

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

Физико-технический институт
Кафедра экспериментальной физики
Направление подготовки: Техническая физика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
ОСАЖДЕНИЕ МЕДНЫХ ПОКРЫТИЙ БОЛЬШОЙ ТОЛЩИНЫ С ПОМОЩЬЮ МАГНЕТРОННОЙ РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ С ЖИДКОФАЗНОЙ МИШЕНЬЮ

УДК 621.793.7:669.33.065:544.344.011-14

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОД31	Рогожников Д.С.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Стар. преподаватель кафедры ЭФ	Юрьева А.В.			

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 технологические процессы и оборудование с использованием современных информационных технологий.	Требования ФГОС (ПК-19, 20). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
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
Универсальные компетенции		
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 – Техническая физика
Кафедра экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой
_____ Кривобоков В.П.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
ОДЗ1	Рогожников Дмитрий Сергеевич

Тема работы:

Осаждение медных покрытий большой толщины с помощью магнетронной распылительной системы с жидкофазной мишенью
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).	Вакуумная ионно-плазменная установка КВО. МРС с твёрдыми мишенями из нихрома и тантала. Магнетронная распылительная система (МРС) с жидкофазной медной мишенью. Тигли из молибдена и графита. Режим работы при мощностях от 2 до 3,5 кВт. Остаточное давление в рабочей камере – 0,015 Па.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	Целью работы является исследование возможности нанесения медных покрытий большой толщины (до 40 мкм) с хорошей адгезией с помощью МРС с жидкофазной мишенью. Задачи: - исследовать способы получения медных покрытий большой толщины; - рассмотреть методы улучшения адгезии (применение подслоя, подогрева и напряжение смещения на подложку); - определить скорости осаждения медных плёнок, полученных с помощью МРС с жидкофазной мишенью;

	- исследовать методы улучшения адгезии на плёнках; - вывести оптимальные условия, для получения медных покрытий большой толщины с хорошей адгезией, с помощью МРС с жидкофазной мишенью.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1) Осаждение медных покрытий большой толщины с помощью магнетронной распылительной системы с жидкофазной мишенью; 2) тонкие плёнки; 3) толстые плёнки; 4) магнетронное распыление металлов из жидкой фазы; 5) адгезия; 6) цель и задачи; 7) МРС с жидкофазной мишенью; 8) экспериментальное оборудование; 9) схема получения медных плёнок; 10) параметры осаждения; 11) скорости осаждения медных плёнок; 12) шероховатость поверхности; 13) влияние подслоя и напряжения смещения на адгезию; 14) заключение; 15) доклады и публикации.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Верховская Марина Витальевна к.э.н., доцент кафедры менеджмента
Социальная ответственность	Гоголева Татьяна Сергеевна к.ф.-м.н., ассистент кафедры ПФ

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Стар. преподаватель кафедры ЭФ	Юрьева Алёна Викторовна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОД31	Рогожников Дмитрий Сергеевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
ОД31	Рогожникову Дмитрию Сергеевичу

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»:

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1.	Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)
2.	Матрица SWOT
3.	Оценка готовности проекта к коммерциализации
4.	Календарный план-графики бюджет НТИ
5.	Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ
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
ОД31	Рогожников Дмитрий Сергеевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
ОДЗ1	Рогожников Дмитрий Сергеевич

Институт	Физико-технический	Кафедра	Экспериментальной физики
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	16.03.01 «Техническая физика»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения:	– вредных проявлений факторов производственной среды (вредные вещества, микроклимат, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующее излучение); – опасных проявлений факторов производственной среды (электрической, пожарной и взрывной природы).
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	– электробезопасность; – вредные вещества; – пожаровзрывобезопасность; – правила безопасности при работе на установке КВО; – требования охраны труда при работе на ПЭВМ.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:	– действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (коллективные и индивидуальные).
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:	– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДЗ1	Рогожников Дмитрий Сергеевич		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа включает в себя 98 страниц, 26 рисунков, 21 таблицу, 12 формул, 36 источников литературы.

Ключевые слова: магнетронная распылительная система; ионно-плазменная установка; влияние материала тигля; скорость осаждения; адгезионная прочность; шероховатость поверхности; металлизация микросхем.

Объектом исследования является медные плёнки большой толщины (до 40 мкм), полученные с помощью МРС с жидкофазной мишенью в различных режимах, из различных тиглей.

Цель работы – оценить возможность нанесения медных покрытий большой толщины (до 40 мкм) с хорошей адгезией с помощью МРС с жидкофазной мишенью.

В процессе исследования получена зависимость скорости осаждения медных плёнок от различных режимов работы жидкофазного магнетрона для молибденового и графитового тиглей. Произведено напыление медных плёнок различной толщины на стеклянные и керамические подложки, с использованием некоторых методов улучшения адгезии (применение подслоя и подача напряжения смещения на подложку). У полученных покрытий была исследована адгезионная прочность.

В результате исследования выяснено: оптимальным режимом высокоскоростного осаждения плёнок меди является работа МРС с жидкофазной мишенью и молибденовым тиглем в режиме самораспыления, при мощности 3,5 кВт.

Наилучшая адгезия со стеклом наблюдается у плёнок толщиной выше 15 мкм с подслоем из нихрома, а также при использовании отрицательного напряжения смещения без применения подслоя.

При осаждении толстых медных плёнок на керамические подложки влияния подслоя на адгезию не выявлено.

Оглавление

Введение.....	13
Глава 1. Способы получения металлических покрытий большой толщины	15
1.1 Метод прямой медной металлизации	15
1.2 Метод холодного газодинамического напыления	19
1.3 Метод термического испарения	21
1.4 Магнетронное распыление	24
1.5 Магнетронное распыление с жидкофазной мишенью.....	27
Глава 2. Методы улучшения адгезии	34
Глава 3. Экспериментальное оборудование	39
3.1 Вакуумная ионно-плазменная установка КВО	39
3.2 Измерение шероховатости поверхности	41
3.3 Измерение толщины покрытия	42
3.4 Измерение адгезии	43
3.4.1 Метод царапання	43
3.4.2 Метод отрыва покрытия	45
Глава 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	47
5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	47
5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	47
5.1.2. Анализ конкурентных технических решений	48
5.1.3. SWOT-анализ.....	51
5.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	55

5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	55
5.2.2 Разработка графика проведения научного исследования	56
5.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	58
5.3.1 Затраты на расходные материалы	59
5.3.2 Основная заработная плата	59
5.3.3 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала.....	61
5.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды	62
5.3.5 Накладные расходы.....	62
5.3.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	63
5.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	63
Глава 6. Социальная ответственность.....	67
6.1 Анализ вредных производственных факторов.....	68
6.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на установке КВО и ПЭВМ.....	69
6.2.1 Организационные мероприятия.....	69
6.2.2 Правила безопасной работы на установке.....	69
6.2.3 Организация рабочего места оператора ПК	71
6.3 Условия безопасной работы.....	74
6.3.1 Гигиенические требования к микроклимату	74
6.3.2 Шумовые загрязнения	75
6.3.3 Требования к освещению	76
6.4 Электробезопасность	76
6.4. Пожарная взрывная безопасность	78

Список публикаций.....	80
Список используемой литературы	81

Введение

На сегодняшний день нанесение тонкоплёночных покрытий широко распространено. Такие покрытия применяются в очень многих сферах, например, электронике, схемотехнике, микропроцессорной технике, медицине, оптике и приборостроении. Поскольку тонкие пленки позволяют относительно легко получить новые свойства объекта, воздействуя только на его поверхность [1], они широко применяются в качестве упрочняющих, светоотражающих, проводящих и диэлектрических покрытий.

Однако существуют отрасли промышленности, использующие покрытия большой толщины, и их задачи требуют гораздо более высоких скоростей осаждения. Например, металлизация керамики для СВЧ электроники выполняется путем осаждения на её поверхность медного покрытия толщиной до 300 мкм [2]. На данный момент такая процедура преимущественно осуществляется прямой медной металлизацией (метод DBC). Нанесение меди толщиной около 6 мкм на керамические подложки осуществляется с помощью магнетронных распылительных систем (MPC). Но эта технология имеет значительный недостаток в скорости осаждения, а именно 10-15 нм/с. Также полученные этим методом плёнки могут иметь примеси рабочего газа, что возможно снижает их проводимость.

Получаемые покрытия должны обладать высоким сцеплением с подложкой, иначе говоря – адгезией. Данная характеристика очень важна независимо от вида покрытий и их назначения.

Подобные технологические запросы вынуждают вести поиск новых решений, которые позволят увеличить скорость и качество осаждённых покрытий.

В данной работе будут исследоваться плёнки меди значительной толщины, используемые для различных токопроводящих соединений в микросхемах.

Одним из перспективных методов производства покрытий является магнетронное распыление металлов из жидкой фазы. Оно позволяет соединить достоинства двух различных методов: термического испарения и ионного распыления. Пленки, полученные первым способом, отличаются высокой скоростью нанесения и чистотой, но обладают значительно худшими адгезионными свойствами. Магнетронное осаждение более технологично и получаемые плёнки обладают хорошей адгезией. В процессе работы МРС с жидкофазной мишенью при достаточно высоких плотностях энергии возможен переход магнетронного разряда в режим, при котором в качестве рабочего газа выступают атомы распыленного материала, что снижает загрязнение пленок частицами газовой среды. МРС с жидкофазной мишенью имеют очень высокую производительность, но трудны в изготовлении. Помимо этого данные системы слабо изучены, что служит препятствием для их практического использования [3].

Целью работы является исследование возможности нанесения медных покрытий большой толщины (до 40 мкм) с хорошей адгезией с помощью МРС с жидкофазной мишенью.

В соответствии с целью, были сформулированы задачи:

- 1) исследовать способы получения медных покрытий большой толщины;
- 2) рассмотреть методы улучшения адгезии (применение подслоя, подогрева и напряжение смещения на подложку);
- 3) определить скорости осаждения медных плёнок, полученных с помощью МРС с жидкофазной мишенью;
- 4) исследовать методы улучшения адгезии;
- 5) определить оптимальные условия для получения медных покрытий большой толщины с хорошей адгезией, полученных с помощью МРС с жидкофазной мишенью.

Глава 1. Способы получения металлических покрытий большой толщины

1.1 Метод прямой медной металлизации

Основные применения технологии прямой медной металлизации (Direct Bond Copper, далее DBC) – это усилители мощности, инверторы и преобразователи типа DC/DC.

Производство подложек DBC осуществляется по особой технологии. Принцип данной технологии показан на рис. 1.1 в левой колонке. Медная пластина, покрытая тонким слоем оксида меди и находящаяся в тесном контакте с керамикой Al_2O_3 , нагревается до температуры 1065-1085 °С. В то время как сама медная пластина остается твердой, происходит эвтектическая связь и взаимная диффузия молекул кислорода в зоне контакта медной фольги с керамикой:



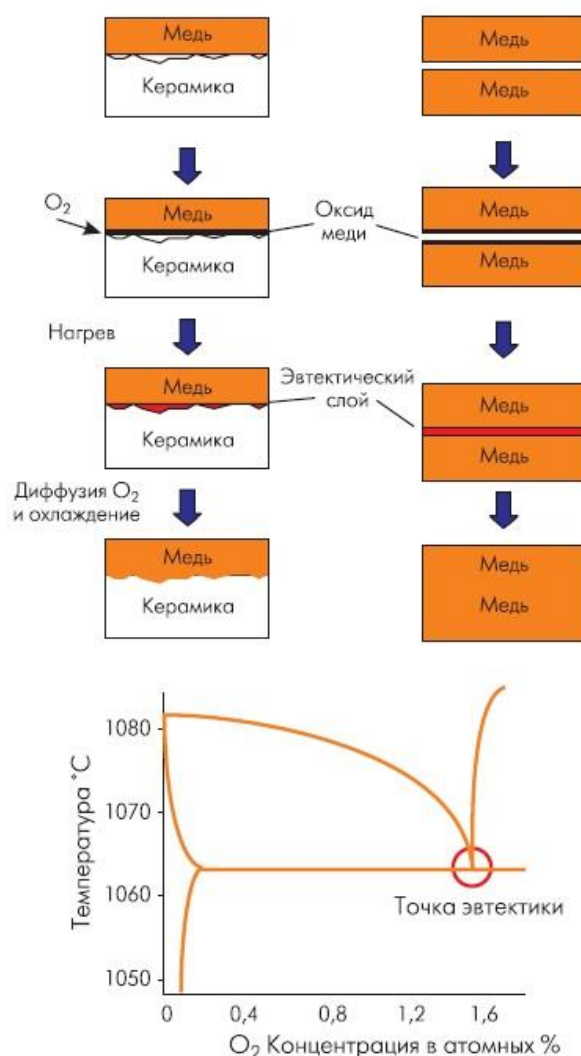


Рисунок 1.1 – Принципиальная схема технологии DBS [4]

Слой, получающийся в результате реакции, слишком тонок, чтобы его можно было увидеть с помощью обычного микроскопа.

После того, как связь «медь-керамика» образовалась, пластина охлаждается. Если парциальное давление кислорода и температура в печи установлены правильно, связь образуется равномерно, без расслоений. Подложки, как правило, имеют равную толщину меди с двух сторон керамики.

Таким же образом можно создавать более сложные структуры, как показано на рис. 1.1 в правой колонке. Технология посадки меди на медь позволяет создавать сложные трехмерные теплообменники водяного охлаждения.

Для осуществления процесса DBC с керамикой на основе нитрида алюминия поверхность нитрида алюминия должна быть преобразована в оксид алюминия посредством нагрева и воздействия кислорода, как показано на рис. 1.2.

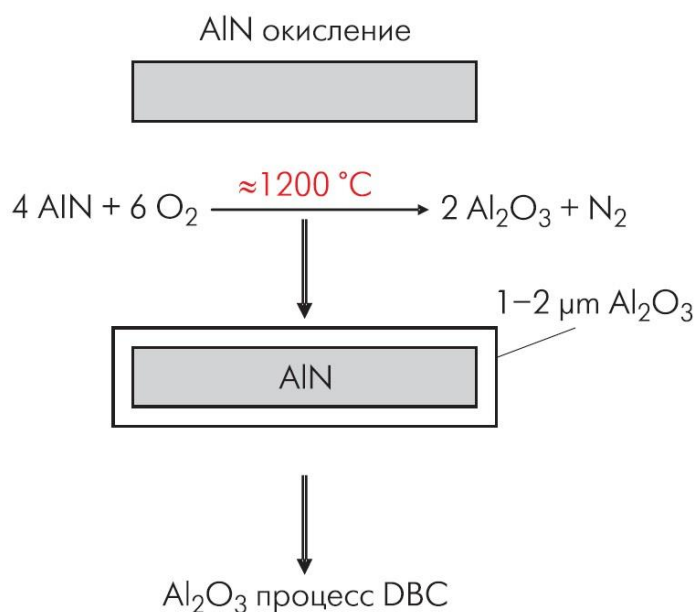


Рисунок 1.2 – Процесс AlN DBC [4]

При соответствующих условиях слой оксида алюминия становится достаточно плотным, что бы процесс DBC проходил без появления каверн.

Стандартный размер заготовок («мастер-карт») DBC на основе оксида алюминия составляет 5” x 7” (12,7 x 17,78 см).

Структурирование меди можно выполнить либо до начала процесса посадки меди на керамику, либо после.

В первом случае посадка проводится путём предварительного травления слоя. Отдельные медные части удерживаются вместе медными мостиками, которые удаляются после посадки. Во втором случае структурирование осуществляется так же, как и в технологии изготовления печатных плат, как показано на рис. 1.3.

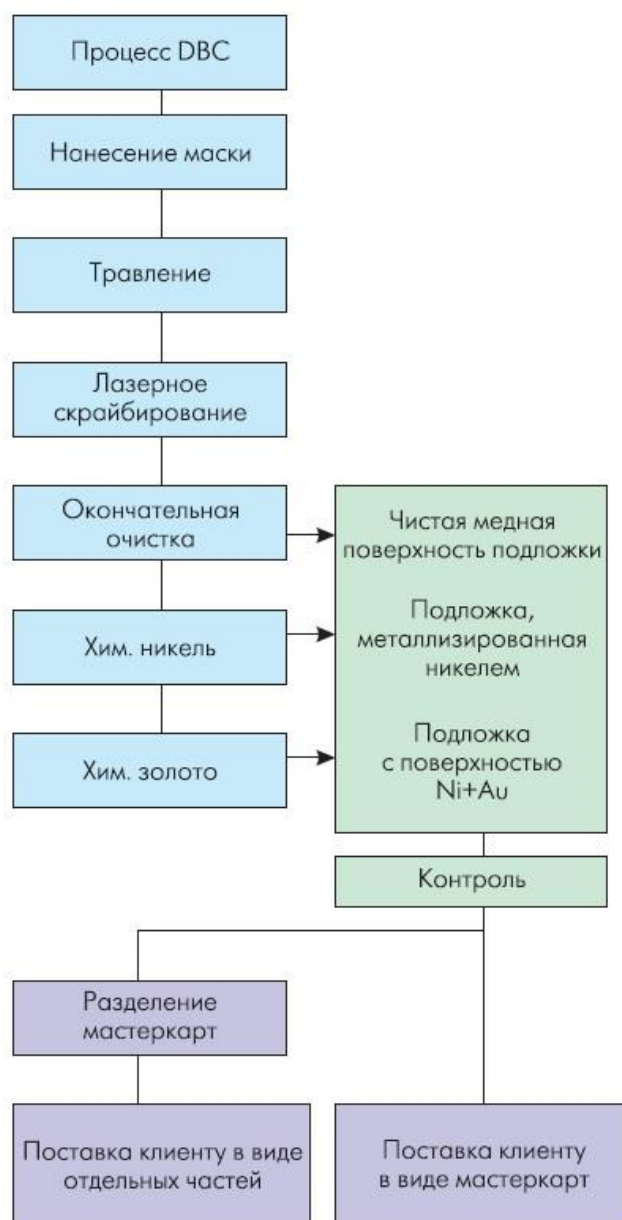


Рисунок 1.3 – Технология изготовления DBC [4]

Маска травильного резиста наносится либо путём фотолитографии, либо по технологии трафаретной печати. После травления на подложку наносятся линии лазерного скрайбирования и производится окончательная обработка поверхности – окончательное травление, нанесение слоёв химического никеля и золота, полировка и т.д. [4].

К недостаткам этого метода относится необходимость поддержания высоких температур длительное время для постепенного остывания, чтобы не было деформаций и частичного отслоения плёнок. Много времени расходуется на получение плёнки с двух сторон, т.к. необходимо производить два полных

цикла металлизации, причём при втором цикле, первая плёнка может деформироваться.

1.2 Метод холодного газодинамического напыления

Медные плёнки большой толщины могут быть нанесены на рабочие инструменты, для работы в пожароопасных помещениях. Такие инструменты при ударе о металлические предметы не должны давать искры.

На предприятии «Обнинский центр порошкового напыления» [5] был разработан метод холодного газодинамического напыления (ХГН) металлических покрытий, схема аппарата которого представлена на рис. 1.4.

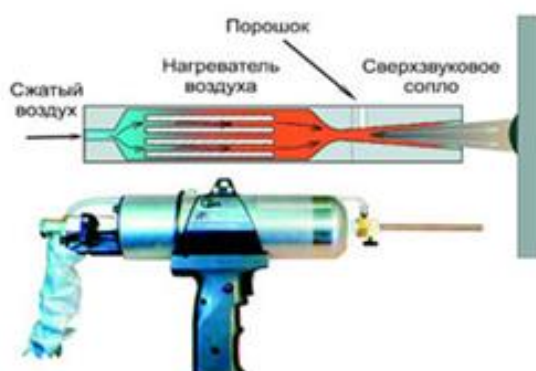


Рисунок 1.4 – Схема аппарата для напыления металлических покрытий [5]

Металл плавят газовыми горелками, электрической дугой, низкотемпературной плазмой, индукторами и даже взрывчатыми веществами. Соответственно методы металлизации называют газопламенным напылением, электродуговой и высокочастотной металлизацией, плазменным и детонационно-газовым напылением.

В процессе газопламенного напыления металлический пруток, проволоку или порошок плавят и распыляют в пламени горелки, работающей на смеси кислорода с горючим газом. При электродуговой металлизации материал плавится электрической дугой. В обоих случаях капельки металла

перемещаются к напыляемой подложке потоком воздуха. При плазменном напылении для нагрева и распыления материала используется струя плазмы, формируемая плазматронами разных конструкций. Детонационно-газовое напыление происходит в результате взрыва, разгоняющего металлические частицы до огромных скоростей.

В каждом случае, напыляемые частицы приобретают энергию двух видов. Во первых тепловую, получаемую от источником нагрева, а во вторых кинетическую, приобретаемую от газового потока (рис. 1.5). Каждый вид энергии вносит свою долю в формировании получаемого покрытия, а также задаёт ему свойства и структуру. Кинетическая составляющая (за исключением детонационно-газового метода) мала по сравнению с тепловой, и характер их соединения с подложкой и между собой определяется термическими процессами: плавлением, кристаллизацией, диффузией, фазовыми превращениями и т.д. Покрытия чаще всего характеризуются хорошей прочностью сцепления с подложкой (адгезией), а также низкой однородностью, в связи с большим разбросом параметров по сечению газового потока.

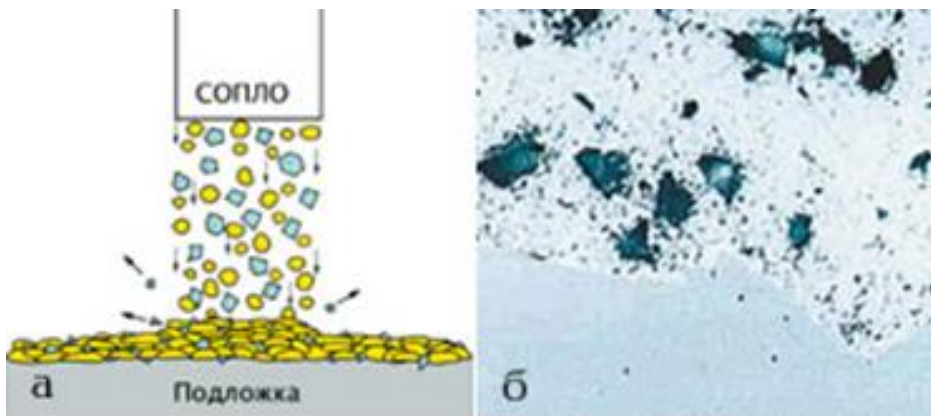


Рисунок 1.5 – Летящие с огромной скоростью частицы металла при соударении с подложкой привариваются к ней, а частицы керамики уплотняют покрытие (а); на шлифе слоя металла видны застрявшие керамические частицы (б) [5]

Покрытия, создаваемые газотермическими методами, имеют множество недостатков. Главным является высокая пористость, если не было задумано специально получить покрытие пористым, как в некоторых деталях радиоламп.

Помимо этого возникают высокие внутренние напряжения, в связи с быстрым охлаждением металла на поверхности. Напыляемая деталь испытывает нагрев и её может «повести», при наличии сложной формы. Также, использование горючих газов и наличие высоких температур в зоне напыления, приводят к усложнению мер по обеспечению безопасности персонала.

Детонационно-газовый метод включает в себя взрыв, скорость частиц в котором достигает 1-2 км/с и главным фактором определения качества покрытия, является их кинетическая энергия. Полученные покрытия обладают высокой адгезией и низкой пористостью. Главным недостатком является то, что взрывными процессами крайне сложно управлять, и получать стабильные и воспроизводимые результаты практически невозможно.

Детонационно-газовым методом получают покрытия только из относительно пластичных металлов, таких как: медь, алюминий, цинк, никель и др. Далее покрытия можно подвергать всем известным способам механической обработки: сверлению, фрезеровке, заточке, шлифовке, полировке [5].

Несомненное достоинство метода ХГС – это возможность применять в полевых условиях.

1.3 Метод термического испарения

Данный метод заключается в испарении металла или сплава в вакууме и в дальнейшем конденсации его паров на поверхности подложек. В большей степени от чистоты подложки будет зависеть качество и прочность получаемых пленок. В связи с этим поверхность подложки перед напылением полируется и тщательно очищается различными способами.

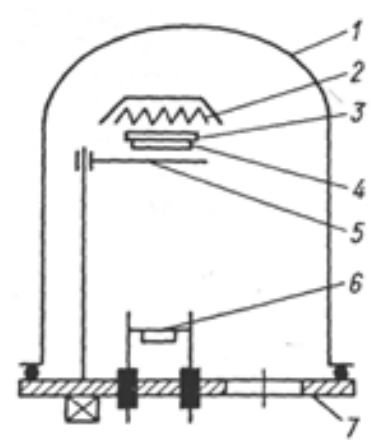


Рисунок 1.6 – Схема процесса термического напыления [6]

Метод термического напыления (рис. 1.6) заключается в следующем: рабочая камера вакуумной установки представляет собой цилиндрический металлический или стеклянный колпак 1, который устанавливается на опорной плите 7. Между колпаком и плитой находится резиновая прокладка, обеспечивающая вакуумплотное соединение. Внутри рабочей камеры расположены: подложка 4, которая закрепляется на держателе 3, нагреватель подложки 2 и испаритель 6 для нагрева напыляемых веществ. Между испарителем и подложкой устанавливается заслонка 5, позволяющая в нужный момент прекращать попадание испаряемого вещества на подложку. Рабочая камера откачивается вакуумным насосом. Остаточное давление под колпаком измеряется специальным прибором – вакуумметром.

Процесс получения пленок методом термического испарения можно разбить на следующие этапы:

- испарение исходного вещества;
- перенос его от испарителя к подложке, в процессе которого частицы испаренного вещества, соударяясь с подложкой, теряют часть своей кинетической энергии и осаждаются на подложке;
- поверхностная диффузия адсорбированных частиц и образование зародышей;
- рост зародышей - островков;
- срастание островков в сплошную пленку;

- рост сплошной пленки и рекристаллизация;
- нарастание пленки.

Испарение вещества происходит при его нагревании. При этом кинетическая энергия его атомов и молекул возрастает и становится достаточной для того, чтобы они оторвались от поверхности и распространились в окружающем пространстве. С повышением температуры энергия увеличивается и количество молекул, отрывающихся от поверхности, возрастает.

Зародышеобразование – столкновение атомов или молекул пара с подложкой. В результате столкновения частицы пара могут адсорбироваться и прочно закрепиться на подложке.

Процесс формирования сплошной пленки происходит следующим образом: срастающиеся островки имеют произвольную относительную ориентацию, подчиняющуюся случайному закону распределения. Во время срастания происходит рекристаллизация, поэтому размер зерен растет.

Рассмотренный метод позволяет получать пленки разной толщины. Она регулируется изменением скорости или времени конденсации.

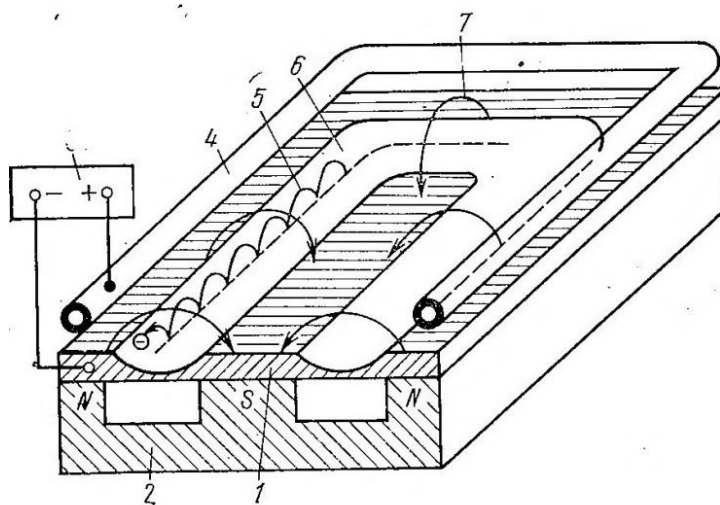
К достоинствам метода термического испарения относятся: высокая чистота технологического процесса; возможность нанесения тонких проводящих пленок из металлов, сплавов и комбинированных (одновременным испарением нескольких металлов или сплавов); использования масок для получения различной конфигурации напыляемых пленок.

У термического испарения присутствует и ряд существенных недостатков, таких как: непроизводительные потери дефицитного испаряемого материала, который осаждается на всех поверхностях рабочей камеры; веществ с высокой температурой плавления вызывает ряд осложнений, а иногда и совсем неосуществимо; в некоторых случаях не обеспечивается необходимая механическая или химическая прочность образующихся покрытий; нанесение пленок на поверхности деталей сложных конфигураций и больших размеров вызывает ряд технологических трудностей.

1.4 Магнетронное распыление

Магнетронные распылительные системы получили свое название от СВЧ приборов (магнетронов), в работе которых используются скрещенные электрические и магнитные поля. Данные устройства широко используются в вакуумных установках для осаждения тонких плёнок на поверхность твёрдых тел. Формирование покрытия происходит путём распыления их мишеней ионами рабочего газа, которые образуются в плазме аномально тлеющего разряда. Для этих систем характерна высокая скорость напыления, которая достигается за счёт увеличением плотности ионного тока благодаря локализации плазмы у поверхности мишени с помощью магнитного поля [7].

Схема МРС представлена на рис. 1.7. Основными элементами системы являются: мишень 1, анод 4 и магнитная система 2. Силовые линии 7 магнитного поля замыкаются между полюсами магнитной системы. Поверхность мишени, расположенная между местами входа и выхода силовых линий магнитного поля, интенсивно распыляется и имеет вид замкнутой дорожки 6, геометрия которой определяется формой полюсов магнитной системы. Для охлаждения мишени в корпус МРС подаётся вода.



1 – мишень; 2 – магнитная система; 3 – блок питания; 4 – анод; 5 – траектория движения электрона; 6 – зона эрозии поверхности катода; 7 – силовые линии магнитного поля.

Рисунок 1.7 – Схема МРС с плоской мишенью [7]

Для работы МРС размещается в вакуумную камеру. При этом обеспечивается её электрическая изоляция от камеры и находящегося в ней оборудования. После откачки объёма, в него напускается рабочий газ. Магнитная ловушка облегчает зажигание разряда, обеспечивая в своей области концентрацию электронов большую, чем в остальном объёме.

Подавая постоянное напряжения между мишенью (отрицательный потенциал) и анодом (положительный потенциал), электроны, которые концентрируются в магнитной ловушке, приобретают дополнительную энергию от приложенного к МРС электрического поля. После того, как величина напряжения достигнет некоторого значения, достаточного для того чтобы электроны смогли ионизовать частицы рабочего газа происходит их быстрая лавинообразная ионизация, по виду напоминающая цепную реакцию. Таким образом, в газовой среде возникает плазменный разряд (рис. 1.8).



Рисунок 1.8 – Магнетронный разряд

Образовавшиеся в прикатодной области ионы, практически по прямолинейным траекториям бомбардируют поверхность мишени, выбивая из нее атомы и инициируя выход вторичных электронов.

Под действием ионной бомбардировки с катода эмитируются электроны, которые захватываются магнитным полем. В итоге электроны производят сложное циклоидальное движение по замкнутым траекториям у поверхности

мишени. Электроны попадают в некую ловушку, которую с одной стороны создаёт магнитное поле, которое возвращает электроны на катод, а с другой стороны – поверхность мишени, которая отталкивает электроны. Электроны перемещаются в этой ловушке, пока не произведут несколько ионизирующих столкновений с атомами рабочего газа, после чего электрон теряет полученную ранее от электрического поля энергию.

Таким образом, большая часть энергии электрона, прежде чем он попадет на анод, используется на ионизацию, что значительно увеличивает эффективность этого процесса и приводит к возрастанию концентрации положительных ионов у поверхности катода. Что в свою очередь обуславливает увеличение интенсивности ионной бомбардировки поверхности мишени и рост скорости распыления, а, следовательно, и скорости осаждения пленки.

Основные рабочие характеристики магнетронных распылительных систем – напряжение между электродами, ток и мощность разряда, плотность тока на мишени, величина индукции магнитного поля и давление рабочего газа. От величины и стабильности перечисленных параметров, которые взаимно связаны между собой, зависят стабильность разряда и воспроизводимость процесса нанесения тонких пленок.

Магнетронные распылительные системы представляют собой одни из наиболее используемых в современных плазменных технологиях средств осаждения тонких плёнок.

Их популярность обусловлена следующими причинами. Конструкция МРС относительно проста (рис. 1.7). Она обеспечивает осаждение однородных и равномерных по толщине покрытий на плоские поверхности большой площади. С помощью МРС получают плёнки из металлических (в том числе и тугоплавких), оксидных, нитридных, полупроводниковых материалов. Слабое тепловое воздействие позволяет использовать такие подложки как полимерные плёнки. Помимо этого, необходимо отметить хорошую управляемость МРС, возможность использования относительно недорогих и экологически чистых газов (например, аргона, кислорода, азота) и т.д.

Одним из основных недостатков является относительно малый коэффициент использования мишени 20-30%.

1.5 Магнетронное распыление с жидкофазной мишенью

Как уже говорилось выше магнетронное распыление металлов из жидкой фазы, позволяет соединить достоинства двух различных методов: термического испарения и ионного распыления.

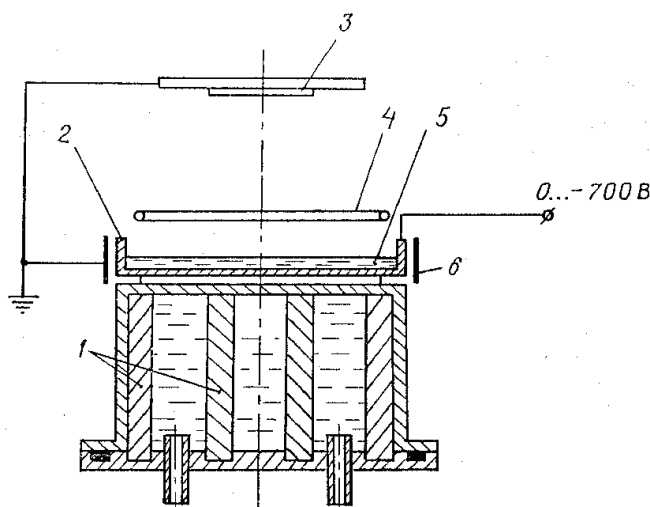
Рассмотренные выше методы нанесения покрытий обладают как своими преимуществами, так и недостатками. Возникает проблема, с помощью какого метода можно объединить все положительные характеристики нанесения покрытий.

В магнетронных распылительных системах скорости осаждения материалов достигают 1,5 мкм/мин, однако, эти скорости отнюдь не предел, поскольку они ограничены не возможностями самой системы, а критической удельной мощностью, которую выдерживает материал мишени без расплавления.

Для материала в твердом состоянии максимально допустимая мощность, а, следовательно, и скорость распыления ограничиваются его теплопроводностью. У большинства металлов при нагревании теплопроводность медленно понижается и при переходе из твердого состояния в жидкое состояние ее суммарное увеличение чаще всего не превосходит пятикратного значения. В расплавленном состоянии к мишени можно подводить большие мощности, увеличивая тем самым скорость генерации вещества и повышая температуру расплава до такого значения, при котором наряду с распылением начинается интенсивный процесс испарения. В связи с этим наиболее целесообразно тратить тепловую энергию на производство вещества путем его испарения и тем самым объединить процесс распыления и испарения в единый распылительно-испарительный процесс [8].

Такому процессу соответствует магнетронное распыление из жидкой фазы. МРС с жидкофазной мишенью обладают очень высокой производительностью, но трудны в исполнении. Кроме того, они слабо изучены, и это служит препятствием для их практического использования. Рассмотрим далее известные конструкции магнетронов данного типа.

Первое упоминание о магнетронных распылительных системах с жидкофазной мишенью представлено в работе [9]. Для осаждения металлов из жидкой фазы используется МРС, представленная на рис. 1.9.



1 – магнитная система тигель, 2 – тигель, 3 – подложка, 4 – экран,
5 – мишень, 6 – анод.

Рисунок 1.9 – Схема устройства для распыления из жидкой фазы [8]

Сразу под тиглем 2, изготовленным из немагнитного материала, располагают водоохлаждаемую магнитную систему 1, между корпусом которой и тиглем 2 сделан зазор, который ограничивает отвод тепла от тигля во время его разогрева. В тигель помещают металлические диски 5 из Al или Cu, которые выполняют роль мишени. Для снижения лучистого оттока тепла от тигля применяется радиационный экран 4. Анод 3 в виде охлаждаемой медной трубки располагают на расстоянии 25 мм над тиглем [8].

В предварительно откачанную до высокого вакуума ($P < 10^{-3}$ Па) камеру напускался аргон при давлении 0,6-1,3 Па, после чего на тигель по отношению к аноду подавалось отрицательное напряжение величиной до 700 В. При этом загорался разряд, локализованный у поверхности мишени магнитным полем.

Материал мишени за счет интенсивной ионной бомбардировки в течение 5-10 мин переходил в жидкое состояние. Сначала расплавлялась зона горения разряда, затем центральная часть мишени и, наконец, краевая ее область. С появлением жидкой фазы свечение разряда становилось более интенсивным, ток разряда возрастал (рис. 1.10, кривая 2), а напряжение на разрядном промежутке за счет ограниченной мощности источника питания снижалось (рис. 1.10, кривая 1). Характерно, что если в обычной МРС, когда распыляемая мишень находится в твердой фазе, разряд гаснет при $P < 10^{-1}$ Па, то при распылении из жидкой фазы разряд устойчиво горел при $P \approx 1 \cdot 10^{-2}$ Па. Это может быть объяснено, как явлением самораспыления мишени под воздействием на нее интенсивного потока ионов распыленного металла, так и высокой упругостью пара распыляемого материала. Это говорит о том, что, когда давление пара распыляемого металла возрастает настолько, что процесс ионизации паров станет достаточно интенсивным, чтобы поддерживать горение разряда, можно прекратить напуск аргона, что существенно снизит загрязнение пленки активными газами, содержащимися в аргоне.

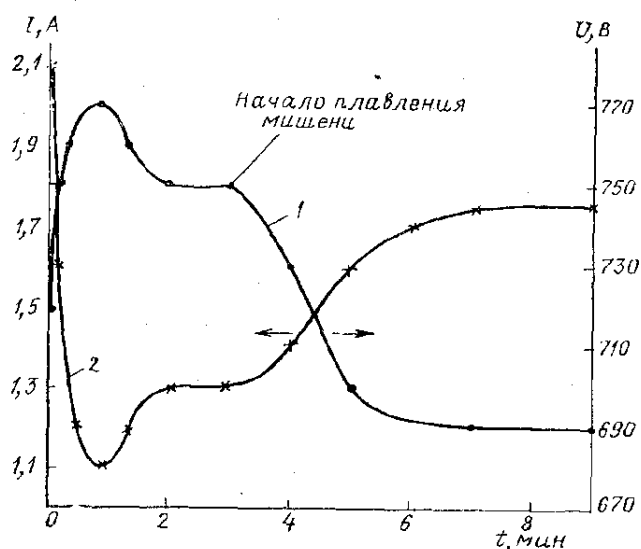


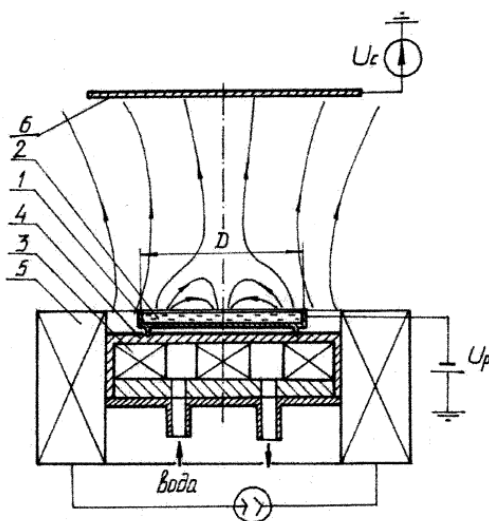
Рисунок 1.10 – Изменение напряжения (1) и тока (2) разряда во времени [8]

При мощности источника питания 1,5 кВт, плотности мощности на мишени 40 Вт/см^2 , плотности ионного тока 70 мА/см^2 и расстоянии от мишени до подложки 5 см скорость осаждения меди составляет от 4 до 5 мкм/мин, что в

100-120 раз превышает скорости, характерные для диодной системы распыления на постоянном токе. Следует также отметить, что подача на подложку отрицательного смещения 100 В вызывает ионный ток к подложке, величина которого составляет 25% разрядного тока. Это позволяет улучшить адгезию и другие свойства пленок [9].

Основным недостатком такой конструкции является дисковое исполнение мишени и тигля. За счет этого происходит неравномерное плавление мишени, т.к. мишень плавится сначала в зоне горения плазмы (по кольцу), затем ее центральная часть и т.д. И из-за разницы температур зоны расплава и краев мишени происходит ее «разрыв», следовательно, магнитное поле гасится и разряд гаснет. Место разрыва нельзя заполнить дополнительным материалом, разряд гаснет и таким образом мишень требует переплавки.

Еще одна конструкция МРС с жидкофазной мишенью изображена на рис. 1.11. [10].



1 – тигель; 2 – расплав материала катода-мишени; 3 – магнитная система; 4 – корпус магнетрона; 5 – внешняя электромагнитная катушка; 6 – подложка.

Рисунок 1.11 – Магнетрон с жидкометаллическим катодом [10]

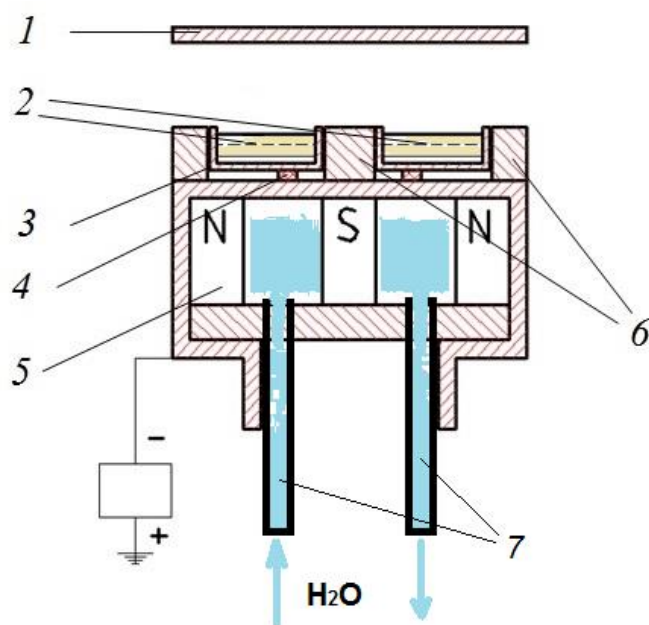
Здесь распыляемый материал (2) помещался в тигель (1) из тугоплавкого немагнитного материала. Тигель изготавливался из вольфрамовой фольги. В качестве материала мишени использовались алюминий, медь, свинец и олово. Для препятствия отвода тепла от тигля, между тиглем и магнитной системой, с водяным охлаждением, делается маленький зазор, шириной около 2 мм. Тигель

устанавливался на магнитную систему на иглообразных ножках, которые помещались в пазы корпуса магнитной системы, тем самым обеспечивая фиксацию тигля в определенном положении относительно магнитной системы, так чтобы магнитное поле над мишенью было арочной конфигурации, а так же эта фиксация создаёт дужный изолированный от тепла зазор, с минимально возможной площадью контакта с охлаждаемой частью поверхности. Тигель имеет форму цилиндра диаметром $d_m = 50$ мм и высотой $h_m = 5$ мм. Заготовки распыляемых металлов представляют собой диски диаметром $d_3 = 45$ мм и высотой $h_3 = 3$ мм. Тигель содержит четыре ножки, площадь зоны контакта каждой ножки с корпусом магнитной системы примерно $1,96 \cdot 10^{-7}$ м². Арочное магнитное поле над мишенью создается магнитной системой на постоянных неодимовых магнитах. Магнитная система состоит из центрального магнита и внешнего магнитного кольца (3) которые закреплены на пластине из ферромагнитного материала и помещены в медный корпус с водяным охлаждением (4).

Для регулирования площади распыляемой поверхности использовалась внешняя электромагнитная катушка (5). Число витков $n=1000$, ток катушки менялся в диапазоне от 0 до 8 А. Изменяя направление и силу тока во внешней катушке можно воздействовать на величину магнитной индукции и конфигурацию магнитного поля над поверхностью мишени. Магнетрон и электромагнитная катушка крепятся на корпус вакуумной камеры, являющейся анодом [10].

Недостатком данной конструкции является его маленькие размеры. Данный магнетрон сложен в реализации и его невозможно использовать при напылении пленок на подложки большой площади. Также в данной системе нет процесса испарения, что соответственно снижает скорости распыления.

Следующий вид магнетронной распылительной системы с жидкофазной мишенью представлен на рис. 1.12.



1 – подложка, 2 – кольцевая мишень, 3 – тигель, 4 – керамические изоляторы, 5 – магнитная система, 6 – полюсные наконечники, 7 – система охлаждения.

Рисунок 1.12 – Конструкция МРС с жидкофазной мишенью [7]

В отличие от классических систем здесь мишень расположена в тигле 3. Обычно тигель изготавливают в виде плоского диска или кольца. С помощью специальных керамических вставок 4 он теплоизолируется от охлаждаемой магнитной системы 5. Это позволяет разогревать мишень до температуры, достаточной для испарения вещества. Главное различие этой конструкции и классической МРС заключается в том, что тигель и мишень выполняются в виде кольца. Магнитное поле создается постоянными магнитами, индукция на поверхности мишени составляет примерно 0,08 Тл. Напряжение разряда находилось в пределах от 180 до 440 В, при плотности тока 7-20 мА/см² [11].

Магнетронные распылительные системы с жидкофазной мишенью являются высокоскоростным способом металлических покрытий. Это объясняется сочетанием распылительного и испарительного процессов. Из всех представленных конструкций более эффективной является модель, в которой используются тигель и мишень в виде кольца. Данная система решает большинство проблем, связанных с реализацией конструкции данного метода.

Жидкофазная магнетронная распылительная система (ЖМРС) имеет ряд особенностей в использовании, а именно:

- 1) необходимость шлюзовой камеры, в связи с тем, что для напуска воздуха и изъятия подложки необходимо ждать остывания мишени (иначе от перепада температур треснет тигель);
- 2) тигель и распыляемый материал (мишень) не должны химически взаимодействовать;
- 3) тигель должен быть тугоплавким, а мишень легкоплавкой;
- 4) тигель и мишень не должны растворяться друг в друге.

Глава 2. Методы улучшения адгезии

Адгезия – (лат. *adhaesio* – прилипание, сцепление, притяжение) – поверхностное явление, которое заключается в возникновении механической прочности при контакте поверхностей двух разных тел (конденсированных фаз). Причиной адгезии является молекулярное притяжение контактирующих фаз или их химическое взаимодействие. Явление адгезии лежит в основе образования прочного контакта (склеивания) между твердым телом – субстратом и клеящим агентом – адгезивом, являющимися основными компонентами адгезионного соединения [12]. У исследуемых толстых медных плёнок субстратом является подложка из стекла или керамики, а адгезивом либо сама медь, либо промежуточные слои других металлов, которые обладают высоким потенциалом взаимодействия как с подложкой, так и с плёнкой.

В качестве количественной характеристики адгезии берётся работа адгезии W_a – это та работа, которая необходима для обратимого изотермического разделения двух приведенных в контакт конденсированных фаз по площади единичного сечения. Ее можно представить в следующем виде:

$$W_a = w \cdot N, \quad (2)$$

где w – средняя энергия единицы связи, обеспечивающей адгезию, N – число связей, приходящихся на единицу площади контакта адгезива и субстрата.

Число N определяется площадью фактического контакта между адгезивом и субстратом, которая зависит от свойств поверхностей адгезива и субстрата: энергетических характеристик поверхностей контактирующих фаз, шероховатости поверхности субстрата, условий формирования адгезионного соединения, тепловых и механических свойств адгезива и субстрата и пр.

Следует различать адгезию и адгезионную прочность.

Адгезия – явление, характеризующееся обратимой термодинамической работой адгезии $[W_a] = \text{Дж/м}^2$. Эта величина определяется физико-химическими характеристиками контактирующих поверхностей (включая их структуру), она

инвариантна по отношению к методу измерения и не зависит от условий формирования адгезионного соединения.

Адгезионная прочность – сила, необходимая для разрушения адгезионного соединения, отнесенная к площади адгезионного контакта $[\tau_0] = \text{Н/м}^2$ или к ширине пленки $[\tau_0] = \text{Н/м}$ или $[\tau_0] = \text{Н/(м}\cdot\text{с)}$, если учитывается скорость отрыва пленки адгезива от субстрата. Таким образом, даже размерность τ_0 зависит от способа ее определения и от характера приложения усилия, вызывающего разрушение адгезионного соединения. Величина τ_0 также не инвариантна по отношению к методу измерения, поскольку внешнее усилие, вызывающее отделение адгезива от субстрата, тратится не только на преодоление сил адгезии, но и на другие побочные процессы. Наиболее значительные из них – деформация адгезива вследствие одновременного отрыва от поверхности субстрата, преодоление механического зацепления адгезива и субстрата, возникшего из-за шероховатости поверхности или электрических сил в случае, если в результате контакта адгезива и субстрата возникает двойной электрический слой. Таким образом, адгезионная прочность является кинетической величиной. Также необходимо отметить, что τ_0 – статистическая величина, которая определяется случайным распределением дефектов на поверхности раздела «адгезив-субстрат». Поэтому значения адгезионной прочности очень чувствительны к размеру экспериментальных образцов [12].

Изменение адгезии вследствие возникновения двойного электрического слоя в зоне контакта и образования донорно-акцепторной связи для металлов и кристаллов определяется состояниями внешних электронов атомов поверхностного слоя и дефектами кристаллической решётки. Площадь контакта (и величина адгезии) твёрдых тел зависит от их упругости и пластичности. Усилить адгезию можно путём активации, т. е. изменения морфологии и энергетического состояния поверхности механической очисткой, очисткой с помощью растворов, вакуумированием, воздействием электромагнитного

излучения, ионной бомбардировкой, а также введением различных функциональных групп [13].

В большинстве случаев легкоокисляющиеся металлы имеют хорошее сцепление со стеклом и керамикой, поэтому такие металлы как Ti, Cr, Nb, Ta и W, а также некоторые сплавы, например NiCr, применяются в качестве промежуточных слоёв при напылении таких покрытий как Cu, Au и Ag.

Стоит отметить, что химическое состояние поверхности стекла также влияет на адгезию металлических плёнок, поскольку поверхность стекла после изготовления покрыта нейтральным слоем гидроксидов OH, который образуется в результате реакции атмосферной влаги и свежей поверхности стекла. Предполагается, что связывание металла ведётся в результате химической реакции с этим слоем [14].

Учёные постоянно пытаются увеличить адгезионную прочность. На сегодняшний день наиболее распространёнными методами улучшения адгезии являются: нанесение промежуточного слоя, нагрев подложки и подача напряжения смещения на стол с образцами. Также применяется предварительная очистка образцов различными растворителями, а затем ионными пучками.

Промежуточный слой позволяет соединять подложку с напыляемой плёнкой, за счёт высокого потенциала взаимодействия, как с подложкой, так и с плёнкой. Нагрев подложки до определённых температур позволяет снять внутренние напряжения, увеличить диффузию напыляемого материала в поверхность подложки, а также вывести различные дефекты, из получаемой плёнки. Напряжение смещение позволяет дополнительно разогнать ионы в сторону подложки и «утрамбовать» получаемую плёнку.

Автором [15] описывается напыление проводящего слоя для гибридных интегральных схем (ГИС) методом магнетронного распыления в среде инертного газа на установке «Оратория-5». Подложки, помещённые в вакуумной камере с откаченным газом, нагревались до 250 °C и выдерживались в течение 20 минут. Далее наносился промежуточный слой ванадия, толщиной

0,05-0,1 мкм, следом слой меди, толщиной 1,5-2 мкм. Тем самым авторы использовали два способа улучшения адгезии – промежуточного слоя и разогрев подложки.

В работе [16] описывается изготовление планарного транзистора. Для получения омических контактов напыляются алюминиевые плёнки, методом вакуумного термического испарения. Если к контактам необходимо будет припаиваться, то их покрывают слоем золота. Между алюминием и кремнием используется подслой титана, который обладает высокой адгезией с кремнием. Также перед напылением подложки разогревались до 200-300 °С для очистки поверхности подложки от адсорбированных молекул газов и воды. Таким образом, применяет два метода улучшения адгезии – разогрев подложки и применение подслоя.

Авторами [17] исследуется внедрение лития в электроды с тонкими плёнками золота, для производства литий-ионных аккумуляторов. На медные пластины напылялся подслой хрома толщиной 25 нм, а затем 200 нм золотой плёнки методом термического распыления в вакууме.

В работе [18] разрабатываются плёнки, которые бы отражали тепло от стёкол в окнах. Пленки допированного алюминием оксида цинка (ZnO:Al) наносились на стеклянные подложки, предварительно нагреваемые до 80-150 °С для повышения адгезии. Осаждение производилось реактивным магнетронным распылением в среде кислорода.

Авторы в работе [19] исследуют методы синтеза наноструктурных плёнок и параметры, влияющие на свойства этих плёнок. При магнетронном распылении в качестве средства увеличения энергии ионов применяют отрицательное напряжение смещения на подложку. Для получения сверхтвёрдых наноструктурных покрытий применяют, помимо потенциала смещения, подогрев подложки до 800 °С.

Таким образом, применение напряжения смещения, подогрева подложки, нанесение подслоя или их комбинации, позволяют улучшить адгезию напыляемой плёнки.

В данной работе в качестве способа улучшения адгезии медных покрытий со стеклянными и керамическими подложками использовались: механическая и ионная очистка подложек, нанесение подслоя (Ta и NiCr), подача отрицательно смещения на подложку.

Глава 3. Экспериментальное оборудование

3.1 Вакуумная ионно-плазменная установка КВО

В данной работе используется вакуумная ионно-плазменная установка КВО (рис. 3.1), содержащая в себе ионный источник, два стандартных магнетрона и МРС с жидкофазной мишенью. Эта установка позволяет производить ионную очистку и осаждение металлических покрытий и их соединений. Данные операции можно производить последовательно, без развакуумирования рабочей камеры. Также можно получать многокомпонентные плёнки, используя одновременно две МРС.

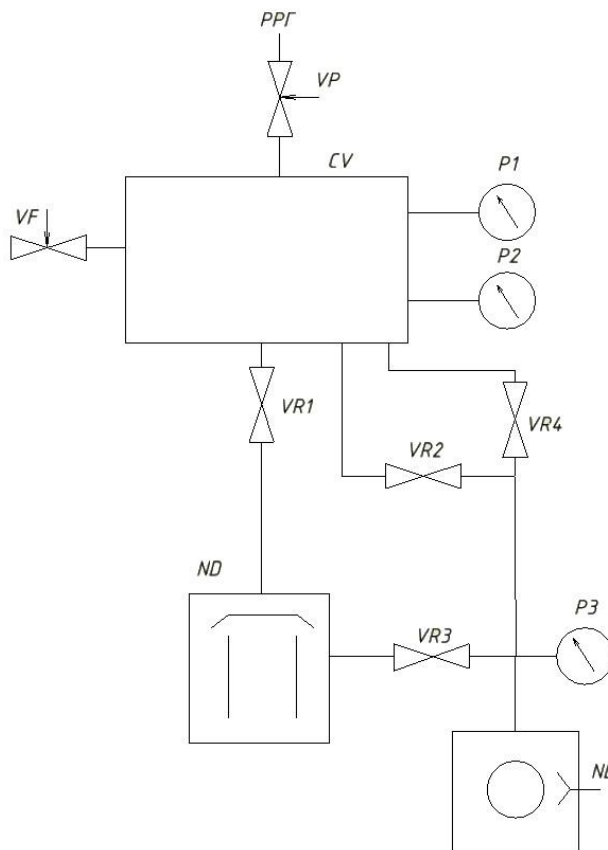


Рисунок 3.1 – Вакуумная ионно-плазменная установка КВО и панель управления установкой

В камере находятся две магнетронные распылительные системы, одна для распыления металлов, другая для распыления хрупких токопроводящих мишеней. Также установка оснащена электронным вакуумметром, позволяющим контролировать давление в камере на протяжении всех операций в камере. Все элементы управления процессами в камере выведены на отдельную приборную панель. Откачка до рабочего давления производится

диффузионным насосом. В качестве форвакуумного насоса установлен пластинчато-роторный насос.

Схема вакуумной системы установки изображена на рис. 3.2.



CV – вакуумная камера, P1, P2 и P3 – вакуумметры, VR1– затвор, VR2 и VR3 – клапаны, VR4 – байпасный клапан, ND – диффузионный насос, NL – пластинчато-роторный насос, VF – натекатель, VP – натекатель НМБ-1 (ППГ).

Рисунок 3.2 – Схема вакуумной установки

Порядок работы на вакуумной установке. Проверить, что все клапаны закрыты. Включить воду. Включить форвакуумный насос NL и открыть клапан VR3, после чего запустить диффузионный насос ND. Перекрыть клапан VR3 и постепенно открыть VR4, следя за давлением. Далее, при полном открытии VR4, закрыть VR4, открыть VR2. После достижения давления 5,3 Па в рабочей камере, закрыть клапан VR2 и открыть VR3, открыть затвор VR1. Произвести откачку до давления 0,015 Па, по показаниям ионизационного вакуумметра.

Для напуска воздуха в рабочую камеру закрыть затвор VR1 и открыть натекатель VF.

3.2 Измерение шероховатости поверхности

Измерение шероховатости производилось на трехмерном бесконтактном профилометре (MicroMeasure 3D Station), изображённом на рис. 3.3. Данный прибор предназначен для анализа твердых и мягких образцов, в том числе и оптически прозрачных. Профилометр позволяет производить бесконтактные измерения различных глубин с помощью набора компактных оптических датчиков; рассчитывать расстояния, площади, объемы отдельных объектов и массивов с возможностью выбора количества осей движения для точного сканирования и позиционирования поверхности предмета.

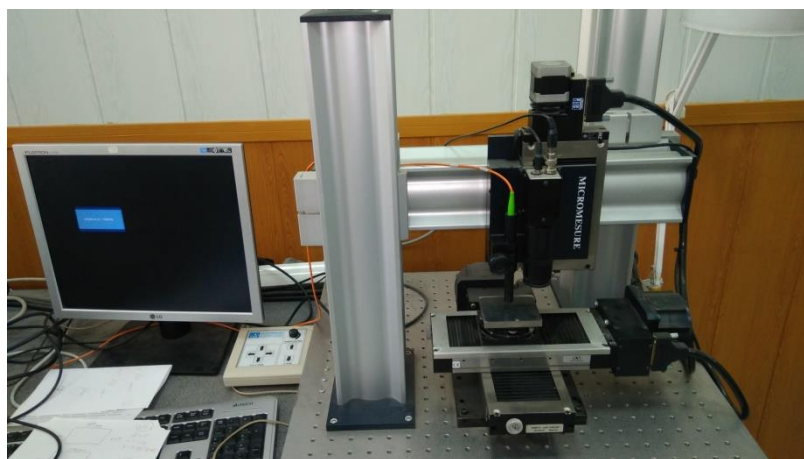


Рисунок 3.3 - Трехмерный бесконтактный профилометр (MicroMeasure 3D Station)

Принцип действия профилометра заключается в том, что свет, излучаемый с источника, отражаясь от исследуемой и опорной поверхностей, образует интерференционную картину, которая затем регистрируется видеокамерой. Затем данные обрабатываются, и набор интерференционных картин преобразуется в карту уровней поверхности высокого разрешения.

Функциональные возможности прибора позволяют производить анализ морфологии поверхности, определять структурные и фазовые составляющие сталей, чугунов, цветных металлов, диэлектрических включений в металлах, гранулометрический анализ порошков и пор, анализ толщины нанометровых

слоев материалов, металлографический анализ методом сравнения с эталонами и ряд других.

Методика измерения. Образец помещается на предметный столик. Положение регулируется так, чтобы световое пятно падало прямо на трек. Далее с помощью программного обеспечения производится сканирование поверхности с заданной точностью, после чего можно просмотреть результаты измерения.

3.3 Измерение толщины покрытия

Для измерения толщины плёнок применялся прибор – Calotest CAT-S-0000 (рис. 3.4).



Рисунок 3.4 – Прибор для измерения толщины пленок и покрытий (Calotest CAT-S-0000)

Данный прибор применяется для измерения толщины различных пленок, в том числе и многослойных в диапазоне от 0,1 до 50 мкм. Могут исследоваться образцы с плоской, цилиндрической и сферической поверхностью.

Методика измерения. Экспресс-анализ толщины пленки производится по сферическому шлифу. Валик с электроприводом, предназначенным для вращения шара, удерживается регулируемым рычагом, обеспечивающим большое количество вариантов размещения шара относительно образца. Вращающийся шар с известным диаметром прижимается к поверхности образца при помощи выбранной нагрузки. Положение шара относительно образца и контактная нагрузка являются постоянными. Добавления абразивной пасты к контактному участку обеспечивает быстрое формирование на поверхности образца сферического отпечатка (рис. 3.5).

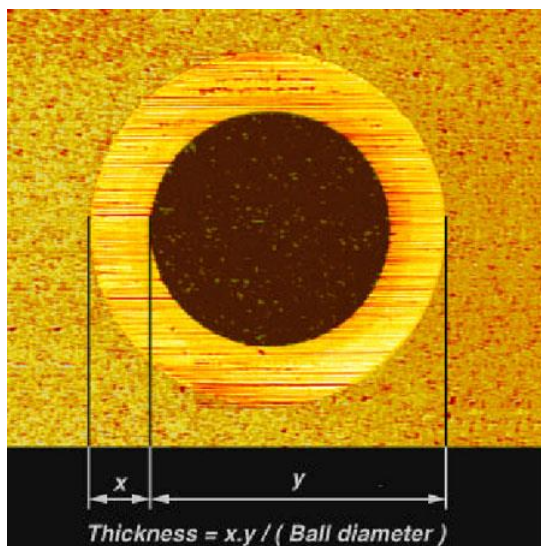


Рисунок 3.5 – Сферический отпечаток на плёнке

Изображение отпечатка анализируется программным обеспечением прибора на микроскопе.

3.4 Измерение адгезии

3.4.1 Метод царапания

В работе для измерения параметров адгезионной прочности используется нанотвердомер (NANOHardness Tester NHT-S-AX-000X), представленный на рис.3.6.



Рисунок 3.6 – Нанотвердомер (NANOHardnessTesterNHT-S-AX-000X)

Устройство предназначено для определения с высокой точностью нано и микротвердости, модуля Юнга для практически любых материалов - мягких, твердых, хрупких и эластичных, выполнение тестов для анализа текучести материала, исследование пленки на разрыв и усталость. Реализована функция измерения нанотвердости материалов с поверхности вглубь образца. Также прибор позволяет определять адгезию тонких плёнок методом царапания. Современное программное обеспечение включает все необходимые опции для управления и обработки данных.

Область применения прибора: поверхность твердых материалов, защитные покрытия на магнитных дисках, магнитные покрытия на подложках дисков, защитные покрытия на компакт-дисках, слои пассивации, металлизация, контактные линзы, стекла для очков, фиброоптика, оптические покрытия устойчивые к царапинам, краски и полимеры, лаки и полировка, износостойкие покрытия: TiN, TiC, DLC, режущий инструмент, фармакология, таблетки и пилюли, имплантанты, биоткань и др.

Методика измерения прибора. Анализ отношения, изменяющейся во времени нагрузки, к глубине проникновения и площади отпечатка индентора (Викерс или Беркович). Исследование кривых нагружения и разгружения. Данные о нагрузке и ее перемещении регистрируются постоянно в течение всего процесса для получения кривой перемещения нагрузки.

Перемещаясь микроскопом по царапине на образце, можно зафиксировать нагрузку, при которой был произведён отрыв плёнки от подложки.

3.4.2 Метод отрыва покрытия

Для измерения адгезии методом отрыва покрытия применялся механический адгезиметр «Константа - АЦ» (рис.3.7).



Рисунок 3.7 – Адгезиметр механический «Константа - АЦ»

Механический адгезиметр предназначен для определения адгезии лакокрасочных и других покрытий между слоями и с основанием, а также когезии материалов по методу отрыва.

Методика контроля. Цилиндрический тестовый элемент (грибок) приклеивается к испытуемому покрытию, участок покрытия вокруг грибка подрезается до подложки, к грибку присоединяется прибор адгезиметр и с его помощью грибок оттягивается от тестируемой поверхности (рис. 3.8).

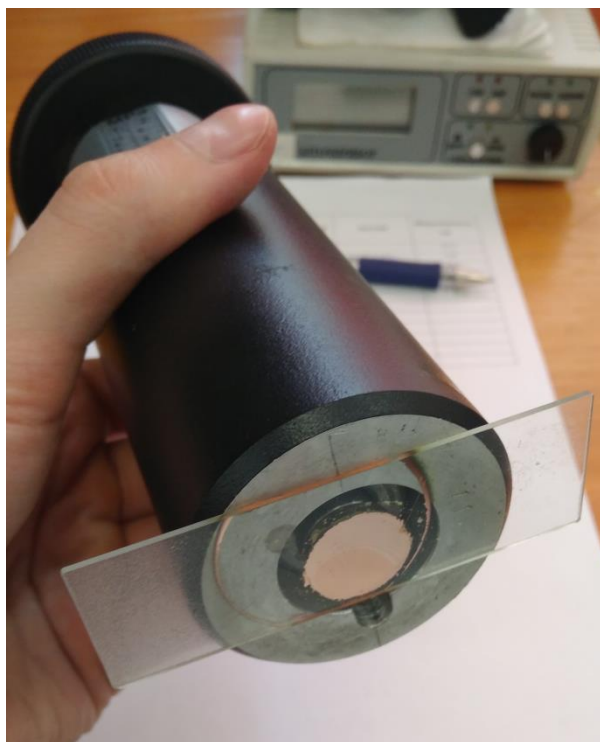


Рисунок 3.8 – Измерение адгезии

Сила, прилагаемая к грибку, увеличивается, пока грибок не оторвется вместе с частью покрытия или не будет достигнута установленная заранее величина. Сила, которая потребовалась для отрыва грибка (или же сила, которую грибок выдержал), характеризует предел прочности покрытия на разрыв в МПа.

Глава 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Сегодня перспективность научного исследования в первую очередь задаётся коммерческой ценностью данной разработки, а не масштабом открытия. При поиске источника финансирования необходимо в первую очередь произвести оценку коммерческой ценности разработки для реализации научного исследования и дальнейшей коммерциализации результатов этого исследования. Главным образом это важно разработчикам, которым необходимо предоставлять существующие результаты и дальнейшие перспективы осуществляемых исследований.

5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

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

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

Исследуемая магнетронная распылительная система с жидкой мишенью используется для высокоскоростного осаждения тонкопленочных пленок на разные поверхности.

Потенциальными потребителями являются университеты, исследовательские институты и корпоративные лаборатории

исследовательскими системами, а индустриальные предприятия промышленными установками и интегрированными системами производства.

5.1.2. Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов [25].

На сегодняшний день есть два лидирующие конкурентные технологии, которые чаще всего применяются для изготовления медных плёнок большой толщины. Это технология DBC и технология осаждения термическим испарением.

Чаще используется метод DBC, т.к. он позволяет «прилепить» на поверхность плёнку заведомо любой толщины. Несмотря на это удобство, применение этого метода технологически неудобно и времязатратно, т.к. нанесение покрытия возможно лишь с одной стороны за одну загрузку и помимо этого необходимо длительное время поддерживать высокую температуру, что приводит к большим энергетическим затратам. Также, при нанесении плёнки с другой стороны может деформироваться уже наклеенная плёнка, за счёт повторного разогрева до высокой температуры.

Метод термического испарения позволяет получать очень чистые плёнки с хорошими свойствами, но присутствует и ряд существенных недостатков, таких как: непроизводительные потери дефицитного испаряемого материала, который осаждается на всех поверхностях рабочей камеры; веществ с высокой температурой плавления вызывает ряд осложнений, а иногда и совсем неосуществимо; в некоторых случаях не обеспечивается необходимая механическая или химическая прочность образующихся покрытий; нанесение

пленок на поверхности деталей сложных конфигураций и больших размеров вызывает ряд технологических трудностей.

Для оценки ресурсоэффективности необходимо выбрать основные критерии. Надёжность производственного метода обеспечивает безостановочную работу производства и является важным критерием при выборе метода. Безопасность производства позволяет осуществлять деятельность без риска для жизни рабочих и для производственного оборудования. Простота эксплуатации позволяет рабочим допускать меньше ошибок в процессе производства, а качество интеллектуального интерфейса позволит контролировать производство и своевременно оповещать о возникших проблемах. Возможность подключения в сеть ЭВМ позволяет автоматизировать производственный процесс и уменьшить количество ошибок рабочих. Среди экономических критериев стоит отметить конкурентоспособность продукта, т.к. если продукт не конкурентоспособен, то на него не будет спроса и его производство будет экономически не эффективен. Цена за надлежащий по качеству товар имеет высокое значение в данном вопросе. Финансирование научной разработки показывает, насколько она обеспечивает заинтересованность финансирующих источников. Знание срока выхода на рынок позволит покупателям запланировать сроки наладки и реализации. Наличие сертификата разработки подкрепляет уверенность покупателя в качестве продукции.

Таким образом, основными критериями оценки производства медных плёнок будут являться: надёжность, безопасность, простота в эксплуатации, а также качество интеллектуального интерфейса и возможность подключения в сеть ЭВМ. Среди экономических критериев будут: конкурентоспособность продукта, цена, финансирование научной разработки, срок выхода на рынок и наличие сертификации разработки.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку

сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Оценочная карта данного анализа приведена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Надёжность производственного метода	0,2	4	3	4	0,8	0,6	0,8
2. Безопасность	0,1	4	3	3	0,4	0,3	0,3
3. Простота в эксплуатации	0,07	4	3	4	0,28	0,21	0,28
4. Качество интеллектуального интерфейса	0,1	5	4	5	0,5	0,4	0,5
5. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,05	4	3	2	0,2	0,15	0,1
2. Цена	0,15	4	3	4	0,6	0,45	0,6
3. Финансирование научной разработки	0,1	3	4	2	0,3	0,4	0,2
4. Срок выхода на рынок	0,03	2	5	4	0,06	0,15	0,12
5. Наличие сертификации разработки	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
Итого	1				4,04	3,56	3,7

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 5.1, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается 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 составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot \bar{B}_i , \quad (3)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

$\bar{B}_i$ – балл i -го показателя.

Оценочная карта показывает, что осаждение с помощью МРС с жидкофазной мишенью по большей части параметров лучше, чем у конкурентов, как с технической, так и экономической стороны. Эти качества помогут завоевать доверие покупателей путем предложения товара высокого качества со стандартным набором определяющих его параметров.

5.1.3. SWOT-анализ

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

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 5.2.

Таблица 5.2 – 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. Наличие бюджетного финансирования С5. Квалифицированный персонал	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой Сл2. Отсутствие инжиниринговой компании, способной построить производство под ключ Сл3. Большой срок поставок материалов и комплектующих, используемых при проведении научного исследования Сл4. Недостаток финансовых средств Сл5. 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		
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства У3. Развитие альтернативных технологий и аналогов оборудования.		

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 5.3.

Таблица 5.3 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	0	0	0	+	0
	B2	+	+	+	0	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: B1C1C2C3; B2C1C2C3. 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 5.4.

Таблица 5.4 – Итоговая матрица SWOT-анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	C1. Экономичность и энергоэффективность технологии C2. Экологичность технологии C3. Цена производства ниже по сравнению с другими технологиями C4. Наличие бюджетного финансирования C5. Квалифицированный персонал	Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой Сл2. Отсутствие инжиниринговой компании, способной построить производство под ключ Сл3. Большой срок поставок материалов и комплектующих, используемых при проведении научного исследования Сл4. Недостаток финансовых средств Сл5. Слабая маркетинговая политика

Продолжение таблицы 5.4.

Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт В3. Повышение стоимости конкурентных разработок, в связи с пределом их возможности	Использование инновационной инфраструктуры ТПУ поможет реализовывать конечный продукт. Наличие бюджетного финансирования поможет развитию технологии, а достижение предела возможности конкурентных разработок не даст им повысить характеристики их продукта. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.	Инновационная структура ТПУ, поможет в преодолении слабой маркетинговой политики изготавливаемого продукта, а также в проблеме поиска потенциальных потребителей. Выпускники ТПУ могут покрыть спрос кадров для новой технологии.
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Низкое финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства У3. Развитие альтернативных технологий и аналогов оборудования.	Экономичность и энергоэффективность позволят привлечь внимание производителей. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями. Развитие технологии позволит привлечь государственные средства. Развитие альтернативных технологий на данный момент не в состоянии значительно улучшить результат, а использование ЖМРС позволяет улучшать результаты без значительных затрат, путём исследований.	Повышение уровня квалификации кадров в области напыления позволит обеспечить производственные линии квалифицированным персоналом. Дальнейшее развитие технологии ЖМРС позволит наладить стабильные поставки материалов и комплектующих. Инфраструктура ТПУ может привлечь внимание инвесторов для обеспечения финансирования. Успешные исследования помогут маркетинговой компании привлечь покупателей.

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 медных покрытий большой толщины. МРС с жидкофазной мишенью также может быть размещён в уже имеющихся горизонтальных отсеках производства вместо обычных магнетронов, что не потребует значительных финансовых вложений на подобные производственные площадки.

5.2 Планирование научно-исследовательских работ

5.2.1 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 5.5.

Таблица 5.5 – 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	Руководитель, бакалавр
	6	Определение скорости осаждения медных плёнок	Бакалавр
	7	Определение свойств полученных медных плёнок	Бакалавр
	8	Осаждение медных плёнок разных толщин на подложки стекла и керамики	Бакалавр
	9	Определение свойств полученных медных плёнок	Бакалавр
	10	Осаждение медных плёнок разных толщин на подложки стекла с потенциалом смещения	Бакалавр
	11	Определение свойств полученных медных плёнок	Бакалавр

Продолжение таблицы 5.5.

Обобщение и оценка результатов	12	Анализ полученных результатов	Бакалавр
	13	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель
	14	Подготовка ВКР	Бакалавр

5.2.2 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. После составления плана работ необходимо оценить их трудоемкость. В таблице 5.6 представлены временные показатели проведения научного исследования.

Таблица 5.6 – 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	2
Подбор и изучение материалов по теме	10	15	12	Бакалавр	12	18
Выбор направления исследований и способа решения задач	1	1	1	Руководитель	1	2
Календарное планирование работ по теме	1	1	1	Руководитель	1	2
Построение плана Экспериментов	1	2	2,8	Руководитель, бакалавр	1,2	2
Определение скорости осаждения медных плёнок	9	16	11,8	Бакалавр	11,8	18
Определение свойств полученных медных плёнок	4	5	4,4	Бакалавр	4,4	7

Продолжение таблицы 5.6.

Осаждение медных плёнок разных толщин на подложки стекла и керамики	12	16	13,6	Бакалавр	13,6	21
Определение свойств полученных медных плёнок	5	8	6,2	Бакалавр	6,2	10
Осаждение медных плёнок разных толщин на подложки стекла с потенциалом смещения	8	16	11,2	Бакалавр	11,2	17
Определение свойств полученных медных 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	2
Подготовка ВКР	20	40	28	Бакалавр	14	21

Коэффициент календарности находится по формуле (4).

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{269} = 1,4777, \quad (4)$$

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{q_i}, \quad (5)$$

Где T_{pi} – продолжительность i -й работы в рабочих днях;

Продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях T_{ki} рассчитывалось по формуле $T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}$.

Рассчитав временные показатели проведения научного исследования, составим календарный план-график проведения НИОКР (таблица 5.7).

Таблица 5.7 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме: «Осаждение медных покрытий большой толщины с помощью магнетронной распылительной системы с жидкофазной мишенью»

№ раб.	Т _{кi} , кал. дни	Продолжительность выполнения работ																	
		янв.			фев.			март			апр.			май			июнь		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	1	■																	
2	18		▬																
3	1			■															
4	1				■														
5	1					■													
	2					▬													
6	18					▬													
7	7						▬												
8	21							▬											
9	10								▬										
10	17									▬									
11	7										▬								
12	4											▬							
13	1												■						
14	21													▬					

■ – руководитель; ▬ – бакалавр.

5.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

1. материальные затраты НТИ;
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.

5.3.1 Затраты на расходные материалы

В ходе проведения исследований были потрачены расходные материалы. Ниже в таблице 5.8 приведен расчет их стоимости.

Величина коэффициента (k_T), отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов.

Таблица 5.8 – Расчет стоимости расходных материалов

Наименование	Ед. измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на мат., руб.
Медная мишень (М00 - 99,99%)	62 см ²	5	800	4000
Молибденовый тигель	76,9 см ²	2	15000	30000
Углеродный тигель	76,9 см ²	1	3000	3000
Стеклянные подложки	75x25 мм	24	1,85	45
Керамические подложки	35x35 мм	12	10	120
этиловый спирт	5 л	0,5 л	1500	150
Аргон (99.998%)	1 баллон	0,5	1300	650
Итого				37965
С учётом транспортно-заготовительных расходов ($k_T = 25\%$)				47456,25

5.3.2 Основная заработная плата

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, 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 (размер определяется Положением об оплате труда). Расчет основной заработной платы сводится в таблице 5.9.

Таблица 5.9 – 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	-	3500
2		Инженер	125	771,25	96406,25
Итого					99906,25

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

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, не имеющего научной степени назначается заработная плата в 175 руб/час. На консультацию бакалавра для руководителя приходится по нормам 20 часов, следовательно, заработная плата руководителя составит $C_{зп} = 175 \cdot 20 = 3500$ руб.

Среднедневная заработная плата инженера рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = (Z_m \cdot M) / F_d \quad (8)$$

где Z_m – 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_d – 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 5.10.

Таблица 5.10 – 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	193

Месячный должностной оклад инженера:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot k_{\text{р}} \quad (9)$$

где $З_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, $k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3.

Рассчитаем основную заработную плату инженера:

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

$$З_{\text{дн}} = (13290,33 \cdot 11,2) / 193 = 771,25 \text{ руб.};$$

$$З_{\text{осн}} = 771,25 \cdot 125 = 99906,25 \text{ руб.}$$

Результаты расчета основной заработной платы представлены в таблице 5.11.

Таблица 5.11 – Расчёт основной заработной платы

Исполнитель	$З_{\text{тс}}$, руб.	$k_{\text{р}}$	$З_{\text{м}}$, руб.	$З_{\text{дн}}$, руб.	$T_{\text{раб. раб. дн.}}$	$З_{\text{осн}}$, руб.
Инженер	10223,33	1,3	13290,33	771,25	125	99906,25

5.3.3 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:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} = 11988,75 \text{ руб.}, \quad (10)$$

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

В таблице 5.12 – приведен расчёт основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 5.12 – Заработная плата исполнителей НИР

Заработная плата	Руководитель	Инженер
Основная зарплата	3500	99906,25
Дополнительная зарплата	-	11988,75
Зарплата исполнителя	3500	111895
Итого по статье $C_{\text{зн}}$, руб	115395	

5.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды

Отчисления на социальные нужды (30% от статьи заработной платы) составили 29859,9 руб. для инженера и 1050 руб. для руководителя.

5.3.5 Накладные расходы

Накладные расходы – это затраты на управление и хозяйственное обслуживание и расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др, что порядка 16% от рассчитанных выше расходов. Суммарно накладные расходы составляют 18463,2 руб.

5.3.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группировались по статьям, представленным в таблице 5.13. В качестве альтернативных путей исследования рассматривается применение мишени алюминия в углеродном тигле и осаждение алюминиевых плёнок из молибденового тигля (в те же сроки, что и основной проект).

Таблица 5.13 – Группировка затрат по статьям

Наименование статьи	Сумма, руб.		
	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
Материальные затраты НТИ	47456,25	42256,7	77854,5
Затраты по основной заработной плате	103406,25	103406,25	103406,25
Затраты по дополнительной заработной	11988,75	11988,75	11988,75
Отчисления во внебюджетные фонды	30909,9	30909,9	30909,9
Накладные расходы	18463,2	26903,94	32599,58
Итого плановая себестоимость НИР	212224,4	215465,5	256759

В ходе расчетов установлено, что затраты на НИР составили 212224,4 руб., что незначительно превосходит затраты на альтернативный вариант исследования алюминиевых плёнок из углеродного тигля и значительно дешевле другого варианта – осаждение алюминиевых плёнок из молибденового тигля.

5.4 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:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{212224,4}{256759} = 0,83$$

$$I_{\Phi}^{a1} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{215465,5}{256759} = 0,84$$

$$I_{\Phi}^{a2} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{256759}{256759} = 1$$

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.

В качестве основных критериев выбираются наиболее значимые критерии, рассмотренные в таблице 5.1. Некоторые были объединены, например, цена производимой продукции и конкурентоспособность, в совокупности показывают экономичность продукции. Экологичность

производства позволит привлечь больше инвесторов и не завышать цену на утилизацию вредных отходов.

Таблица 5.14 – 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	0,3	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:

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

$$I_{финр}^{a1} = \frac{I_m^{a1}}{I_{\phi}^{a1}} = \frac{4,2}{0,84} = 5$$

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

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

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финаi}^{ai}} \quad (12)$$

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

Таблица 5.15 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,83	0,84	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,7	4,2	3
3	Интегральный показатель эффективности	5,7	5	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.

Глава 6. 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 – система сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающая в себя правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия [26].

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 [26].

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

При выполнении бакалаврской работы были использованы: установка «КВО» для осаждения покрытий, газовый баллон со сжатым аргоном, ПЭВМ. Ниже будет приведён анализ вредных и опасных производственных факторов, а также комплекс защитных мер.

6.1 Анализ вредных производственных факторов

В таблице 6.1 приведены основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы.

Таблица 6.1 – 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 установке КВО. ТПУ, лаборатория №123	Шум; электромагнитное излучение; 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

В итоге, наиболее опасным является воздействие электрического тока.

6.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на установке КВО и ПЭВМ

6.2.1 Организационные мероприятия

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.

6.2.2 Правила безопасной работы на установке

Выполнение бакалаврской работы происходило с использованием установки магнетронного распыления, газовых баллонов со сжатым аргонном. Установка построена на базе диффузионного насоса, принцип его работы основан на разогреве паров масла. Касание нагреваемой части насоса может привести к сильным поражениям кожных покровов - ожогу. Для защиты от движущихся механизмов и повышенной температуры поверхностей оборудования, применяются защитные ограждения в соответствии с [27]. 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 [28] 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.

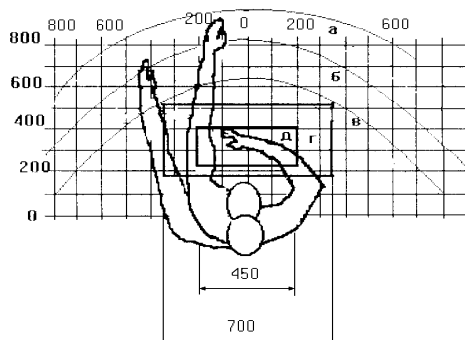
Навес должен обеспечивать защиту от прямой солнечной радиации и прямого воздействия осадков.

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.

6.2.3 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, как показано на рис. 6.1.

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.



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.

Рисунок 6.1 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

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.

Экран и системные блоки производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видео-кабеля. Согласно [29] 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 2-400 кГц – 2,5 В/м.

Плотность магнитного потока должна быть не более:

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

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

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

По нормам [29] конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана при любых положениях регулировочных устройств не должна превышать 100 мкР/час.

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.

6.3 Условия безопасной работы

Основные параметры, характеризующие условия труда это: микроклимат, шум, вибрация, электромагнитное поле, излучение, освещённость.

6.3.1 Гигиенические требования к микроклимату

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 [30] и приведены в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – 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 м³ на человека – не менее 30 м³ в час на человека; при объёме помещения более 40 м³ на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция.

В ходе очистки образцы протираются этиловым спиртом. Концентрация паров низкая, поэтому нет необходимости обеспечивать дополнительную вентиляцию.

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. Основной недостаток такой вентиляции в том, что приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания.

6.3.2 Шумовые загрязнения

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 установки КВО – 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 [31, 32]. Работаящих в этих зонах, администрация снабжает средствами индивидуальной защиты, которыми являются специальные наушники, вкладыши в ушную раковину, противοшумные каски, защитное действие которых основано на изоляции и поглощения звука.

6.3.3 Требования к освещению

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

Согласно [33] естественное освещение составляет 3% (КЕО e_n), совместное 1,8 %, искусственное 200 лк (освещенность при комбинированном освещении от общего). Освещение комбинированное.

6.4 Электробезопасность

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с ЭВМ и других электроустановок в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75 %), высокой

температуры (более 35 °С), 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 (заклучение в корпуса электропоражающих элементов, заклчение в корпус токоведущих частей).

Опасность поражения электрическим током при прикосновении к корпусу и другим металлическим частям оборудования, оказавшимися под напряжением вследствие замыкания на корпусе и по другим причинам, может быть устранена быстрым отключением повреждённой установки от питающей сети и вместе с тем снижением напряжения корпуса относительно земли [34, 35].

6.4. Пожарная взрывная безопасность

Понятие пожарная безопасность означает состояние объекта, при котором исключается возможность пожара. В случае возникновения пожара в первую очередь необходимо предотвратить воздействие его на людей и обеспечить защиту материальных ценностей, находящихся в зоне горения или вблизи от нее.

Согласно [36], 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:

- 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.

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 негорюемых 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.

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

1. Сообщить руководству (дежурному).
2. Позвонить в соответствующую аварийную службу или МЧС – тел. 112.
3. Принять меры по ликвидации аварии в соответствии с инструкцией.

Список публикаций

- 1) Рогожников Д.С., Юрьева А.В., Шабунин А.С., Осаждение металлических покрытий с помощью магнетронной распылительной системы с жидкофазной мишенью // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. – Томск: ТПУ, 2016 г. – с. 43-45.
- 2) Адамов Е.В., Рогожников Д.С., Удалов А.А., Цыганков С.А., Разработка системы обнаружения браконьеров с применением электромагнитных датчиков // Ресурсоэффективным технологиям – энергию и энтузиазм молодых: сборник научных трудов VII Всероссийской конференции студентов Элитного технического образования. – Томск: ТПУ, 2016 г. – с. 152-155.
- 3) Рогожников Д.С., Юрьева А.В., Шабунин А.С., Осаждение металлических покрытий с помощью магнетронной распылительной системы с жидкофазной мишенью // Доклад на XIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. – Томск: ТПУ, 29.04.2016 г.
- 4) Адамов Е.В., Рогожников Д.С., Удалов А.А., Цыганков С.А., Разработка системы обнаружения браконьеров с применением электромагнитных датчиков // Доклад на VII Всероссийской конференции студентов Элитного технического образования. – Томск: ТПУ, 29.04.2016 г.
- 5) Адамов Е.В., Рогожников Д.С., Удалов А.А., Разработка системы логистики склада производства шампуней и автоматизация точного разлива жидкостей из бочек // Доклад на первом техническом чемпионате России. – г.Санкт-Петербург: компания «Unilever», 12.03.2017 г.

Список используемой литературы

- 1) Кривобоков В. П., Сочугов Н.С., Соловьев А.А. Плазменные покрытия (методы и оборудование) // Учебное пособие - Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 104 с.
- 2) Юрьева А.В. Магнетронная распылительная система с жидкофазной мишенью // Современные научные исследования и инновации. 2015. № 4 [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/04/51541> (дата обращения: 08.06.2015).
- 3) Жуков В.В., Кривобоков В.П., Янин С.Н. Исследование процесса перехода магнетронного диода в режим распыления мишени из жидкой фазы // 6th International Conference On Modification Of Materials With Particle Beams And Plasma Flows, 23-28.06.2002.-Tomsk, Russia.- P.129-131.
- 4) Schulz-Harder J. Fluid – Cooled DBC Substrates // PCIM Europe Power Conversion. 1998. № 2.
- 5) Каширин А. И., Ключев О. Ф., Буздыгар Т. В. Устройство для газодинамического нанесения покрытий из порошковых материалов. Патент РФ на изобретение № 2100474. 1996, МКИ6 С 23 С 4/00, опубл. 27.12.97. Бюл.№ 36.
- 6) Методы термического испарения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://imap.bestreferat.ru/referat-218635.html> (дата обращения: 29.05.2014).
- 7) Юрьева А.В., Степанова О.М., Блейхер Г.А., Юрьев Ю.Н. Баланс энергии на катодном узле магнетронной распылительной системы с жидкофазной мишенью // Известия ВУЗов. Физика. – 2014 – Т. 57 – №. 3/3.– С. 283-287.
- 8) Данилин Б. С. Применение низкотемпературной плазмы для нанесения тонких пленок. - М. : Энергоатомиздат, 1989. – 328 с.

- 9) Данилин Б.С., Какурин М.В., Минайчев В.Е., Одинокоев В.В., Сырчин В.К. Осаждение металлических пленок путем распыления из жидкой фазы // Микроэлектроника, 1977. – С.84-87.
- 10) Гвоздев В.В Исследование МРС с жидкометаллическим катодом с целью увеличения производительности и снижения энергозатрат процесса катодного распыления // МГТУ им. Н.Э. Баумана, – М., – 1999, – С.131.
- 11) Третьяков Р.С., Кривобоков В.П., Янин С.Н. Эрозия жидкофазной мишени в плазме магнетронного разряда // Известия ВУЗов. Физика. – 2007. – Т.50 №9. – С. 487-490.
- 12) Богданова Ю.Г. Адгезия и ее роль в обеспечении прочности полимерных композитов // МГУ имени М. В. Ломоносова Москва,, 2010. – 68 с.
- 13) Зимон А.Д. Адгезия пленок и покрытий, – М.: Химия,1977. – 352 с.
- 14) Кривобоков В. П., Сочугов Н.С., Соловьев А.А. Плазменные покрытия (свойства и применение) // Учебное пособие - Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 136 с.
- 15) Ильина Э.М. Изучение технологии изготовления тонкопленочных гибридных интегральных схем. Лабораторная работа № 3. Методические указания к лабораторному практикуму по курсу ТИКИМС // Под ред. Л.А.Коледова. - М.: МИЭТ, 2000. – 44 с.
- 16) Лапшинов Б.А. Нанесение тонких пленок методом вакуумного термического испарения: Методические указания к лабораторной работе по дисциплинам «Технология материалов и изделий электронной техники» и «Технология создания технических систем» // Моск. гос. ин-т электроники и математики. М., 2006. – 30с.
- 17) Кулова Т. Л., Скундин А. М., Кожевин В. М., Явсин Д. А., Гуревич С. А. Исследование внедрения лития в электроды с тонкими плёнками золота // Электрохимия, 2010, том 46, № 8, с. 934–938.
- 18) Rabotkin S.V., Oskomov K.V., Sochugov N.S. Optimization of ZnO:Al film deposition process by reactive magnetron sputtering of Zn:Al target // Proceedings of

7 International conference on modification of materials with particle beams and plasma flows. 2004. – 520 p.

19) Решетняк Е.Н., Стрельницкий В.Е. Синтез упрочняющих наноструктурных покрытий. – Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение, 2008, №2, с.119–130.

20) Блейхер Г.А., Кривобоков В.П., Третьяков Р.С., Юрьева А.В. Тепловые и эрозионные процессы при работе магнетронных распылительных систем с неохлаждаемыми мишенями // Изв. ВУЗов. Физика.– 2009. – Том 52. – №11/2.– С. 180-185.

21) Дунюшкина Л.А. Введение в методы получения пленочных электролитов для твердооксидных топливных элементов: монография // Дунюшкина Л.А. – Екатеринбург: УРО РАН, 2015. – 126 с.

22) Ichimura H., Ishii Y. Effects of indenter radius on the critical load in scratch testing // Surf. and Coat. Techn. – 2003. – Vol. 165. – p. 1-7.

23) Лунёв В.М., Немашкало О.В., Адгезионные характеристики покрытий и методы их измерения // Национальный научный центр «Харьковский ФТИ», – 2010.– С.8.

24) Schmidbauer S., Hahn J., Richter F. Adhesion of metal coatings on ceramics deposited by different techniques // Surface and Coatings Technology. Vol. 59, 1993. – p.325-329.

25) Криницына З.В., Видяев И.Г. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: методическое пособие. – Томск: ТПУ, 2014. – 73 с.

26) Федеральный закон «Об основах охраны труда» от 17.07.1999 г. № 181-ФЗ.

27) ГОСТ 12.2.062-81. Оборудование производственное. Ограждения защитные.

28) ПБ10-115-96. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением.

- 29) СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы». – М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003.
- 30) СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
- 31) ГОСТ 12.1.003-8. Шум. Общие требования безопасности.
- 32) ГОСТ 12.1.029-80. Средства и методы защиты от шума.
- 33) СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
- 34) ГОСТ 12.2.085-82. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.
- 35) ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
- 36) Пожаро- и взрывобезопасность промышленных объектов. ГОСТ Р12.1.004-85 ССБТ Пожарная безопасность.