; заявл. 14.02.1990; опубл. 22.09.1991.

20. Данилин Б.С., Сырчин В.К. Магнетронные распылительные системы. – М.: Радио и связь, 1982. – 70 с.
21. Электронный научно-практический журнал «Современная техника и технологии». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://technology.snauka.ru/2014/10/4595> (дата обращения: 10.04.2017)
22. Кузьмичев А.И. Магнетронные распылительные системы. Книга 1: Введение в физику и технику магнетронного распыления. – К.: Аверс, 2008. – 244 с.
23. Takahashi T., Nakabayashi H., Terasawa T., Masugata K. Atomic force microscopy observation of TiO₂ films deposited by dc reactive sputtering // J. Vac. Sci. Technol. A. – 2002. – V. 20. – № 4. – P. 1205-1209.
24. Mikula M., Ceppan M., Kindernay J., Buc D. Photoelectrochemical properties of TiO_x layers prepared by DC pulsed unbalanced reactive magnetron sputtering // Czechoslovak Journal of Physics A. – 1999. – V. 49. – № 3. – P. 393-403.
25. Sirghi L., Hatanaka Y. Hydrophilicity of amorphous TiO₂ ultra - thin films // Surf. Sci. – 2003. – V. 530. – P. 323-327.
26. Достанко А.П., Залесский В.Г. Технологические процессы и системы в микроэлектронике: плазменные, электронно-ионно-лучевые, ультразвуковые. – Минск: Бестпринт, 2009.
27. Delpha D., Haemers J., De Gryse R. Discharge Voltage Measurements During Reactive Sputtering of Oxides // Thin Solid Films, 2006. - № 515. - p. 468-471.
28. Руководство пользователя для источника электропитания магнетронной распылительной системы APEL-M-10PDC-800-1. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://apelvac.com/f/37/92/APEL-M-10PDC-800-1.pdf> (дата обращения: 10.04.2017)
29. ООО «Интеллектуальные промышленные системы»: блоки питания магнетронов DC magnetron power supplies. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ips.tomsk.ru/archives/124> (дата обращения: 10.04.2017)

30. Martinez A.I., Acosta D.R., Lopez A.A., Magana C.R. Titanium dioxide thin films: the effect of the preparation method in their photocatalytic properties // Journal of Molecular Catalysis A: Chemical. – 2005. –V. 228. – № 1-2. – P.183-188.
31. Zeman P., Takabayashi S. Effect of total and oxygen partial pressures on structure of photocatalytic TiO₂ films sputtered on unheated substrate// Surface and Coatings Technology. – 2002. –V.153. – P. 93-99.
32. Witit-anun N., Kasemanankul P., Chaiyakun S., Limsuwan P. Structures and Optical Properties of TiO₂ Thin Films Deposited on Unheated Substrate by DC Reactive Magnetron Sputtering // Kasetsart J. (Nat. Sci.). – 2009. – №43. – p. 340-346.
33. Asanuma, T., Matsutani T., Liu C., Mihara T., Kiuchi M. Structural and optical properties of titanium dioxide films deposited by reactive magnetron sputtering in pure oxygen plasma // J. Appl. Phys. – 2004. – 95. – p.6011-6016.
34. Baoxing Z., Jicheng Z., Linyan R. Microstructure and optical properties of TiO₂ thin films deposited at different oxygen flow rates // Trans. Nonferrous Met. Soc. China. – 2010. – №20. – p. 1429-1433.
35. Российская национальная нанотехнологическая сеть: [сайт]. URL: <http://www.rusnanonet.ru/nns/39674/equip/?page=40663>
36. Швец В.А., Спесивцев Е.В., Рыхлицкий С.В. Анализ статической схемы эллипсометрических измерений // Оптика и спектр. – 2004. –Т.97. – № 3. – С. 514-525.
37. Спектрофотометр СФ-2000 // Руководство пользователя. – Санкт-Петербург. – 2000. – 35 с.
38. Takamura K., Abe Y., Sasaki K. Influence of oxygen flow ratio on the oxidation of Ti target and the formation process of TiO₂ films by reactive sputtering // Vacuum. – 2004. – V. 74. – P. 397-401.
39. Cheol Ho Heo, Soon-Bo Lee, Jin-Hyo Boo. Deposition of TiO₂ thin films using RF magnetron sputtering method and study of their surface characteristics // Thin Solid Films. –2005. –V. 475. №1-2. – P. 183-188.

40. Иевлев В.М., Кущев С.Б., Латышев А.Н. Спектры поглощения тонких пленок TiO_2 , синтезированных реактивным высокочастотным магнетронным распылением титана // Физика и техника полупроводников. – 2014. – Т.48. – Вып. 7.

41. 12.2.062-81. Оборудование производственное. Ограждения защитные. - М.: Стандартиформ, 2008. – С. 4.

42. ПБ10-115-96. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением. - ПИО ОБТ, 1996.

43. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к ПЭВМ и организации работы».