

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

МАГИСТЕРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МЕДНЫХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ МАГНЕТРОННОЙ РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ С ЖИДКОФАЗНОЙ МИШЕНЬЮ
УДК 621.793.7:669.3

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДМ51	Мутали М.Н.		

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 ИСГТ	Рыжакина Т.Г.	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 магистров
направления 16.04.01 «Техническая физика»
(профиль «Пучковые и плазменные технологии»)**

од езульт ата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
1	Демонстрировать и использовать теоретические и практические знания фундаментальных и прикладных наук, составляющих основу современной технической физики, вскрывать физическую сущность проблем, возникающих при проектировании и реализации радиационных и плазменных технологий.	Требования ФГОС (ОПК-2). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
2	Профессионально эксплуатировать современное научное и технологическое оборудование и приборы в процессе создания и реализации радиационных и плазменных технологий	Требования ФГОС (ОПК-1). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
3	Заниматься научно-исследовательской деятельностью в различных отраслях технической физики, связанных с современными радиационными и пучково-плазменными технологиями, критически анализировать современные проблемы, ставить задачи и разрабатывать программу исследований, выбирать адекватные методы решения задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты	Требования ФГОС (ОПК-5, ПК-5, ПК- 8). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
4	Самостоятельно выполнять физико-технические научные исследования для прогнозирования результатов воздействия различных радиационных и плазменных потоков на вещество, а также оптимизации параметров радиационных и пучково-плазменных технологий, с использованием современных физико-математических методов, стандартных и специально разработанных инструментальных и программных средств.	Требования ФГОС (ПК-6, 7). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
5	Разрабатывать и оптимизировать современные пучковые и плазменные технологии с учетом экономических и экологических требований, проводить наладку и испытания технологических установок и аналитического оборудования, решать прикладные инженерно-технические и технико-экономические задачи с помощью пакетов прикладных программ.	Требования ФГОС (ПК-12,13,14). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
6	Участвовать в проектно-конструкторской деятельности, формулировать технические задания, составлять техническую документацию, разрабатывать и использовать средства автоматизации, анализировать варианты проектных, конструкторских и технологических решений, разрабатывать проекты и проектную документацию для создания оборудования, реализующего пучковые и плазменные технологии.	Требования ФГОС (ПК-15, 16). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
7	Заниматься научно-педагогической деятельностью в области технической физики, участвовать в разработке программ учебных дисциплин, проводить учебные занятия, обеспечивать практическую и научно-исследовательскую работу обучающихся, применять и разрабатывать новые образовательные технологии	Требования ФГОС (ПК-9, 10, 11). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
8	Заниматься организационно-управленческой деятельностью, владеть приемами и методами работы с персоналом, находить оптимальные решения при реализации технологий и создании	Требования ФГОС (ПК-17, 18, 19). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями

од езульт ата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
	продукции, управлять программами освоения новой продукции и технологий.	международных стандартов EUR-ACE и FEANI
9	Осуществлять научно-инновационную деятельность, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области радиационных и пучково-плазменных технологий, внедрять новые наукоемкие технологии, готовить документы по защите интеллектуальной собственности, разрабатывать планы и программы организации инновационной деятельности, осуществлять технико-экономическое обоснование инновационных проектов.	Требования ФГОС (ПК-1, 2, 3, 4). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
<i>Универсальные компетенции</i>		
10	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.	Требования ФГОС (ОК-1, 2, 6). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
11	Активно общаться в научной, производственной и социально-общественной сферах деятельности, свободно и грамотно пользоваться русским и иностранными языками как средством делового общения	Требования ФГОС (ОК-3, ОПК - 4). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
12	Участвовать в организации научно-исследовательских и научно-производственных работ, проявлять инициативу, брать на себя всю полноту ответственности, уметь находить творческие, нестандартные решения профессиональных и социальных задач.	Требования ФГОС (ОК-4, 5, ОПК-3). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
 высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Физико-технический институт
 Направление подготовки 160401 Техническая физика
 Кафедра экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой
 _____ Кривобоков В.П.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
ОДМ51	Мутали М.Н.

Тема работы:

Исследование свойств медных покрытий, полученных с помощью магнетронной распылительной системы с жидкофазной мишенью	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	1) магнетронная распылительная система с жидкофазной мишенью; 2) тигли из молибдена и графита и медная мишень; 3) экспериментальное оборудование: вакуумно-плазменная установка КВО; измеритель толщины «Calotest CAT-S0000»; спектрометр Profiler-2; измеритель шероховатости «Micro Measure 3D Station»; измеритель адгезии Micro-Scratch Tester MST-S-AX-0000
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1) изучить физические методы получения покрытий из газовой фазы; 2) рассмотреть существующие конструкции МРС с жидкофазной мишенью и определить необходимые требования к конструкционным элементам МРС; 3) получить медные покрытия с помощью МРС с жидкофазной мишенью; 4) выявить зависимость скорости осаждения от мощности разряда и материала тигля;

	5) исследовать свойства полученных тонкопленочных медных покрытий (адгезию, шероховатость, электрическое сопротивление).
Перечень графического материала	Нужно вставить названия слайдов 1.Актуальность 2.Magnetron sputtering system with liquid-phase target 3.Магнетронная распылительная система с жидкофазной мишенью 4.Цель работы 5.Экспериментальное оборудование 6.Режим работы 7.Зависимость скорости осаждения от мощности разряда 8.Состав медного покрытия 9.Шероховатость покрытий 10.Адгезия 11.Электропроводность пленок меди 12.Основные положения, выносимые на защиту 13.Заключение
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	к.э.н., доцент кафедры менеджмент ИСГТ, Рыжакина Т.Г.
Социальная ответственность	Ассистент кафедры ПФ, к.ф.-м.н. Гоголева Т.С.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Глава 2 Экспериментальное оборудование	

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 А.В.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДМ51	Мутали М.Н.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
ОДМ51	Мутали М.Н.

Институт	ФТИ	Кафедра	Экспериментальной физики
Уровень образования	Магистрант	Направление/специальность	16.04.01 «Техническая физика»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	
<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость сырья и материалов Размер окладов и выплат исполнителям проекта
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Согласно проектной документации
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления во внебюджетные фонды
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке	
<i>1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Разработка анализа конкурентоспособности
<i>2. Разработка устава научно-технического проекта</i>	Планирование работ; построение иерархической структуры ВКР
<i>3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	График проведения ВКР – диаграмма Ганта
<i>4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Оценка сравнительной и финансовой эффективности
Перечень графического материала	
<i>1. Оценка конкурентоспособности технических решений</i> <i>2. Матрица SWOT</i> <i>3. График проведения и бюджет НТИ</i> <i>4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ</i> <i>5. Сравнительная эффективность разработки</i>	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф.менед. ИСГТ	Рыжакина Т.Г.	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДМ51	Мутали М.Н.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0ДМ51	Мутали Меруерт Нуржанкызы

Институт	ФТИ	Кафедра	Экспериментальной физики
Уровень образования	Магистрант	Направление/специальность	16.04.01 "Техническая физика"

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. <i>Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения:</i>	– вредных проявлений факторов производственной среды (микроклимат, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующее излучение от ЭВМ); – опасных проявлений факторов производственной среды (электрической, пожарной и взрывной природы).
2. <i>Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</i>	– электробезопасность; – пожаровзрывобезопасность; – требования охраны труда при работе на ПЭВМ; – правила безопасности при работе с газовым баллоном.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. <i>Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i>	– действие фактора на организм человека; – приведение допустимых; – предлагаемые средства защиты .
2. <i>Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности:</i>	– 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 Т.С	к.ф. - м.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0ДМ51	Мутали Меруерт Нуржанкызы		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа включает в себя 115 страниц, 28 рисунков, 36 таблиц, 47 литературных источников, 1 приложение.

Ключевые слова: высокоскоростное осаждение покрытий, магнетронная распылительная система (МРС) с жидкофазной мишенью, свойства медных покрытий.

Объектом исследования являются медные пленки, полученные с помощью магнетронной распылительной системы с жидкофазной мишенью.

Цель работы – получить данные о влиянии режимов работы и конструкционных материалов МРС с жидкофазной мишенью на свойства медных покрытий.

В ходе исследования были получены медные тонкопленочные покрытия, исследована их адгезия, шероховатость, состав и электрическое сопротивление.

В результате обнаружено, что получение медных покрытий с помощью МРС с жидкофазной мишенью и молибденового тигля происходит быстрее в 20 раз по сравнению с работой МРС с охлаждаемой мишенью. Выявлена зависимость адгезии, шероховатости поверхности и удельного сопротивления медных покрытий от материала тигля. Наилучший результат получен при использовании в качестве материала тигля вещества с наименьшей степенью черноты (Mo).

Оглавление

Введение.....	11
Глава 1.Способы получения тонких металлических покрытий.....	14
1.1 Термическое испарение.....	14
1.2 Магнетронное распыление.....	19
1.3 Магнетронное распыление из жидкой фазы	25
Глава 2 Экспериментальное оборудование.....	32
2.1 Схема экспериментальной установки.....	32
2.2 Измерение толщины пленок	35
2.3 Определение состава покрытий	36
2.4 Измерение шероховатости поверхности покрытий	38
2.5 Исследование адгезионной прочности покрытий	40
2.6 Измерение электрического сопротивления покрытий.....	41
Глава 3 Результаты эксперимента и их анализ.....	43
3.1 Скорость осаждения покрытий.....	43
3.2 Состав покрытий	46
3.3 Шероховатость поверхности медных пленок	47
3.4 Результаты измерения адгезии	47
3.5 Электропроводность пленок меди	51
Глава 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	53
4.1 Предпроектный анализ.....	53
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	53
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции.....	53
ресурсоэффективности и ресурсосбережения	53
4.1.3 SWOT-анализ	55
4.2 Оценка готовности проекта к коммерциализации	59
4.3 Инициация проекта.....	62
4.4 Планирование управления научно-техническим проектом	64

4.4.1 Иерархическая структура работ проекта.....	64
4.5.1 План проекта	66
4.5.2 Бюджет научно-исследовательского проекта	68
4.6 Основная заработная плата.....	69
4.6.1 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала	70
4.6.2 Отчисления на социальные нужды	70
4.6.3 Организационная структура проекта.....	71
4.7 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования..	72
4.7.1 Динамические методы экономической оценки инвестиций	72
4.7.2 Чистая текущая стоимость (NPV).....	73
4.7.3 Дисконтированный срок окупаемости	74
4.7.4 Внутренняя ставка доходности (IRR).....	75
4.4 Индекс доходности (рентабельности) инвестиций (PI)	77
4.5 Оценка сравнительной эффективности исследования.....	77
Глава 5 Социальная ответственность.....	81
5.1 Введение	81
5.2 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	81
5.3 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их при работе на ПЭВМ и вакуумной установке.	82
5.3.1 Организационные мероприятия.	82
5.3.2 Технические мероприятия.	83
5.4 Условия безопасной работы.	85
5.5 Электробезопасность.....	90
5.6 Пожарная и взрывная безопасность.....	92
Заключение	96
Список использованной литературы	97
Приложение А	101

Введение

Научно-техническое направление, связанное с получением и применением тонких металлических пленок, за последние десятилетия приобрело стремительный рост и во многих отраслях современного производства занимает ключевые позиции [1-3]. Нанесение тонкоплёночных покрытий даёт большие возможности по получению необходимых поверхностных свойств изделий.

Тонкие пленки позволяют изменить химический состав и структуру поверхности, её физические и химические свойства, степень чистоты обработки поверхности и её микрогеометрию.

В настоящее время, использование тонких пленок в микроэлектронике, СВЧ-технике, оптике и многих других отраслях науки и техники открывает перспективы создания и совершенствования не только новых приборов, но и целых технологических направлений. Тонкие пленки для физики представляют интерес как объекты, на которых можно обнаружить новые явления и закономерности или объяснить известные. Для техники их исследование открывает возможности разработки и создания принципиально новых приборов и технологий.

Пленки меди, наносимые в вакууме, широко применяются в производстве дискретных полупроводников приборов и интегральных микросхем, а также при изготовлении фотошаблонов – основного технологического инструмента микроэлектроники [4-5]. Их принято считать эталоном электрической проводимости и теплопроводности по отношению к другим металлам.

Медные покрытия широко используются в микроэлектронике для резистивных элементов интегральных схем и в качестве межсоединений, контактных площадок, обкладок конденсаторов.

Тонкопленочные проводящие материалы должны обладать следующими свойствами: высокой электропроводностью, хорошей адгезией к подложке, способностью к сварке или пайке, химической инертностью.

Во многом свойства покрытий зависят от способа их получения. Одним из самых распространённых способов их нанесения являются магнетронные распылительные системы (МРС). К их главным достоинствам можно отнести: отсутствие капельной фазы (в отличие от термического испарения с использованием вакуумно-дугового нагрева или дугового распыления), ионное ассистирование поверхности, возможность производить осаждение покрытий на подложки большой площади и относительная простота конструкции.

Однако для МРС характерны и недостатки: низкая скорость напыления (по сравнению с дуговыми распылителями и термическим испарением в вакууме), высокая степень примесей в осаждённых плёнках и низкая энергетическая эффективность, за счет отвода мощности разряда системами охлаждения. Следовательно, сегодня актуальными задачами в области методов магнетронного распыления являются увеличение скорости осаждения и равномерности нанесения, улучшения адгезионных свойств и снижения количества вредных примесей в покрытиях.

В методе термического испарения скорость осаждения на порядок больше, чем при использовании МРС. Достоинствами данного метода является высокая чистота технологического процесса, отсутствие рабочего газа, а также возможность нанесения тонких проводящих пленок из металлов и сплавов.

Однако метод термического испарения не является универсальным, так как испарение веществ с высокой температурой плавления вызывает ряд осложнений, а также проигрывает МРС по получению пленок на подложки большой площади.

Метод магнетронного распыления металлов из жидкой фазы объединяет в себе достоинства термического испарения и магнетронного

распыления. При использовании МРС с жидкофазной мишенью скорость осаждения выше (в отличие от стандартного магнетрона) за счет того, что в качестве катода используется металл в тигле, который теплоизолируется от системы охлаждения и нагревается до температуры испарения под воздействием ионов плазмы. Преимущество МРС с жидкофазной мишенью от других систем состоит в большей скорости напыления плёнок, и уменьшении удельных затрат энергии на удаление атома мишени. Однако данные устройства подробно еще не изучены.

Цель работы: получить данные о влиянии режимов работы и конструкционных материалов МРС с жидкофазной мишенью на свойства медных покрытий.

Задачи:

- рассмотреть способы получения тонких металлических покрытий;
- получить образцы покрытий при использовании различных конструкций МРС;
- исследовать свойства медных покрытий (адгезия, шероховатость, элементный состав и электропроводность).

Глава 1. Способы получения тонких металлических покрытий

1.1 Термическое испарение

Термическое испарение в вакууме широко применяется для изготовления пленочных микроэлементов и схем. Этот метод основан на свойстве металлов и некоторых других материалов в условиях высокого вакуума перемещаться прямолинейно и оседать на поверхности, расположенной на пути их движения. Осаждаемый материал нагревается до тех пор, пока давление его паров не превысит давление остаточных газов. При этом происходит испарение материала и конденсация его на поверхности подложки с образованием пленки. На качество пленок значительное влияние оказывает величина остаточного давления в рабочем пространстве, которая характеризуется средней длиной свободного пробега остаточных газов.

Основа испарения заключается в том, что все вещества при температуре выше абсолютного нуля, способны испаряться.

Простейшая схема установки для получения тонких пленок методом термического испарения металлов и сплавов в вакууме показана на рис. 1.

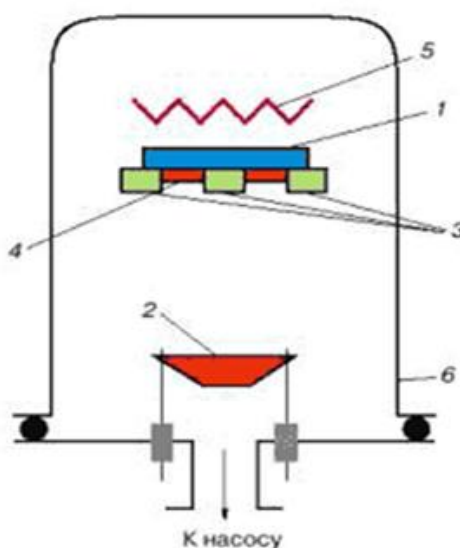


Рисунок 1. Схема испарительной части вакуумной установки для получения пленок: 1-подложка, 2-лодочка с испаряемым сплавом, 3-маска, 4-пленка, 5-нагреватель, 6-корпус вакуумной камеры [6].

Сплав или металл, который должен быть осажден на подложку 1, помещают в испаритель 2. В рассматриваемом случае он имеет форму лодочки, изготовленной из тугоплавкого металла, например вольфрама. Через лодочку пропускают электрический ток, пока она не приобретет достаточно высокую температуру, при которой исходный материал начинает плавиться. Пары от расплавленного металла в виде атомарного пучка, распространяясь от лодочки, попадают на подложку 1 и осаждаются на ее поверхности, образуя слой в виде тонкой пленки. Если подложку предварительно поместить на пластинку (маску) с отверстиями 3, например, круглыми, то в процессе конденсации на подложке образуются пленка, имеющая форму в виде круглых пятен, то есть в соответствии с формой отверстий в маске. Таким образом, с помощью маски 3 можно придавать пленкам различные размеры и форму.

Данный метод позволяет получать чистые пленки. Степень их загрязнения контролируется давлением остаточных газов в камере.

В производстве часто бывает необходимо наносить пленки, состоящие не из одного вещества, а являющиеся сплавами. Это представляет наибольшую трудность в тонкопленочной технологии. Вследствие различной упругости паров компонентов сплава состав пленки может заметно отличаться от исходного (эффект фракционирования сплава). Так, при нанесении сплава нихрома (Ni 80%, Cr 20%) при $t = 1400^{\circ}\text{C}$ на подложке образуется пленка, имеющая следующий состав: Ni - 60%, Cr - 40% [7].

Для получения состава пленок, соответствующего составу исходного сплава, применяют метод микродозирования (дискретное или взрывное испарение). Сущность этого метода (рис. 2) состоит в том, что из дозатора 4 на ленточный разогретый испаритель 5 дискретно сбрасываются небольшие порции порошка испаряемого сплава 1 с размерами частиц 100-200 мкм.

Испарение микродоз происходит практически мгновенно и полностью, в результате чего на подложке 3 последовательно осаждаются очень тонкие слои. В пределах каждого слоя наблюдается неоднородный состав (вследствие фракционирования сплава), однако уже в процессе нанесения из-за взаимной диффузии атомов составляющих компонентов происходит выравнивание концентрации каждого из них по толщине пленки.

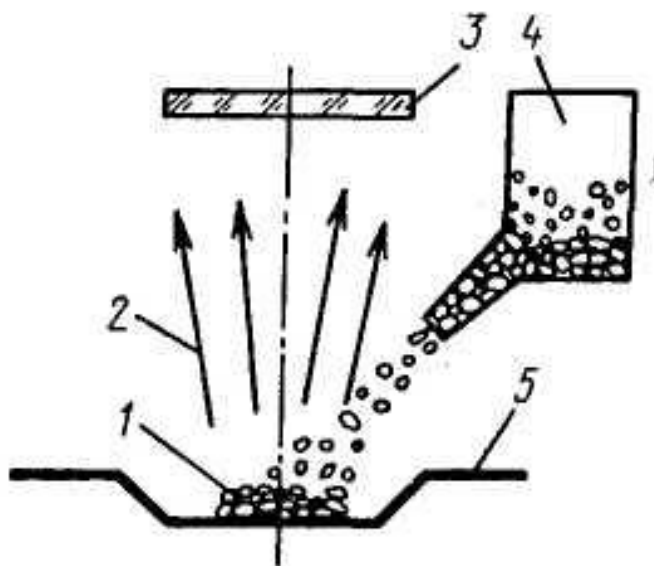


Рисунок 2. Метод дискретного испарения: 1 - испаряемый порошок, 2 - пары наносимого вещества, 3 - подложка, 4 - дозатор, 5 - ленточный испаритель [7].

Этот метод особенно эффективен при нанесении многокомпонентных сплавов (например, МЛТ-2М, нихром - оксид кремния). Достоинством его является также отсутствие загрязнений пленки материалом испарителя, так как происходит малое время контакта микродозы сплава с испарителем.

Основной недостаток метода микродозирования – сложность наладки дозатора для подачи особо мелких порций испаряемого сплава. В условиях большого теплоизлучения (например, от перегретого металлического испарителя) устойчивую работу дозатора обеспечить трудно. Кроме того, имеется опасность не испарения, а разбрызгивания вещества в виде капель или твердых частиц.

Метод термического испарения имеет разновидности, которые различаются по способу нагрева испаряемого материала. По испарителям они делятся на тигельные, ленточные, в виде лодочки и др.

Пример испарителя в виде лодочки был представлен выше на рисунке 1, ленточный – на рисунке 2.

Ленточный испаритель – наиболее простой способ, который нагревает материал за счет джоулевого тепла. Метод применяется для испарения материалов с температурой испарения до 2000 - 2200 °С. Материал резистивного испарителя должен иметь температуру размягчения более высокую, чем температура испарения материала, не вступать с ним в химическую реакцию при высоких температурах. Испаряемый материал не должен диссоциировать при высоких температурах, сплавы и композиции должны иметь близкие друг к другу парциальные давления паров составных материалов при температуре испарения.

Тигельные испарители используют, как правило, для испарения большого количества сыпучих диэлектрических материалов. Тигли изготавливают из тугоплавких металлов, кварца, графита, а также керамических материалов (нитрида бора BN, оксида алюминия Al_2O_3) [8]. Максимально допустимая температура кварца составляет 1400° С, графита - 3000° С, оксида алюминия - 1600° С [8].

Два типа испарителей с тиглями из керамики показаны на рис. 3.

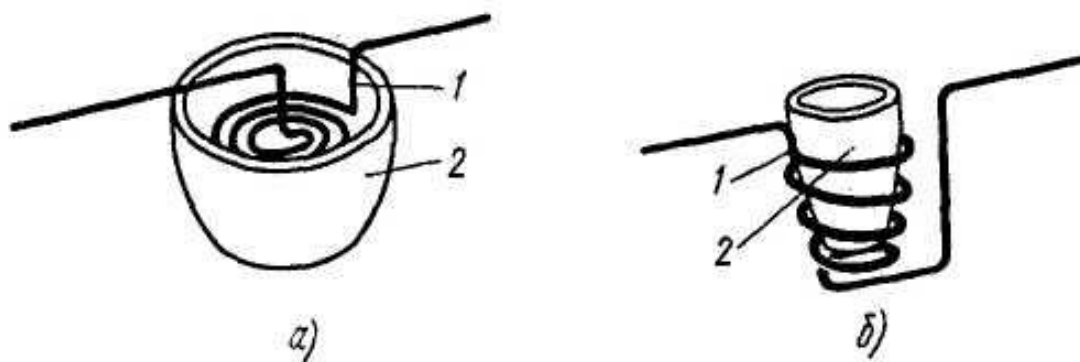


Рисунок 3. Испарители прямого нагрева с тиглями с внутренним (а) и внешним (б) спиральными нагревателями: 1 - спираль, 2 – тигель [8].

В испарителе первого типа (рис. 3, а) нагреватель в виде плоской улиткообразной спирали 1 располагается в полости керамического тигля 2, куда насыпается испаряемый материал. Такая конструкция позволяет испарять с высокими скоростями большое количество вещества.

В испарителе второго типа (рис. 3,б) нагреватель в виде конусообразной спирали 1 расположен с внешней стороны керамического тигля 2.

При равной мощности питания первый испаритель нагревается до более высокой температуры, чем второй. Однако достоинством второго является отсутствие контакта испаряемого материала со спиральным нагревателем. Эксплуатационным недостатком тигельных испарителей является то, что они довольно инерционны, так как малая теплопроводность материала, из которого изготовляют тигель, не обеспечивает быстрого нагрева испаряемого вещества.

Методом термического испарения наносят металлические и неметаллические покрытия на разные подложки. Толщина осажденного слоя пропорциональна времени осаждения. Если требуется получить слой сплава или другого материала усложненного состава, то необходимо использовать два или несколько отдельных испарителей.

Данный метод не является универсальным, так как испарение веществ с высокой температурой плавления вызывает ряд осложнений, а иногда и совсем неосуществимо. В других случаях не обеспечивается необходимая механическая или химическая прочность образующихся покрытий, и, наконец, нанесение пленок на поверхности деталей сложных конфигураций и больших размеров вызывает ряд технологических трудностей.

Методом термического испарения в вакууме создают в основном пленки фторидов щелочных и щелочноземельных металлов, фторидов и фторокисей свинца, тория, церия и сульфидов цинка, сурьмы, мышьяка и других элементов. В посвященных исследованию свойств покрытий [9-11], получаемых термическим испарением в вакууме, много внимания уделяется

повышению их прочности к механическим и химическим воздействиям. При этом тонкие пленки получаются из смесей разнообразных веществ с различной температурой испарения.

Отметим достоинства и недостатки метода термического испарения по сравнению с другими методами нанесения пленок.

Достоинства [12]:

- отсутствие рабочего газа;
- высокая скорость испарения веществ и возможность регулирования ее в широких пределах за счет изменения подводимой к испарителю мощности;
- высокая производительность при групповой загрузке и обработке подложек;
- возможность вести процесс как в высоком вакууме, так и в окислительной и восстановительной среде разреженного газа.

Недостатки [12]:

- малая площадь осаждения получаемой пленкой;
- трудность испарения тугоплавких материалов и материалов сложного состава;
- появление поверхностных дефектов в результате вылета мелких частиц, нарушающих непрерывность пленочного покрытия;
- небольшой срок службы и высокая инерционность испарителей;
- загрязнение пленки материалом испарителей;
- невысокая адгезия пленок к подложке.

1.2 Магнетронное распыление

Магнетронные распылительные системы относятся к системам распыления диодного типа. Распыление в таких системах происходит за счет бомбардировки поверхности мишени ионами рабочего газа (обычно аргона),

образующимися в плазме аномального тлеющего разряда. Такие системы являются наиболее распространенными устройствами ионно-плазменного напыления [13-14] и имеют большие перспективы промышленного применения, так как получаемые пленки (слои металлов, диэлектриков и сплавов) получают с хорошей адгезией и низкой шероховатостью.

Схема магнетронной распылительной системы показана на рисунке 4.

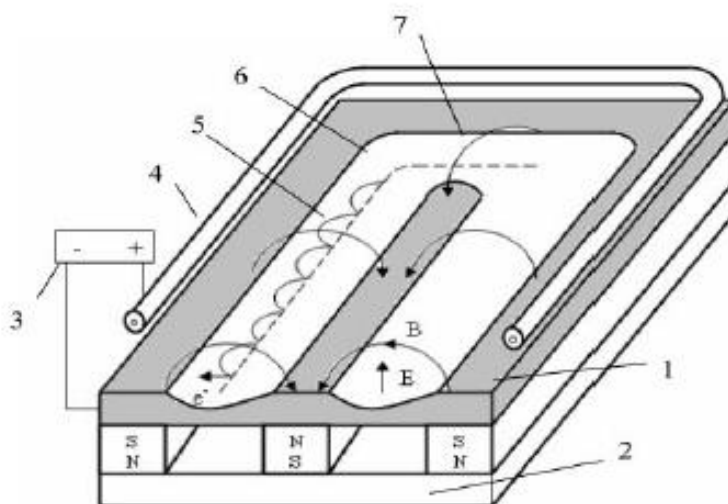


Рисунок 4. Схема магнетронной распылительной системы с плоской мишенью:
1 – мишень; 2 – магнитная система; 3 – источник питания; 4 – анод; 5 – траектория движения электрона; 6 – зона распыления; 7 – силовая линия магнитного поля [15]

Мишень, анод и магнитная система – это основные элементы устройства. Силовые линии магнитного поля замыкаются между полюсами магнитной системы. Поверхность мишени расположена между местами входа и выхода силовых линий магнитного поля, интенсивно распыляется и имеет вид замкнутой дорожки. Геометрия такой дорожки определяется формой полюсов магнитной системы.

Аномальный тлеющий разряд возбуждается неоднородным электрическим полем, которое возникает при подаче постоянного напряжения между анодом (положительный потенциал) и мишенью (отрицательный потенциал). У поверхности мишени находится замкнутое магнитное поле, которое позволяет локализовать плазму разряда. Электроны,

под действием ионной бомбардировки, эмитируют с катода и захватываются магнитным полем. Движение, которое им сообщается, является сложным циклоидальным и происходит по замкнутым траекториям у поверхности мишени.

Электроны оказываются как бы в ловушке, создаваемой с одной стороны магнитным полем, возвращающей их на катод, а с другой стороны – поверхностью мишени, отталкивающей электроны.

До тех пор, пока не произойдет несколько ионизирующих столкновений с атомами рабочего газа, электроны будут циклировать в этой ловушке. При столкновении с атомом электрон теряет энергию, которая была получена от электрического поля. Следовательно, большая часть энергии электрона, прежде чем он попадет на анод, используется на ионизацию и возбуждение. Такой процесс намного увеличивает эффективность процесса ионизации и приводит к возрастанию концентрации положительных ионов у поверхности катода. Этим объясняется увеличение интенсивности ионной бомбардировки поверхности мишени и значительный рост скорости распыления, и это значит, что скорость осаждения пленки тоже растет.

Классификация схем магнетронных распылительных систем может быть проведена по нескольким видам. Например, по видам питающего напряжения и тока разряда, форме мишени, типу магнитной системы и фазовому состоянию катода.

Основным элементом МРС является распыляемый катод. Можно отметить три наиболее применяемых типов магнетронов, которые различаются по форме катода [16]:

- плоские МРС с дисковым катодом или протяженным катодом (планарные МРС) (рис. 5, а);
- цилиндрические МРС (рис. 5, б);
- МРС с конической мишенью (рис. 5, в).

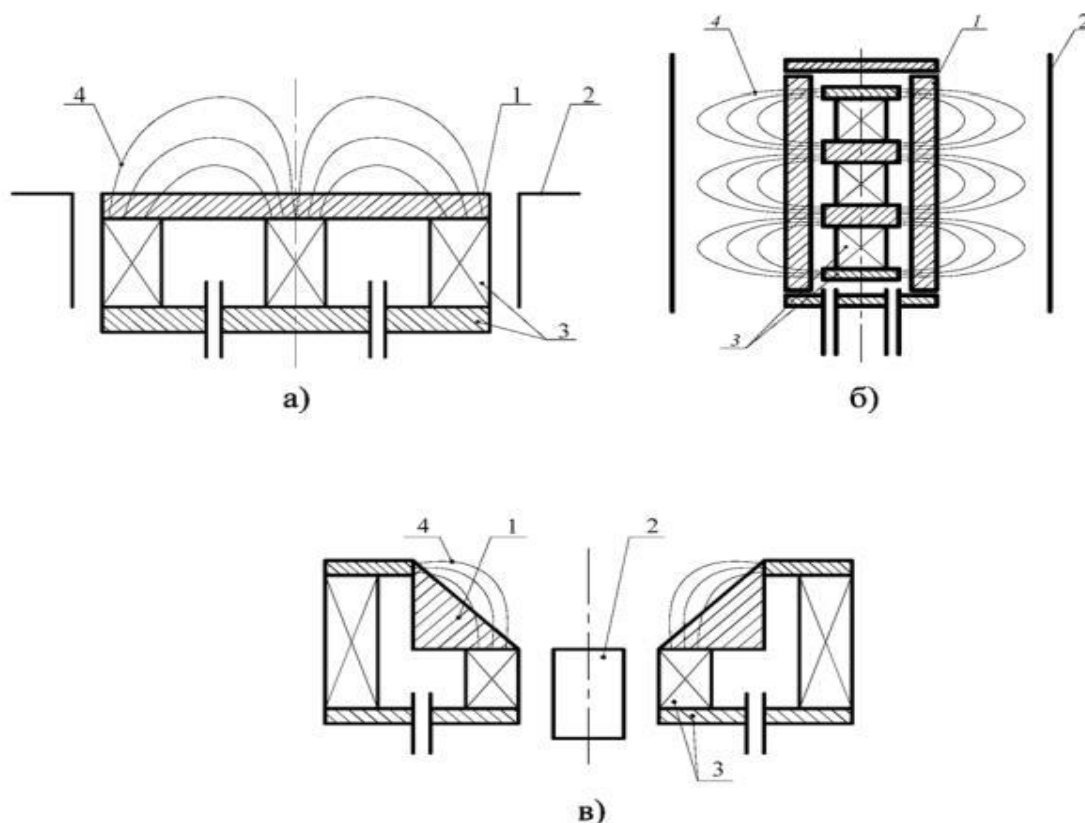


Рисунок 5. Основные конструктивные схемы МРС (а - планарная МРС, б - цилиндрическая МРС; в - МРС с конической мишенью) [16]: 1 – катод-мишень; 2 – анод; 3 – магнитная система; 4 – силовые линии магнитного поля

Самыми распространенными системами является магнетронная распылительная система с плоской мишенью.

Плоские МРС с дисковым катодом используются в небольших установках для нанесения упрочняющих покрытий, проводящих дорожек в микросхемах, отражающих и интерференционных покрытий на небольшие оптические детали.

МРС с цилиндрической формой катода используются, в случае, когда необходимо обеспечить максимальную загрузку камеры обрабатываемыми изделиями.

Существует также комбинация, в которой объединяется МРС с плоским дисковым катодом и МРС с коническим катодом. С помощью такой комбинации можно получить высокую равномерность толщины покрытий на дисковой подложке с диаметром равным наружному диаметру конического

катода. Такие устройства применяются для нанесения магнитных покрытий на диски накопителей информации.

Основные рабочие характеристики магнетронных распылительных систем – напряжение на электродах, ток разряда, плотность тока на мишени и удельная мощность, величина индукции магнитного поля и рабочее давление.

Рабочие параметры магнетронных распылительных систем приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры магнетронных распылительных систем [15].

Давление, Па	10^{-2} -1
Напряжение на мишени, В	300-700
Удельная мощность, Вт/см ²	~100
Плотность ионного тока, мА/см ²	200
Расстояние до подложки, см	5-20
Степень использования материала мишени, %	До 80
Однородность толщины нанесений пленки, %	$\leq \pm 1,2$

От перечисленных выше параметров, которые связаны между собой, зависят стабильность разряда и воспроизводимость процесса нанесения пленок. МРС относятся к низковольтным системам распыления.

Давление рабочего газа (аргона), при котором работают магнетроны, составляет 0,03-0,5 Па. Эффективность магнетрона снижается, если давление будет выше, при этом разряд будет гореть. Расстояния от катода до подложки обычно более 0,1 м. При давлениях выше 0,5 Па длина свободного пробега менее 0,02 м. Это приводит к снижению потока распыленного материала за счет столкновений распыленных атомов с атомами аргона. Поэтому желательно обеспечить работу магнетронной распылительной системы при более низких давлениях. Разряд в МРС можно зажечь при давлениях ниже 0,03 Па, причем нижняя граница допустимого давления сильно зависит от конструктивных особенностей МРС и конфигурации магнитного поля.

К достоинствам метода магнетронного распыления можно отнести [17]:

- универсальность процесса, позволяющая получать пленки металлов, сплавов, полупроводников и диэлектриков;
- высокая скорость осаждения (до нескольких мкм/мин) и возможность ее регулирования в широких пределах;
- сохранение соотношения основных компонентов при распылении сложных веществ;
- возможность изменения структуры и свойств пленок за счет потенциала смещения на подложке, давления и состава газовой среды, одновременного распыления нескольких мишеней и других способов;
- высокая адгезия пленок к подложке;
- низкая пористость пленок даже при малых толщинах;
- возможность проведения процесса в реактивной среде разреженного газа, что позволяет получать пленки нитридов, карбидов, оксидов и других соединений;
- высокая равномерность элементного состава осаждаемой пленки по толщине.

Недостатки [17]:

- сравнительно невысокий коэффициент использования материала мишени (около 25% для плоской мишени) и необходимость для его увеличения усложнения формы мишени или конструкции магнитной системы;
- сравнительно высокая неравномерность осаждаемой пленки по толщине за счет распыления материала из узкой зоны эрозии, имеющей форму кольца или эллипса в виде V-образной канавки; углубление этой канавки по мере распыления мишени уменьшает пространственный угол распыления, вследствие чего уменьшается равномерность пленки по толщине;

- повышение равномерности пленки требует планетарного или возвратно-поступательного движения подложек, что существенно усложняет конструкцию внутрикамерного устройства;
- появление сильнотоочных дуг на поверхности мишени или между мишенью (катодом) и анодом вследствие структурных неоднородностей, а также наличие оксидных пленок и загрязнений на поверхности мишени, что вызывает нестабильность процесса осаждения и ухудшает качество формируемых пленок; для устранения дуг необходимо высокое качество материала мишени, ее предварительная тренировка; кроме того, система электропитания должна быть устойчива к сильным перегрузкам, которые могут возникать при появлении дуги.

1.3 Магнетронное распыление из жидкой фазы

Как уже было описано выше, принцип работы большинства современных МРС основан на распылении поверхности мишени потоками плазмы. Обычно мишень собрана в единое целое с магнитной системой и корпусом магнетрона. Тепло, которое выделяется в мишенном узле в присутствии горячей плазмы, отводят от него с помощью системы охлаждения, чтобы предотвратить, перегрев магнитной системы. При этом мишень, как правило, имеет хороший контакт с магнитной системой и поэтому ее температура остается на небольшом уровне.

Для материала в твердом состоянии максимально допустимая удельная мощность, а, следовательно, и скорость распыления ограничивается его теплопроводностью. Для большинства металлов при нагреве теплопроводность постепенно снижается и при переходе из твердого состояния в жидкую фазу ее суммарное увеличение обычно не превышает пятикратного значения [18]. 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 изложенным представляется целесообразным применять тепловую энергию, которая в настоящее время затрачивается на нагрев воды, на генерацию вещества путем его испарения, и таким образом объединить процесс распыления и испарения в единый распылительно-испарительный процесс.

Соотношение вкладов этих компонент зависит от температуры поверхности металла, которая, в свою очередь, определяется мощностью потока энергии из плазмы и свойствами вещества мишени.

Таким образом, энергию, которая при распылении из твердой фазы теряется в виде тепла, можно использовать на дополнительную генерацию испаряемого вещества. По такому принципу устроены МРС с жидкофазной мишенью [19].

При достаточно высоких плотностях энергии возможен переход магнетронного разряда в режим самораспыления, при котором в качестве рабочего газа выступают атомы материала мишени, что существенно снижает загрязнение пленки остаточными газами.

Рассмотрим известные конструкции МРС с жидкофазной мишенью.

Для распыления материала из жидкой фазы используется магнетронная распылительная система, изображенная на рисунке 6.

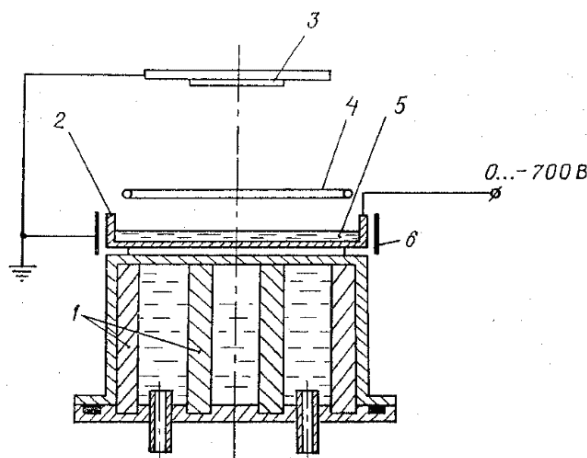


Рисунок 6. Схема устройства для распыления из жидкой фазы: 1 – магнитная система тигель, 2 – тигель, 3 – подложка, 4 – анод, 5 – мишень, 6 – экран [20].

Непосредственно под тиглем 2, изготовленным из немагнитного материала, располагают водоохлаждаемую магнитную систему 1, между корпусом которой и тиглем 2 сделан зазор, ограничивающий отвод тепла от тигля в процессе его разогрева. В тигель помещают диски 5 из Al или Cu, выполняющие роль мишени. Снижение лучистого теплоотвода от тигля обеспечивается радиационным экраном 6. Анод 4 в виде охлаждаемой медной трубки располагают на расстоянии 25 мм над тиглем. 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, а напряжение на разрядном промежутке за счет ограниченной мощности источника питания снижалось.

При мощности источника питания 1,5 кВт, плотности мощности на мишени 40 Вт/см², плотности ионного тока 70 мА/см² 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.

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.

Еще одна конструкция магнетронной распылительной системы с жидкофазной мишенью представлена на рисунке 7.

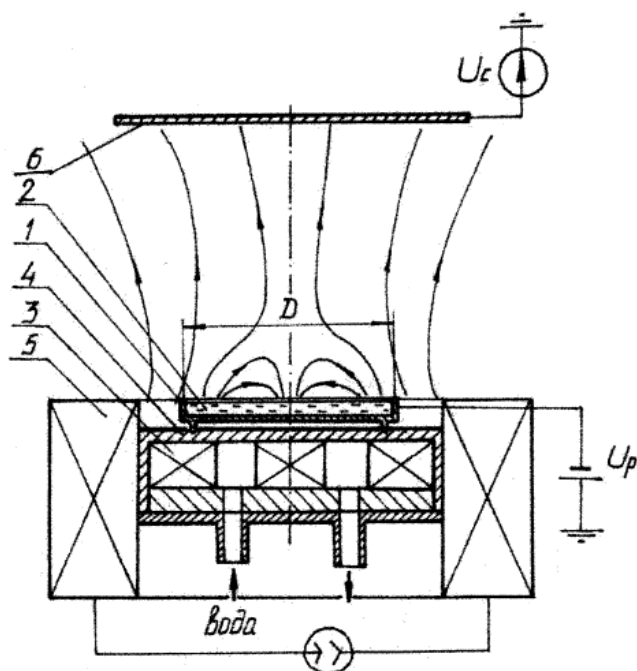


Рисунок 7. Магнетрон с жидкометаллическим катодом: 1-тигель; 2- расплав материала катода - мишени; 3- магнитная система; 4- корпус магнетрона; 5- внешняя электромагнитная катушка; 6 – подложка [21]

Распыляемый материал помещается в тигель из тугоплавкого немагнитного материала. В качестве материала мишени используются обычно алюминий, медь, свинец и олово. Между тиглем и водоохлаждаемой магнитной системой сделан небольшой зазор, шириной около 2 мм, который препятствует отводу тепла от тигля. Тигель устанавливается на магнитной системе на тонких ножках-иглолочках. Ножки помещены в паз корпуса магнитной системы и обеспечивают фиксацию тигля в определенном положении относительно магнитной системы, так чтобы магнитное поле над мишенью было арочной конфигурации, а также создают необходимый теплоизоляционный зазор при минимальной площади контакта с охлаждаемой поверхностью. Арочное магнитное поле над мишенью создается магнитной системой на постоянных магнитах. Магнитная система состоит из центрального магнита и внешнего магнитного кольца

закрепленных на пластине из ферромагнитного материала и помещенных в медный водоохлаждаемый корпус.

Для регулирования площади распыляемой поверхности используется внешняя электромагнитная катушка. 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.

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 рисунке 8.

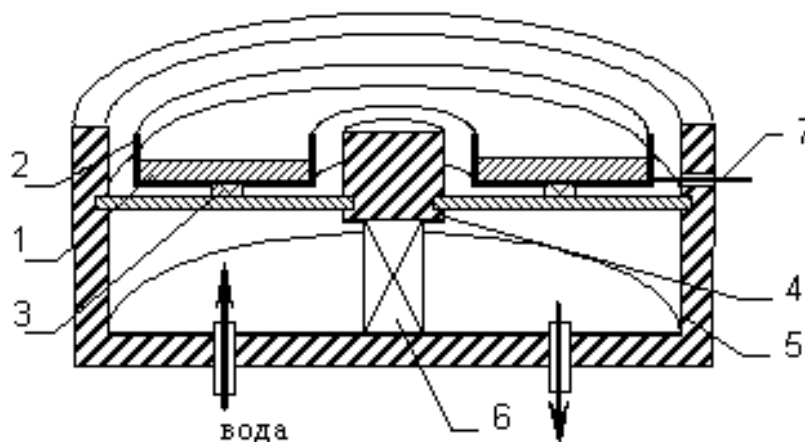


Рисунок 8. Конструкция магнетрона с жидкофазной мишенью: 1 – мишень; 2 – тигель; 3 – керамические вставки; 4 – центральный магнитопровод; 5 – корпус магнетрона; 6 – постоянные магниты; 7 – термопара [22].

Мишень помещена в тигель из тугоплавкого материала, который теплоизолирован от корпуса посредством керамических вставок, и окружен полюсными наконечниками центрального и внешнего магнитопроводов. Магнитная система включает в себя магнитопровод и набор постоянных магнитов, охлаждаемых проточной водой. Кольцо выполнено из магнитопроводящего металла и служит для развязки магнитного поля

устройства. Отличительной особенностью данной конструкции от классической МРС является то, что тигель и мишень выполнены в виде кольца. Конструкция с кольцевой мишенью лишена недостатка неравномерного плавления мишени, так как вся мишень находится непосредственно в зоне горения разряда и, следовательно, происходит ее равномерное расплавление.

Сначала магнетрон начинает работу в обычном режиме. Мишень остаётся твёрдой. Но по мере воздействия плазмы магнетронного разряда она постепенно нагревается и плавится. После чего совершенно меняется характер эрозии её поверхности, так как значительная часть атомов покидает мишень вследствие испарения, а не распыления как в случае твердотельной мишени. При этом их количество может быть настолько большим, что есть возможность отключить подачу рабочего газа и магнетрон будет работать на парах металла. Следует отметить, что доля металлических ионов в газоразрядной плазме постепенно повышается ещё и из-за того, что их потенциал ионизации ниже, чем у аргона. Таким образом, магнетрон переходит в режим самораспыления, где в качестве рабочего газа выступают атомы материала мишени. После того, как вся мишень полностью перешла в жидкое состояние, она не находится в состоянии покоя, а начинает круговое вращение. Это объясняется взаимодействием электрических и магнитных полей в жидком металле. Вследствие этого появляется сила, которая и заставляет жидкий металл двигаться в направлении, которое устанавливается известным правилом левой руки. Такое поведение жидкого металла положительно влияет на процесс распыления, так как происходит удаление остаточных загрязнений с поверхности мишени на стенки тигля.

Магнетронные распылительные системы с жидкофазной мишенью являются высокоскоростным способом металлических покрытий, это объясняет сочетание в них распылительного и испарительного процессов. Из всех представленных конструкций более эффективной является модель, в которой используются тигель и мишень в виде кольца.

Достоинства и недостатки магнетронного распылительного системы с жидкофазной мишенью по сравнению с другими методами нанесения пленок.

Достоинства:

- возможна полная выборка мишеней и легко добавлять используемый материал;
- высокая скорость осаждения за счет наличия интенсивного испарения;
- возможен режим самораспыления, то есть работа без использования рабочего газа (при пониженном давлении).

Недостатки:

- нестабильное горение магнетронного разряда;
- только горизонтальное размещение магнетронной распылительной системы в вакуумной камере.

Глава 2 Экспериментальное оборудование

2.1 Схема экспериментальной установки

Исследования проводились на вакуумной ионно-плазменной установке КВО, предназначенной для осаждения тонкопленочных покрытий на подложки плоской формы. Конструкция установки позволяет проводить осаждение покрытий в среде рабочего газа или смеси газов, для получения металлических и неметаллических покрытий (оксидов, нитридов и т.п.). Ионно-плазменная установка оснащена комплектом магнетронов (стандартная МРС и МРС с жидкофазной мишенью) и ионным источником с замкнутым дрейфом электронов, который обеспечивает очистку поверхности перед осаждением. Управление установкой осуществляется в ручном режиме.

Рабочая камера (РК) представляет собой герметизированный объем круглого сечения. Основное назначение рабочей камеры – осуществление процесса нанесения плазменного покрытия на размещаемые в ней образцы для чего в ней размещается необходимое оборудование и обеспечивается необходимая вакуумно-газовая среда.

Затвор вакуумный предназначен для «отсечения» высоковакуумной части системы откачки от рабочей камеры при выполнении в ней загрузочно-разгрузочных работ.

Вакуумная система (рис. 9) служит для создания необходимого разрежения в рабочей камере установки для осуществления процесса напыления. Вакуумная система установки собрана по стандартной схеме получения высокого вакуума на базе диффузионного паромасляного насоса Н-250 [23].

Вакуумная система включает в себя:

- диффузионный паромасляный Н-250;
- пластинчато-роторный 2НВР-90;

- магистраль откачки диффузионного насоса;
- затвор;
- клапан вакуумный электромагнитный;
- клапан вакуумный электромеханический.

Насос 2HBP–90 служит для форвакуумной откачки диффузионного насоса и предварительной откачки рабочей камеры.

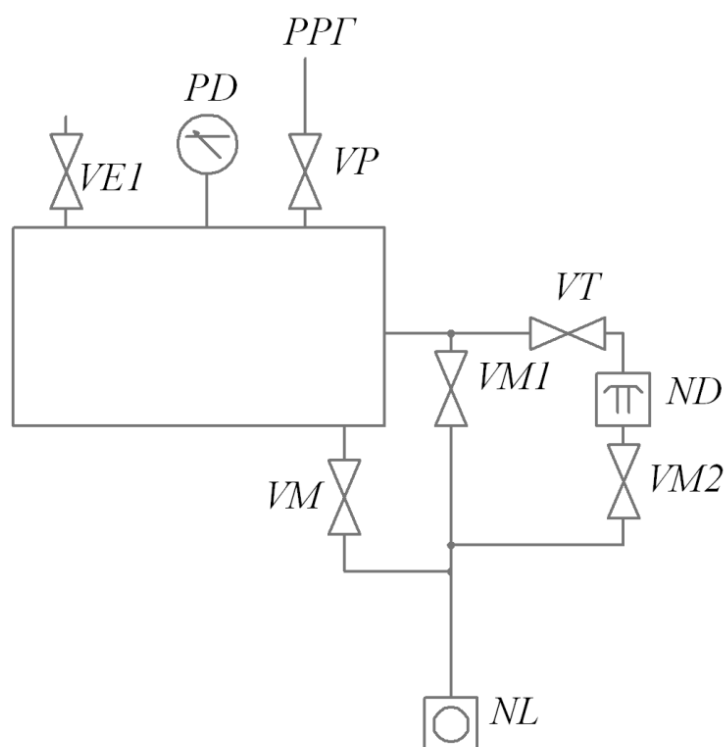


Рисунок 9. Схема экспериментальной установки [23]: *PPG* – регулятор расхода газа; *VE1* – натекатель; *VP* – натекатель НМБ-1; *VT* – затвор с электромеханическим приводом; *VM* – клапан с ручным приводом; *VM1* – клапан с электромагнитным приводом; *VM2* – клапан с электромагнитным приводом;

Подготовка установки к работе:

- проверить внешнее состояние токоведущих проводов, кабельного канала и убедиться в отсутствии повреждений и надлежащем расположении;
- проверить положение тумблеров панели управления (должны находиться в среднем или нижнем положении);

- проверить положение ручного вакуумного клапана (должен находиться в закрытом положении);
- проверить положение вакуумного затвора VT (тумблер VT должен находиться в положении «Закрыт»);
- клапаны VE1, VE2, VP, VM1, VM2 должны находиться в положении «Закрыт»).

Включение установки и получение вакуума:

- подать напряжение на установку включив тумблер «380 В 50 Гц» на панели управления;
- включить вакуумметр для прогрева;
- включить форвакуумный насос NL кнопкой «ПУСК NL»;
- включить диффузионный насос ND кнопкой «ПУСК ND» на панели управления. Выход диффузионного насоса в рабочий режим происходит через $\sim 40\div 45$ мин.;
- открыть клапан VM2;

После выхода диффузионного насоса в рабочий режим погаснет индикаторная лампа красного цвета таймера времени на панели управления;

- закрыть клапан VM2
- открыть клапан VM1;
- после достижения разряжения в камере ~ 10 Па закрыть VM1, открыть VM2 и VT.

Разгрузка (загрузка) рабочей камеры:

- закрыть затвор VT;
- открыть клапан VE1.

После проведения указанных операций произойдет напуск атмосферы в рабочую камеру. Загрузка рабочей камеры осуществляется в следующем порядке:

- закрыть двери рабочей камеры и зафиксировать их защелками;
- закрыть клапан VE1.

Выключение установки в обратном порядке.

2.2 Измерение толщины пленок

В данной работе толщина измерялось прибором Calotest CAT-S0000. Он предназначен для измерения толщины металлических, диэлектрических, полимерных пленок, в том числе и многослойных в диапазоне 0,1-50 микрон. Внешний вид Calotest CAT-S0000 представлен на рисунке 10.



Рисунок 10. Прибор Calotest CAT-S0000 [24].

Время анализа не превышает нескольких минут. Могут быть исследованы образцы с плоской, цилиндрической и сферической поверхностью. Технические характеристики Calotest CAT-S0000 представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические характеристики Calotest CAT-S0000 [24]

Размеры рабочей области, мм	80x80
Скорость вращения об/мин	10-3000
Стандартный диаметр шара, мм	10, 15, 20, 25, 30
Время шлифования, сек	2- 900
Водный раствор алмазной пыли, мм	(0,5-1,0); $\leq 0,2$
Размеры рабочей области, мм	80x80

Измерение толщины производилось следующим образом. Образец помещается на штатив прибора. На валик с электроприводом, размещается

шар относительно образца. Задается скорость и время, валик начинает вращаться. Вращающийся шар прижимается к поверхности образца при помощи выбранной нагрузки. Положение шара относительно образца и контактная нагрузка являются постоянными. К контактному участку добавляют абразивную пасту, она обеспечивает быстрое формирование на поверхности образца сферического отпечатка (рис. 11) [24].

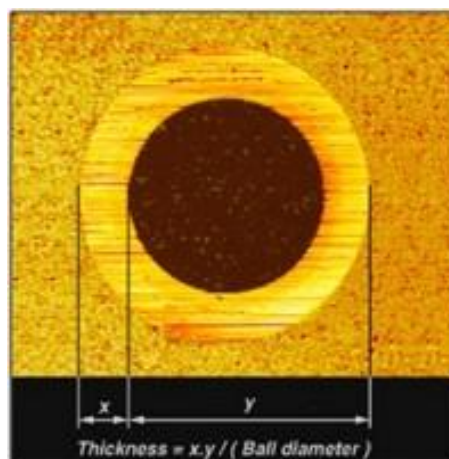


Рисунок 11. Образец после измерения толщины [24].

Изображение отпечатка анализируется программным обеспечением прибора.

2.3 Определение состава покрытий

Так как осаждение покрытий осуществляется в присутствии горячих деталей, может возникнуть загрязнение покрытий. Поэтому необходимо исследовать их состав. В нашей работе состав покрытий исследовался прибором Profiler-2. Прибор – спектрометр тлеющего разряда используется для определения послойно вглубь образца практически всех химических элементов в твердых материалах, таких как металлы, сплавы, полупроводники, полимерные покрытия, стекла и др. Схема типичной конструкции приведена на рис.12.

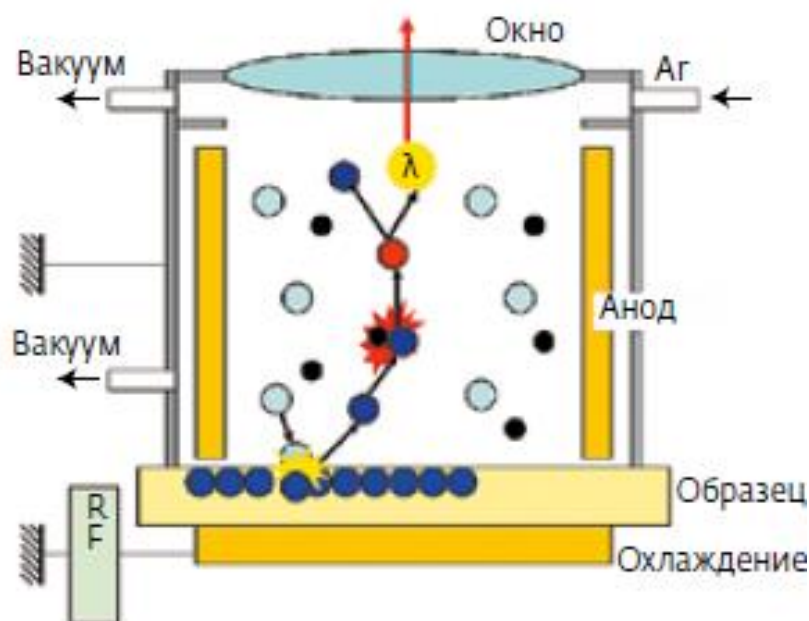


Рисунок 12. Принцип работы Profiler-2 [25].

Внутри прибора находится анод и катод (исследуемый образец). Анод представляет собой медную трубку диаметром, как правило, 4 мм. Располагаемый перед анодом и отделенный от него керамикой с кольцевым уплотнением образец, является катодом. Образец устанавливается на источнике прикладыванием к кольцевому уплотнению. Пространство внутри анода и полость между образцом и керамикой вакууммируется, после чего в трубку поступает аргон. Под воздействием электрического поля ионы аргона ускоряются к образцу, обладая достаточной энергией для распыления его поверхности. Распыленные частицы, в свою очередь, поступают в плазму и возбуждаются через соударения. Возникающая оптическая эмиссия характеризует элементный состав образца. Поскольку материал образца непрерывно распыляется, а распыленный материал постоянно удаляется вакуумным насосом, измеряемая оптическая эмиссия отражает изменение состава образца. Регистрация спектра осуществляется на оптическом спектрометре [25].

2.4 Измерение шероховатости поверхности покрытий

Рельеф поверхности имеет важное значение для дальнейшей обработки тонкой пленки. Поэтому в данной работе была исследована шероховатость покрытий. Для этого был использован прибор Micro Measure 3D Station (рис. 13).



Рисунок 13. Прибор Micro Measure 3D Station[24]

Назначение и область применения:

- бесконтактные измерения различных глубин с использованием набора компактных оптических датчиков;
- выбор одной, двух или трех осей движения для точного позиционирования и сканирования поверхности предмета;
- анализ твердых и мягких образцов, в том числе и оптически прозрачных.

Прибор полностью автоматизирован и оснащен мощным программным обеспечением, которое управляет процессом сканирования образца, записью данных, их математической и графической обработкой. Программное обеспечение включает 260 различных функций обработки результатов измерений.

Функциональные возможности прибора могут быть применены для таких практических приложений, как анализ морфологии поверхности,

определение структурных составляющих 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.

Профилометр работает следующим образом. Световой пучок диаметром 2 мкм освещает поверхность импульсами с частотой 30, 100, 300 или 1000 Гц. Частота световых импульсов выбирается в зависимости от интенсивности отражённого света и зависит от состояния поверхности (шероховатости, степени блеска или черноты). Пучок света генерируется галогенной лампой. Затем по волоконно-оптическому проводнику пучок переходит в датчик, где он формируется в луч. Высота выступов и впадин определяется из разности интенсивностей падающего и отражённого света. Шероховатость поверхности вычисляется из профиля, зарегистрированного на отрезке определённой длины (рис. 14).

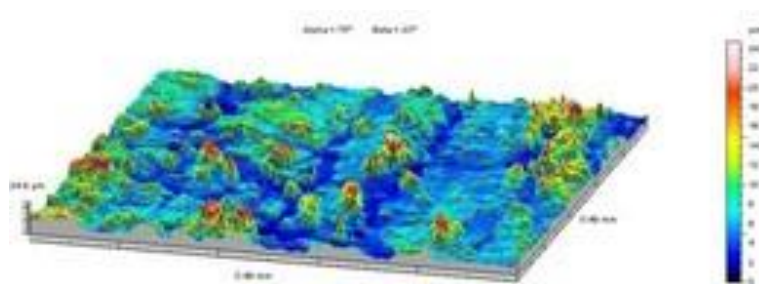


Рисунок 14. 3D модель поверхности подложки.[24]

Трёхмерное изображение поверхности формируется в результате многократного, последовательного перемещения поверхности исследуемого образца под датчиком. Далее производится анализ полученных профилей.

Профилометр снабжен цифровой камерой, позволяющей десятикратно увеличивать изображение поверхности тонкой плёнки. С помощью камеры можно визуально выбрать место исследования. Результатом работы является профилограмма, из которой можно извлечь необходимые параметры шероховатости. Прибор идеален для измерений шероховатости, благодаря небольшому размеру светового пятна.

2.5 Исследование адгезионной прочности покрытий

Адгезия является одной из важнейших характеристик тонких покрытий. Она определяет прочность сцепления пленки с подложкой.

Прибор Micro-Scratch Tester MST-S-AX-0000 (рис. 15) предназначен для исследования адгезионных свойств и износостойкости тонких пленок и покрытий.



Рисунок 15. Устройство Micro-Scratch Tester MST-S-AX-0000 [24]

Применяется для определения числовых параметров системы пленка/основа, таких как:

- сила трения;
- прочность адгезии;
- изображение акустической эмиссии;
- глубины вдавливания индентора.

Наиболее простым и быстрым способом оценки адгезионных характеристик является метод царапания. Царапины на образец было нанесены с помощью алмазного индентора. Во время передвижения индентора, на который подается нагрузка, происходит сцарапывание пленки (рис.16).

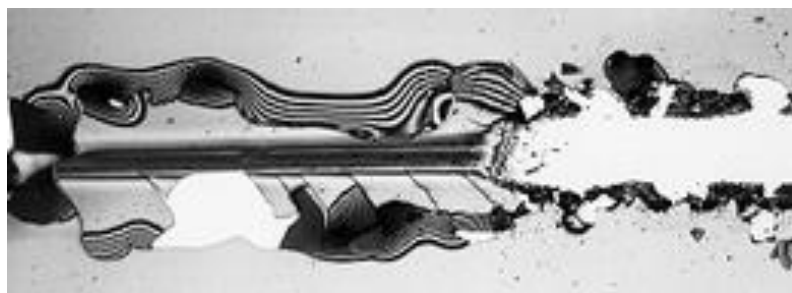


Рисунок 16. Разрушение сарапины [24].

При определенной критической нагрузке покрытие начинает разрушаться. Скорость перемещения алмазного индентора составляла несколько мм в минуту. Момент сдирания пленки определялся с помощью микроскопа, вся информация отображалась на экране и затем обрабатывалась.

2.6 Измерение электрического сопротивления покрытий

Измерения электрического сопротивления образцов проводились на автоматизированном стенде, схема которого представлена на рис.17.

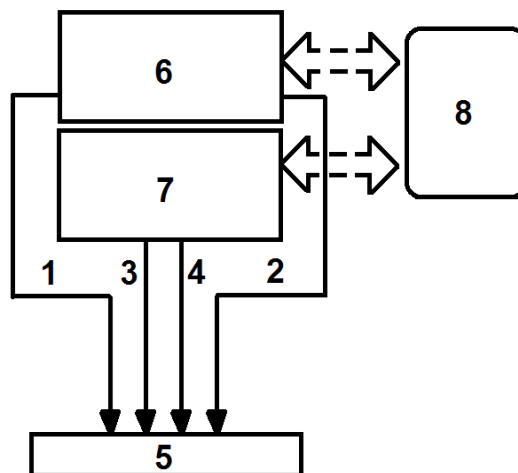


Рисунок 17. Автоматизированный стенд для измерения электросопротивления металлов и сплавов: 1, 2 – контакты для подвода тока к образцу, 3, 4 – контакты для измерения напряжения на участке, 5 – исследуемый образец, 6 – цифровой источник тока, 7 – цифровой нановольтметр, 8 – компьютер.[17]

Измерения сопротивления проводились методом амперметра-вольтметра, основанным на измерении тока, протекающего через

измеряемый участок сопротивления и падения напряжения на нем. Диапазон измеряемых сопротивлений в данной работе лежит в области низких сопротивлений. При проведении таких измерений основными источниками погрешности являются сопротивления контактов и возникающие на месте контакта двух разнородных проводников термо-ЭДС. Для исключения влияния сопротивлений контактов в данном комплексе используется т.н. четырехконтактная схема измерения сопротивления образца. Для устранения влияния термо-ЭДС используется специальный режим измерения сопротивления «Delta». Он основан на проведении измерений падения напряжения на исследуемом участке при разных направлениях тока. Дело в том, что термо-ЭДС и ее полярность не зависят от направленности тока, а значение напряжения зависит. В результате его измерений при различных полярностях тока получают разные значения падения напряжения. Влияние же термо-ЭДС на полусумму полученных значений сводится к нулю. При известном значении силы тока, установленного цифровым источником питания, падение напряжения измерялось цифровым нановольтметром. Управление режимом «Delta» осуществляется автоматически при помощи программного обеспечения, разработанного компанией Keithley Instruments. Значения измеренных напряжений регистрировались компьютером, после чего происходил расчет электросопротивления согласно формуле закона Ома с учетом полученных значений и известного значения тока, протекающего через образец. В данной работе измерения проводились при токе равном 105 мкА, меняющем свою полярность. Для каждого образца было проведено 5 измерений при температуре 20° С.

Глава 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В данной главе рассчитаны все финансовые затраты для реализации проекта. Также исследован уровень коммерциализации и описаны пути его повышения.

Предполагаемый конечный продукт: технология получения покрытий методом магнетронной распылительной системы с жидкофазной мишенью.

4.1 Предпроектный анализ

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

К основным сегментам научно-исследовательского проекта можно отнести медицинские и образовательные учреждения, небольшие предприятия производства медицинских приложений. Конечным продуктом, который будет реализован в данных сегментах, являются тонкие пленки, которые будут применяться в микроэлектронике.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурирующих разработок, необходимо проводить систематически, поскольку существующие рынки пребывают в постоянном движении. Данный вид анализа помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим конкурентам [26-28].

Данный анализ был проведен с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 7

Таблица 7 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,08	4	4	3	0,32	0,32	0,24
2. Удобство в эксплуатации	0,1	5	2	4	0,5	0,2	0,4
3. Надежность	0,1	4	5	4	0,4	0,5	0,4
4. Уровень шума	0,06	1	1	1	0,06	0,06	0,06
5. Безопасность	0,08	5	4	5	0,4	0,32	0,4
6. Простота эксплуатации	0,07	4	3	4	0,28	0,21	0,28
7. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,04	2	3	2	0,08	0,12	0,08
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
2. Цена	0,08	3	2	4	0,24	0,16	0,32
3. Послепродажное обслуживание	0,05	2	3	2	0,1	0,15	0,1
4. Финансирование научной разработки	0,1	4	3	4	0,4	0,4	0,4
5. Срок выхода на рынок	0,04	2	2	1	0,08	0,08	0,04
6. Наличие сертификации разработки	0,1	4	4	3	0,4	0,4	0,3
Итого	1	47	44	42	3,44	3,42	3,02

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в табл. 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 [29]:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (4.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Итогом данного анализа, действительно способным заинтересовать партнеров и инвесторов, может стать выработка конкурентных преимуществ, которые помогут создаваемому продукту завоевать доверие покупателей посредством предложения товаров, заметно отличающихся либо высоким уровнем качества при стандартном наборе определяющих его параметров, либо нестандартным набором свойств, интересующих покупателя[30].

4.1.3 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Он проводится в несколько этапов[31].

На первом этапе описываются сильные и слабые стороны проекта, выявляются возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Результаты первого этапа SWOT -анализа представлены в таблице 8

Таблица 8 – SWOT-анализ научно-исследовательского проекта

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Удобный способ получения микроструктуры циркониевых сплавов. С2. Метод ИПД позволяют получать заготовки со значительно более высокими механическими свойствами. С3. Циркониевые сплавы в УМЗ состоянии не содержат токсичных элементов и обладают высокой коррозионной стойкостью. С4. Экологичность технологии. С5. Квалифицированный персонал.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки Сл2. Требования в биомедицинских исследованиях. Сл3. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой. Сл4. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца.
Возможности: В1. Использование научно-исследовательских достижений ТПУ. В2. Использование инфраструктуры ИФПМ СО РАН г.Томск. В3. Появление дополнительного спроса на новый продукт.		

Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции. У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.		
--	--	--

После того как сформулированы четыре области SWOT переходят к реализации второго этапа.

На втором этапе выявляют 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[32].

Таблица 9 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	+	+	+	0
	B2	+	+	+	+	+
	B3	-	-	-	0	0
Слабые стороны проекта						
Возможность и проекта		Сл.1	Сл.2	Сл.3	Сл.4	
	B1	0	-	-	-	
	B2	0	0	+	0	
	B3	+	+	+	0	
Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	1	-	-	-	-	-

	У2	0	0	0	0	0
	У3	-	-	-	-	-
	У4	-	-	-	-	-
	У5	-	-	-	-	-
Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		Сл.1	Сл.2	Сл.3	Сл.4	
	У1	+	-	+	-	
	У2	-	-	0	-	
	У3	0	+	0	0	
	У4	-	-	0	+	
	У5	0	+	-	+	

Факторы в таблице помечаются соответствие сильных сторон возможностям знаком плюс «+»; слабое соответствие знаком минус «-»; если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-» - ставить знак «0» (таблица 9.).

В рамках третьего этапа составлена итоговая матрица SWOT-анализа (табл.10).

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

Таблица 10 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Удобный способ получения микроструктуры циркониевых сплавов. С2. Метод ИПД позволяют получать заготовки со значительно более высокими механическими свойствами. С3. Циркониевые сплавы в УМЗ состоянии не содержат токсичных элементов и обладают высокой коррозионной стойкостью. С4. Экологичность технологии. С5. Квалифицированный персонал.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки Сл2. Требования в биомедицинских исследованиях. Сл3. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой. Сл4. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания
--	--	--

		опытного образца.
Возможности: В1. Использование научно-исследовательских достижений ТПУ. В2. Использование инфраструктуры ИФПМ СО РАН г.Томск. В3. Появление дополнительного спроса на новый продукт.	При использовании инновационной инфраструктуры ТПУ, также инфраструктуру ИФПМ СО РАН можно упростить процессы обработки данных, полученных после экспериментов.	Появление спроса на новый продукт может быть увеличен за счет ее технологических возможностей. Если использовать инновационную инфраструктуру и необходимые оборудования для проведения испытания опытного образца в ТПУ, то появится возможность избавиться от недостатка финансовых средств.
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции. У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.	На сегодняшний день существует широкий спектр разных методов при исследовании медицинских имплантатов, которые широко применяются в других научных организациях. За счет этого, может возникнуть проблема вывода имплантатов ультратмелькозернистого сплава полученный методом ИПД.	Отсутствие спроса на новые технологии и оборудования, могут ограничить поступление финансовых средств.

Приведенный анализ показал, что технология, находясь на этапе разработки, имеет хорошие шансы на коммерциализацию, с учетом проявляемого интереса партнеров и удачных исследований.

4.2 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Для того, чтобы оценить готовность научной разработки к коммерциализации необходимо заполнить специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации

и компетенциям разработчика научного проекта. Таблица оценки готовности проекта к коммерциализации приведена в таблице 11[33].

Таблица 11 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации.

п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний разработчика у
	Определен имеющийся научно-технический задел	5	4
	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	3	5
	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	2	2
	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	1	1
	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	1	2
	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	1	1
	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	1	1
	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	1
	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	1	1
	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	1	1
	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1

Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	2
Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	2	3
Имеется команда для коммерциализации научной разработки	2	2
Проработан механизм реализации научного проекта	1	1
ИТОГО БАЛЛОВ	24	27

Перспективность проекта ниже среднего, следовательно, для реализации проекта необходимо привлечь специалистов в сфере маркетинга, продумать вопросы финансирования со стороны предприятий. Также необходимо привлечь/обучить специалистов, работающих в области радиационных технологий и обладающими навыками работы на вакуумных установках.

В качестве методов для коммерциализации технологии получение пленок при помощи МРС с жидкофазной мишенью можно выбрать следующие методы:

торговля патентными лицензиями, т.е. передача третьим лицам прав использования объектов интеллектуальной собственности на лицензионной основе. В случае полной доработки проекта есть возможность запатентовать технологию, т.к. до сих пор в целях балансировки обработки электронным лучом не использовалась.

передача интеллектуальной собственности в уставной капитал предприятия. Так данная работа осуществляется непосредственно на кафедре экспериментальной физики, то интеллектуальная собственность может отойти предприятию. Данная кафедра будет финансировать развитие научно-

технического исследования, следовательно, разработка может прийти к конечному готовому результату.

4.3 Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в уставе проекта.

Ниже, в таблицах 12, 13, 14 представлены все необходимые данные, которые входят в устав проекта

Таблица 12 – Заинтересованной стороной проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
ТПУ, кафедра экспериментальной физики	Улучшить свойства медных покрытий

Таблица 13 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Технологии получения медных пленок при помощи магнетронной распылительной системы с жидкофазной мишенью.
Ожидаемые результаты проекта:	-готовая технология получения пленок; -энергоэффективность; - высокое качество полученного материала.
Критерии приемки результата проекта:	результаты испытаний при различных режимах на МРС с жидкофазной мишенью.
Требования к результату проекта:	Требование:
	Освоить работу с компьютерной программой,

	Изучить существующие модели реактивного магнетронного напыления и реализацию этих моделей в программных продуктах.
	Проанализировать результаты расчетов, экспериментальные данные и уточнить значения параметров модели.
	На основании расчетов с уточненными параметрами определить условия возникновения гистерезиса процесса напыления.

На этапе организационной структуры работы проекта решались следующие вопросы: кто будет входить в рабочую группу данного проекта, определить роль каждого участника в данном проекте, а также прописать функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Эту информацию представить в табличной форме (табл. 14.)

Таблица 14 – Организационная структура проекта

п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо- затраты, час.
	Юрьева Алена Викторовна кафедра ЭФ, старший преподаватель,	Руководитель	Координация деятельности проекта	440
	Мутали Меруерт Нуржанкызы, ТПУ, кафедра ЭФ, магистрант	Исполнитель	Выполнение исследовательской работы	541
ИТОГО:				987

В данном разделе были выделены заинтересованные в проекте предприятия, установлены цели и ожидаемые результаты. Была определена рабочая группа проекта, что в дальнейшем необходимо для расчета бюджета.

Таблица 15 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	1 131 147,88
3.1.1. Источник финансирования	ТПУ
3.2. Сроки проекта:	01.03.17-05.06.17
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	01.03.17
3.2.2. Дата завершения проекта	05.06.17

4.4 Планирование управления научно-техническим проектом

4.4.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта[34]. На таблице 16 представлена иерархическая структура по выпускной квалификационной работе.

Таблица 16 – Иерархическая структура по ВКР

Выпускная квалификационная работа	1.Разработка ТЗ на ВКР	1.1 Составление и утверждение технического задания
	2. Выбор направления исследований	2.1 Выбор направления исследования и способов; 2.2 Сбор и изучение научно- технической литературы.
	3. Теоретические и экспериментальные исследования	3.1 Разработка методики экспериментальных исследований; 3.2 Проведение экспериментальных исследований; 3.3 Анализ и обработка полученных данных.

	4. Обобщение и оценка результатов	4.1 Оценка эффективности полученных Результатов; 4.2 Оформление пояснительной; 4.3 Подготовка к защите ВКР.
--	-----------------------------------	---

4.5 Планирования управления научно-техническим проектом

Код работы (из ИСР)	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)
1	Определение темы исследовательской работы	5	01.02	05.02	руководитель, исполнитель, (магистрант)
2	Ознакомление с теоретическими данными	20	08.02	04.03	исполнитель, руководитель
3	Обучение работе на вакуумно - плазменной установки	4	07.03	12.03	исполнитель (магистрант)
4	Изучение скорости осаждения от плотности мощности разряда при работе МРС с жидкофазной мишенью	30	14.03	22.04	исполнитель
5	Обработка полученных результатов; Сравнение результатов расчётов с данными,	11	25.04	11.05	исполнитель

	полученными экспериментально.				
6	Оформление пояснительной записки	21	12.05	01.06	исполнитель
7	Подготовка к защите	12	14.06	14.06	исполнитель
И т о г о:		103	01.02	14.06	

4.5.1 План проекта

В рамках планирования выпускной квалификационной работы построен календарный график работы (таблице 17).

Таблица 17 – Календарный план проекта

Код работы (из ИСР)	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)
1	Определение темы исследовательской работы	5	01.02	05.02	руководитель, исполнитель, (магистрант)
2	Ознакомление с теоретическими данными	20	08.02	04.03	исполнитель, руководитель
3	Обучение работе на вакуумно - плазменной установки	4	07.03	12.03	исполнитель (магистрант)
4	Изучение скорости осаждения от плотности мощности разряда при работе MPC с жидкофазной мишенью	30	14.03	22.04	исполнитель
5	Обработка	11	25.04	11.05	исполнитель

	полученных результатов; Сравнение результатов расчётов с данными, полученными экспериментально.				
6	Оформление пояснительной записки	21	12.05	01.06	исполнитель
7	Подготовка к защите	12	14.06	14.06	исполнитель
И т о г о:		103	01.02	14.06	

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Построен график в виде таблицы 18 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения научного проекта. Работы на графике выделены различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 18 – Календарный план-график проведения ВКР по теме

Код работы	Исполнители	Тк, кал, дн.	Продолжительность выполнения работ											
			февр.		март			апрель			май		июнь	
1	руководитель, исполнитель	5	■											
2	исполнитель, руководитель	20		■	■	■								
3	исполнитель (магистрант)	3				■								
4	исполнитель	30					■	■	■	■				
5	исполнитель	11								■	■	■		
6	исполнитель	21										■	■	■
7	исполнитель	12												■

4.5.2 Бюджет научно-исследовательского проекта

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения.

Таблица 19 – Расчёт затрат по статье «Сырьё и материалы»

Название	Единица измерения	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
медь	кг.	1	302	302
Тигель Мо	1шт	1	580	580
Тигель С	1шт	1	640	640
Газ Ar	40л	1	1829	1829
Вакуумная камера 12Х18Н10Т	3,07 кг	1	262	804,34
Всего за материалы				4 083,34
Транспортно-заготовительные расходы (3-5 %)				204,15
Итого по статье См				4 287,49

Таблица 20 – Расчёт затрат по статье «Спецоборудования для научных работ»

	Наименование оборудования	Общая стоимость, руб.	Норма амортизации, %	Время использования, час	Сумма амортизационных отчислений, руб.
	Компьютер	25000		720	25000
	Вакуумная камера	45000000		42	18900
	Турбомолекулярный насос TMP-2003LMC	671 411		46	671 411
	Спиральный насос ISP-500C	349 300		24	349 300
Итого по статье					1 064 611

Таблица 21 – Группировка затрат по статьям

Затраты по статьям						
	Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов)	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого плановая себестоимость
разработка	4 287	1 064 611	30 000	3 000	29 249,88	1 131 147,88
налог	4 828	1 069 855	32 000	10 000	30 000	1 146 683

4.6 Основная заработная плата

Таблица 22 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистр
Календарное число дней	103	103

Количество нерабочих дней		
- выходные дни	38	43
- праздничные дни	15	15
Потери рабочего времени		
- отпуск	-	-
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	50	45

Таблица 23 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	З _б , руб.	k _р	З _м , руб	З _{дн} , руб.	T _р , раб.дн.	З _{осн} , руб.
Руководитель	30 000	1,3	39 000	1772,72	50	88 636
Дипломник	0				0	0

4.6.1 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

Таблица 24 – Заработная плата исполнителей

Заработная плата	Руководитель	Дипломник
Основная зарплата	88 636	-
Дополнительная зарплата	8 863,6	-
Итого по статье С _{зп}	97 499,6	-

4.6.2 Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (4.2)$$

где $k_{\text{внеб}} = 30\%$ коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Таблица 25 – Отчисления на социальные нужды

	Руководитель	Магистрант
Зарплата	88 636	-
Отчисления на социальные нужды	29 249,88	-

4.6.3 Организационная структура проекта

Таблица 26 – Выбор организационной структуры научного проекта

Критерии выбора	Функциональная	Матричная	Проектная
Степень неопределенности условий реализации проекта	Низкая	Высокая	Высокая
Технология проекта	Стандартная	Сложная	Новая
Сложность проекта	Низкая	Средняя	Высокая
Взаимозависимость между отдельными частями проекта	Низкая	Средняя	Высокая
Критичность фактора времени (обязательства по срокам завершения работ)	Низкая	Средняя	Высокая
Взаимосвязь и взаимозависимость проекта от организаций более высокого уровня	Высокая	Средняя	Низкая

Вывод: на основе проведенного анализа выбора организационной структуры научного проекта, было выявлено, что наиболее выгодной является проектная структура.

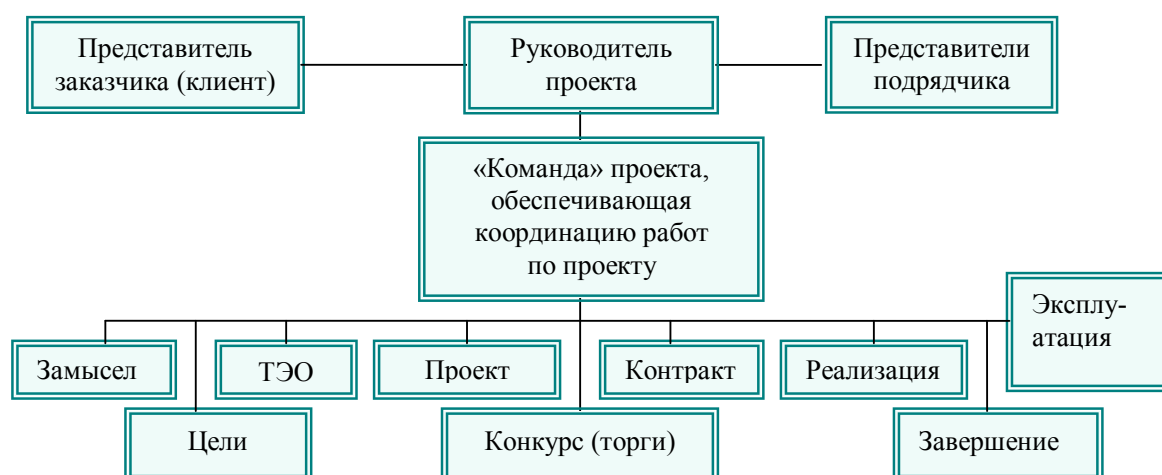


Рисунок 24. Проектная структура проекта

Вывод: на основе проведенного анализа выбора организационной структуры научного проекта, было выявлено, что наиболее выгодной является проектная структура.

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

Эффективность научного ресурсосберегающего проекта включает в себя социальную эффективность, экономическую и бюджетную эффективность. Показатели общественной эффективности учитывают социально-экономические последствия осуществления инвестиционного проекта как для общества в целом, в том числе непосредственные результаты и затраты проекта, так и затраты, и результаты в смежных секторах экономики, экологические, социальные и иные внеэкономические эффекты.

Показатели экономической эффективности проекта учитывают финансовые последствия его осуществления для предприятия, реализующего данный проект. В этом случае показатели эффективности проекта в целом характеризуют с экономической точки зрения технические, технологические и организационные проектные решения.

Бюджетная эффективность характеризуется участием государства в проекте с точки зрения расходов и доходов бюджетов всех уровней.

4.7.1 Динамические методы экономической оценки инвестиций

Динамические методы оценки инвестиций базируются на применении показателей:

- чистая текущая стоимость (**NPV**);
- срок окупаемости (**DPP**);
- внутренняя ставка доходности (**IRR**);
- индекс доходности (**PI**).

Все перечисленные показатели основываются на сопоставлении чистых денежных поступлений от операционной и инвестиционной деятельности, и их приведении к определенному моменту времени. Теоретически чистые денежные поступления можно приводить к любому моменту времени (к будущему либо текущему периоду). Но для практических целей оценку инвестиции удобнее осуществлять на момент принятия решений об инвестировании средств.

4.7.2 Чистая текущая стоимость (NPV)

Данный метод основан на сопоставлении дисконтированных чистых денежных поступлений от операционной и инвестиционной деятельности.

Если инвестиции носят разовый характер, то **NPV** определяется по формуле

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{опt}}{(1+i)^t} - I_0, \quad (4.3)$$

где $ЧДП_{опt}$ – чистые денежные поступления от операционной деятельности;

I_0 – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году;

t – номер шага расчета ($t=0, 1, 2 \dots n$);

n – горизонт расчета;

i – ставка дисконтирования (желаемый уровень доходности инвестируемых средств).

Чистая текущая стоимость является абсолютным показателем. Условием экономичности инвестиционного проекта по данному показателю является выполнение следующего неравенства: $NPV > 0$.

Чем больше **NPV**, тем больше влияние инвестиционного проекта на экономический потенциал предприятия, реализующего данный проект, и на экономическую ценность этого предприятия.

Таким образом, инвестиционный проект считается выгодным, если **NPV** является положительной.

Таблица 27 – Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

	Наименование показателей	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
.	Выручка от реализации, тыс.руб	0	1357,2	1357,2	1357,2	1357,2
.	Итого приток	0	1357,2	1357,2	1357,2	1357,2
.	Инвестиционные издержки, тыс.руб.	-1131,13	0	0	0	0
.	Операционные затраты, тыс. руб С+Ам+ФОТ	0	49,8	49,8	49,8	49,8
	Налогооб прибыль=1-4		1 307,4	1 307,4	1 307,4	1 307,4
.	Налоги Выр-опер=донал.приб*20%	0	261,48	261,48	261,48	261,48
.	Итого отток Опер.затр+налоги	-1131,13	311,28	311,28	311,28	311,28
.	Чистый денежный поток ЧДП=Пчист+Ам Пчист=Пдонал.-налог	-1131,13	820,02	820,02	820,02	820,02
.	Коэффициент дисконтирования (приведения при $i=0,20$)	1	0,833	0,694	0,578	0,482
.	Дисконтированный чистый денежный поток ($c7*c8$)	-1131,13	683,07	569,09	473,9	395,24
0.	То же нарастающим итогом (NPV =990,17)	-1131,13	-448,06	121,03	594,93	990,17

Таким образом, чистая текущая стоимость по проекту в целом составляет 990100 руб., что позволяет судить о его эффективности.

4.7.3 Дисконтированный срок окупаемости

Как отмечалось ранее, одним из недостатков показателя простого срока окупаемости является игнорирование в процессе его расчета разной ценности денег во времени.

Этот недостаток устраняется путем определения дисконтированного срока окупаемости.

Рассчитывается данный показатель примерно по той же методике, что и простой срок окупаемости, с той лишь разницей, что последний не учитывает фактор времени.

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока (см. табл. 28).

Таблица 28 – Дисконтированный срок окупаемости

	Наименование показателя	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
.	Дисконтированный чистый денежный поток ($i = 0,20$)	- 1131,13	6 83,07	5 69,09	4 73,9	3 95,24
.	То же нарастающим итогом	- 1131,13	- 448,06	1 21,03	5 94,93	99 0,17
.	Дисконтированный срок окупаемости	$PP_{диск} = 1 + 448,06 / 569,09 = 1,7$ годы				

4.7.4 Внутренняя ставка доходности (IRR)

Для установления показателя чистой текущей стоимости (NPV) необходимо располагать информацией о ставке дисконтирования, определение которой является проблемой, поскольку зависит от оценки экспертов. Поэтому, чтобы уменьшить субъективизм в оценке эффективности инвестиций на практике широкое распространение получил метод, основанный на расчете внутренней ставки доходности (IRR).

Между чистой текущей стоимостью (NPV) и ставкой дисконтирования (i) существует обратная зависимость. Эта зависимость следует из таблицы 29 и графика, представленного на рисунке 25.

-1131,13	820,02	820,02	820,02	820,02
----------	--------	--------	--------	--------

Таблица 29 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

п/п	Наименование показателя	0	1	2	3	4	NPV
	Чистые денежные потоки	-1131,13	820,02	820,02	820,02	820,02	
	коэффициент						

	дисконтирован ия						
	i=0,1	1	0,909	0,826	0,751	0,683	
	i=0,2	1	0,833	0,694	0,578	0,482	
	i=0,4	1	0,714	0,51	0,364	0,26	
	i=0,5	1	0,667	0,444	0,295	0,198	
	i=0,6	1	0,625	0,390	0,244	0,095	
	i=0,7	1	0,588	0,335	0,203	0,095	
	Дисконтирован ный денежный поток						
	i=0,1	-1131,13	745,3	677,3	615,8	560,07	1467,3
	i=0,2	-1131,13	683,07	569,09	473,9	352,2	947,1
	i=0,4	-1131,13	585,4	418,2	298,4	213,2	384,07
	i=0,5	-1131,13	546,9	364,08	241,9	162,3	184,05
	i=0,6	- 1131,13	512,51	319,8	200,08	77,9	-20,84
	i=0,7	- 1131,13	482,17	274,70	166,46	77,9	-129,9

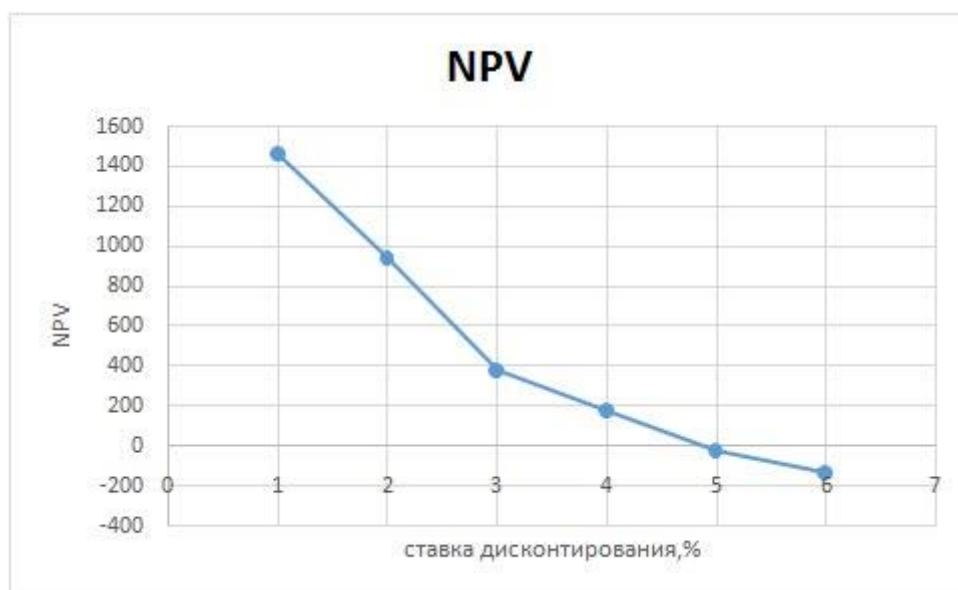


Рисунок 25. Зависимость NPV от ставки дисконтирования

Из таблицы и графика следует, что по мере роста ставки дисконтирования чистая текущая стоимость уменьшается, становясь отрицательной. Значение ставки, при которой NPV обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или «внутренней нормы прибыли». Из графика получаем, что IRR составляет 0,50.

4.4 Индекс доходности (рентабельности) инвестиций (PI)

Индекс доходности показывает, сколько приходится дисконтированных денежных поступлений на рубль инвестиций.

Расчет этого показателя осуществляется по формуле

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{ЧПД_t}{(1+i)^t} / I_0, \quad (4.4)$$

где I_0 – первоначальные инвестиции.

$$PI = \frac{683,07 + 569,09 + 473,9 + 395,24}{1131,13} = 2,2$$

$PI=2,2>1$, следовательно, проект эффективен при $i=0,1$; $NPV=990,17$

4.5 Оценка сравнительной эффективности исследования

Таблица 30 – Группировка затрат по статьям аналогов разработки

Вариант исполнения а налога №	Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	Основная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого плановая себестоимость
1	5000	1 080 611	40000	31 569,7	1 157 180,7
2	6100	1 006 000	42693	35000	1 089 793

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{1131\,130}{1\,089\,793} = 1,03$$

$$I_{\Phi}^{a1} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{1157180,7}{1089793} = 1,06$$

$$I_{\Phi}^{a2} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{1089793}{1089793} = 1$$

где I_{ϕ}^p - интегральный финансовый показатель разработки;

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

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

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:

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

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.

Таблица 31 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	4	3
2. Удобство эксплуатации (соответствует требованиям потребителей) в	0,15	4	3	4
3. Помехоустойчивость	0,15	5	4	3

4. Энергосбережение	0,20	5	4	2
5. Надежность	0,25	5	5	5
6. Материалоемкость	0,15	1	2	3
ИТОГО	1	25	22	20

$$I_m^p = 5 \times 0,1 + 4 \times 0,15 + 5 \times 0,15 + 5 \times 0,20 + 5 \times 0,25 + 1 \times 0,15 = 4,25$$

$$I_1^A = 4 \times 0,1 + 3 \times 0,15 + 4 \times 0,15 + 4 \times 0,20 + 5 \times 0,25 + 2 \times 0,15 = 3,8$$

$$I_2^A = 3 \times 0,1 + 4 \times 0,15 + 3 \times 0,15 + 2 \times 0,20 + 5 \times 0,25 + 3 \times 0,15 = 3,45$$

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

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_{\phi}^p} = \frac{4,25}{1,03} = 4,12$$

$$I_{финр}^{a1} = \frac{I_m^{a1}}{I_{\phi}^{a1}} = \frac{3,8}{1,06} = 3,58$$

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^{a2}}{I_{\phi}^{a2}} = \frac{3,45}{1} = 3,45$$

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

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^{a1}} = \frac{4,12}{3,58} = 1,15$$

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^{a2}} = \frac{4,12}{3,45} = 1,19$$

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

Таблица 32 – Сравнительная эффективность разработки

/п	Показатели	Аналог 1	Аналог 2	Разработка
	Интегральный финансовый	1,06	1	1,03

	показатель разработки			
	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,8	3,45	4,25
	Интегральный показатель эффективности	4,12	3,58	3,45
	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,15	1,19	

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет судить о приемлемости существующего варианта решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

В ходе проведения анализа показателей эффективности инвестиций была получена чистая текущая стоимость (NPV) – 990,17 тыс. руб.

Таким образом, данный инвестиционный проект можно считать выгодным, NPV является положительной величиной. Дисконтированный срок окупаемости проекта ($PP_{дск}$) составляет 1,7года. Внутренняя ставка доходности (IRR) – 0,50, что позволяет признать инвестиционный проект экономически оправданным, так как выполняется условие неравенства $IRR > i$. Индекс доходности (PI) – 2,2 и, основываясь на том, что данная величина превышает единицу, можно утверждать, что данная инвестиция приемлема.

Глава 5 Социальная ответственность

5.1 Введение

Данный раздел посвящен вопросам обеспечения нормативных условий труда (санитарно-гигиенические условия, защита от опасных производственных факторов, обеспечение пожарной безопасности) в соответствии с действующими нормативными документами.

Охрана труда – это система законодательных, социально-экономических, организационных, технологических, гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда[35-37].

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, согласно [38], называется такой производственный фактор, воздействие которого в определенных условиях приводят к травме или другому внезапному, резкому ухудшению здоровья.

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы проводился эксперимент по получению экспериментальных образцов с медных покрытиями с помощью МРС жидкофазной мишенью.

5.2 Анализ опасных и вредных производственных факторов

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

При работе на ПВМ и установке, воздействуют следующие факторы:

- физические:
 - температура и влажность воздуха;
 - шум;
 - статическое электричество;
 - электромагнитное поле низкой частоты;
 - освещённость;
 - наличие излучения;
 - работа с газовым баллоном;
- психофизиологические.

Психофизиологические опасные и вредные производственные факторы, делятся на: физические перегрузки (статические, динамические) и нервно-психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

5.3 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их при работе на ПЭВМ и вакуумной установке.

5.3.1 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 на рабочем месте ответственным лицом.

Проверка знаний правил техники безопасности проводится квалификационной комиссией после обучения на рабочем месте. Проверяемому, присваивается соответствующая его знаниям и опыту работы квалификационная группа по технике безопасности и выдается специальная удостоверение.

Лица, обслуживающие электроустановки не должны иметь увечий и болезней, мешающих производственной работе. Состояние здоровья устанавливается медицинским освидетельствованием.

5.3.2 Технические мероприятия.

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 показана на рисунке 26.

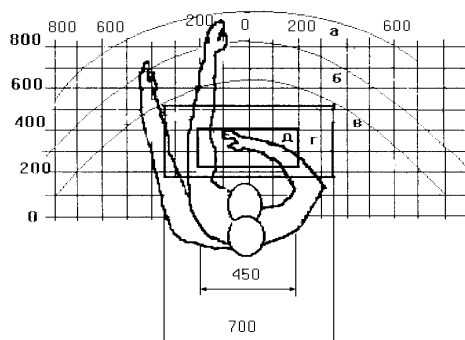


Рисунок 26. Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости
(а - зона максимальной досягаемости рук; б - зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в - зона легкой досягаемости ладони; г - оптимальное пространство для грубой ручной работы; д - оптимальное пространство для тонкой ручной работы.)

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

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования.

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

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

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

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

- по высоте +3 см;
- по наклону от 10 до 20 градусов относительно вертикали;
- в левом и правом направлениях.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края. Нормальным положением клавиатуры является её размещение на уровне локтя оператора с углом наклона к горизонтальной плоскости 15°. Более удобно работать с клавишами, имеющими вогнутую поверхность, четырёхугольную форму с закруглёнными углами. Конструкция клавиши должна обеспечивать оператору ощущение щелчка. Цвет клавиш должен контрастировать с цветом панели.

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

5.4 Условия безопасной работы.

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

Микроклимат - комплекс физических факторов внутренней среды помещений, оказывающий влияние на тепловой обмен организма и здоровье человека. К микроклиматическим показателям относятся температура, влажность и скорость движения воздуха, температура поверхностей ограждающих конструкций, предметов, оборудования, а также некоторые их производные. Оптимальные и допустимые параметры микроклимата приведен на таблице 33.

Таблица 33 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата.

Период года	Категория работ по уровням энергозатрат, Вт	Параметр микроклимата	Величина
Холодный	Iб (140-174)	Температура воздуха в помещении Относительная влажность Скорость движения воздуха	21-23°C 40-60% до 0,1м/с
Теплый	Iб (140-174)	Температура воздуха в помещении Относительная влажность Скорость движения воздуха	22-24°C 40-60% 0,1-0,2м/с

Неблагоприятные условия могут вызывать перенапряжение механизма терморегуляции, что ведет к перегреву или переохлаждению организма. Высокая температура приводит к быстрой утомляемости работника, может привести к перегреву организма, тепловому удару. А низкая температура может вызвать местное или общее охлаждение организма, и привести к простудному заболеванию либо обморожению. Высокая относительная влажность при высокой температуре воздуха способствует перегреванию организма, при низкой температуре увеличивается теплоотдача с поверхности кожи. Низкая влажность вызывает неприятные ощущения в виде сухости слизистых оболочек дыхательных путей работающего[39].

Вычислительная техника является источником существенных тепловыделений, что может привести к повышению температуры и снижению относительной влажности в помещении. В помещениях, где установлены компьютеры, должны соблюдаться определенные параметры микроклимата. В санитарных нормах СН-245-71 установлены величины параметров микроклимата, создающие комфортные условия. Эти нормы устанавливаются в зависимости от времени года, характера трудового процесса и характера производственного помещения [40].

Научно-исследовательская работа выполнялась с помощью персональных компьютеров. При этом основным вредным фактором для инженера-исследователя является электромагнитное излучение, которое влияет на костные ткани, ухудшает зрение, повышает утомляемость, а также может вызвать ослабление памяти и возникновение онкологических заболеваний.

Таблица 34 – Временные допустимые уровни (ВДУ) электромагнитных полей, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах.

Наименование параметров		ВДУ
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2	2,5 В/м

	кГц - 400 кГц	
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

Безопасные уровни излучений регламентируются нормами СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 и представлены в таблице 34. Для того, чтобы снизить вредное влияние электромагнитного излучения при работе с ПК необходимо соблюдать следующие общие гигиенические требования[41]:

1. Продолжительность непрерывной работы взрослого пользователя не должна превышать 2 ч, ребенка – 10 - 20 мин, в зависимости от возраста. В процессе работы желательно менять тип и содержание деятельности, например, чередовать редактирование и ввод данных и их считывание. Санитарными нормами предусматриваются обязательные перерывы в работе на ПК, во время которых рекомендуется делать простейшие упражнения для глаз, рук и опорно-двигательного аппарата.

2. Рабочее место с ПК должно располагаться по отношению к оконным проемам так, чтобы свет падал сбоку, предпочтительнее слева. При наличии нескольких компьютеров расстояние между экраном одного монитора и задней стенкой другого должно быть не менее 2 м, а расстояние между боковыми стенками соседних мониторов – 1,2 м. Экран монитора должен находиться от глаз пользователя на оптимальном расстоянии 60÷70 см, но не ближе 50 см

Экран и системные блоки производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видео-кабеля. Согласно [41] напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

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

Плотность магнитного потока должна быть не более:

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

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

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

При работе с компьютером источником ионизирующего излучения является дисплей. Под влиянием ионизирующего излучения в организме может происходить нарушение нормальной свертываемости крови, увеличение хрупкости кровеносных сосудов, снижение иммунитета и др. Доза облучения при расстоянии до дисплея 20 см составляет 50мкбэр/час. По нормам [42] конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05м от экрана не более $7,7 \times 10$ А/кг, что соответствует эквивалентной дозе, равной 100 мкР/час.

Шум – совокупность аperiодических звуков различной интенсивности и частоты. С физиологической точки зрения шум – это всякий неблагоприятный воспринимаемый звук [43].

Шум ухудшает условия труда оказывая вредное действие на организм человека. Работающие в условиях длительного шумового воздействия испытывают раздражительность, головные боли, головокружение, снижение памяти, повышенную утомляемость, понижение аппетита, боли в ушах и т. д. Такие нарушения в работе ряда органов и систем организма человека могут вызвать негативные изменения в эмоциональном состоянии человека вплоть до стрессовых. Под воздействием шума снижается концентрация внимания, нарушаются физиологические функции, появляется усталость в связи с повышенными энергетическими затратами и нервно-психическим напряжением, ухудшается речевая коммутация.

Уровень шума на рабочем месте инженеров, работающих с компьютером не должен превышать 50дБА, а в залах обработки информации на вычислительных машинах - 65дБА. Для снижения уровня шума стены и потолок помещений, где установлены компьютеры, могут быть облицованы звукопоглощающими материалами. Уровень вибрации в помещениях вычислительных центров (ВЦ) может быть снижен путем установки оборудования на специальные виброизоляторы [44].

Важное место в комплексе мероприятий по созданию условий труда, работающих с ПЭВМ, занимает создание оптимальной световой среды, т.е. рациональная организация естественного и искусственного освещения помещения и рабочих мест.

Правильно спроектированное и выполненное производственное освещение улучшает условия зрительной работы, снижает утомляемость, способствует повышению производительности труда, благотворно влияет на производственную среду, оказывая положительное психологическое воздействие на работающего, повышает безопасность труда и снижает травматизм.

Недостаточность освещения приводит к напряжению зрения, ослабляет внимание, приводит к наступлению преждевременной утомленности. Чрезмерно яркое освещение вызывает ослепление, раздражение и резь в глазах. Неправильное направление света на рабочем месте может создавать резкие тени, блики, дезориентировать работающего.

Требования к освещенности в помещениях, где установлены компьютеры:

- при выполнении зрительных работ высокой точности общая освещенность должна составлять 300лк, а комбинированная - 750лк; аналогичные;
- при выполнении работ средней точности - 200 и 300лк соответственно.

Кроме того, все поле зрения должно быть освещено достаточно равномерно – это основное гигиеническое требование. Иными словами, степень освещения помещения и яркость экрана компьютера должны быть примерно одинаковыми, т.к. яркий свет в районе периферийного зрения значительно увеличивает напряженность глаз и, как следствие, приводит к их быстрой утомляемости.

5.5 Электробезопасность

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

Прохождение электрического тока через тело человека оказывает комплексное воздействие: термическое (нагрев), электролитическое и биологическое. Все это может привести к серьезным нарушениям в организме или смерти согласно данным из [45].

Наиболее часто встречаются две электротравмы: электрический удар и электрический ожог. Ожог также может возникнуть при нахождении пострадавшего вблизи места короткого замыкания, если оно сопровождается электрической дугой.

Ток, проходя через тело пострадавшего, вызывает биологическое действие, обычно поражая при этом сердечно-сосудистую и нервную системы.

Возникает судорожное сокращение мышц, которое «приковывает» пострадавшего к источнику тока. «Приковывающий» эффект делает невозможным самостоятельное освобождение от источника тока, что значительно увеличивает время его действия и отягощает травму. Поражение нервной и сердечно-сосудистой системы приводит к остановке дыхания и сердца или к нарушению ритма их работы. Для спасения пострадавшего необходимо как можно быстрее освободить его от действия электрического тока, а затем оказать ему первую медицинскую помощь.

Наиболее частые встречающиеся причины электротравм это:

1. Прикосновение или приближение на недопустимое расстояние к токоведущим частям, находящимся под напряжением. В свою очередь, причинами этого являются:

- неисправность электропроводки, установочных изделий, электроприборов;
- неосторожность, небрежность, неопытность, неосведомлённость пользователя;
- доступность электроустановок лицам, не знающим правила безопасности;
- через временно выключенные из сети токоведущие части, если не приняты все меры к выключению из сети;
- при несогласованности в действиях (преждевременное включение тока).

2. Прикосновение к металлическому корпусу электроприбора, если он оказался под напряжением вследствие повреждения изоляции.

В соответствии с этим необходимо предусмотреть:

- защитное заземление всех металлических нетоковедущих частей электрооборудования $R_3 \leq 4 \text{ Ом}$;

- раздельное размещение аппаратуры с напряжением до 1000 В и свыше 1000 В;

- ограждение электронного источника, исключающее возможность прикосновения к токоведущим частям;

- полное ограждение от прикосновения к аппаратуре с напряжением выше 1000 В; 86

- отключение всех источников питания установки общим рубильником.

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 надежной изоляцией; недоступность токоведущих частей аппаратуры (заклучение в корпуса электропоражающих элементов, заклччение в корпус токоведущих частей).

5.6 Пожарная и взрывная безопасность.

Согласно, 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 [46].

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 (рис 27).

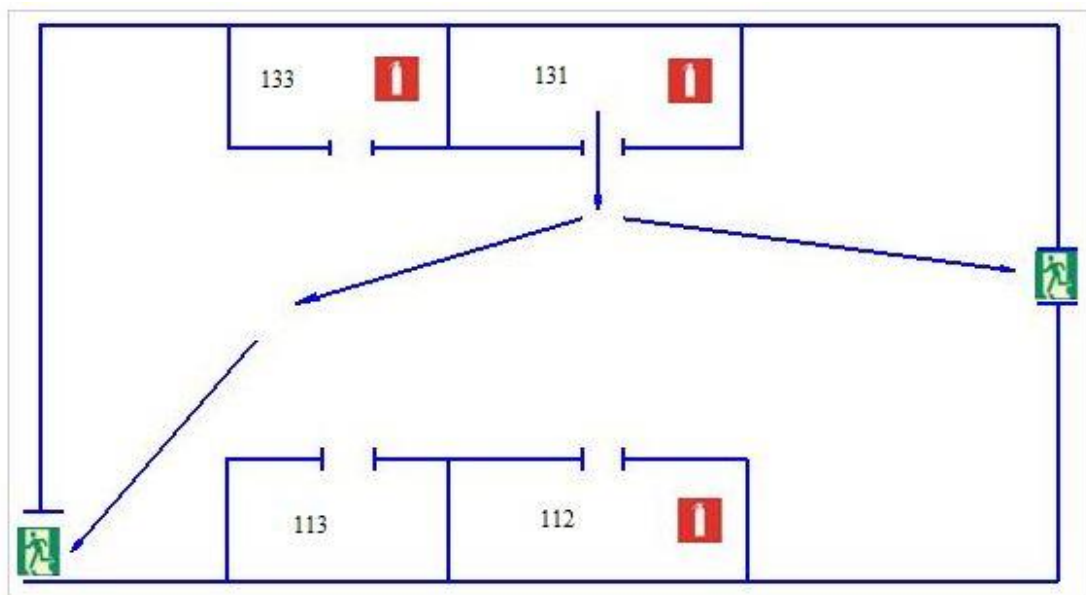


Рисунок 27. План эвакуации из рабочего помещения

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

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

К режимным мероприятиям относятся, установление правил организации работ, и соблюдение противопожарных мер. Для предупреждения возникновения пожара от коротких замыканий, перегрузок и т. д. необходимо соблюдение следующих правил пожарной безопасности:

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);

- применение при строительстве и отделке зданий негорючих или трудно сгораемых материалов;

- правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);

- правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения - предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);

- обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;

- издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;

- соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;

- правильное размещение оборудования;

- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

Баллоны с газом находятся под высоким давлением (несколько десятков атмосфер), в связи с этим эксплуатация такого оборудования должны производиться с большой осторожностью и выполнением ряда технических требований, манометры должны проходить поверку. Газовый сосуд в случае утечку или разрушения может стать причиной взрыва.

Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, находящихся под высоким давлением описаны в [47]. В целях безопасности необходимо выполнение общих правил эксплуатации баллонов:

- баллоны должны быть установлены вертикально и надежно закреплены в таком положении металлическим хомутом, цепью, тросом и так далее, а также защищены от падения на них сверху каких либо предметов;

- баллоны с газом, устанавливаемые в помещениях должны находиться от радиаторов отопления и других отопительных приборов на расстоянии не менее 1 метра и от печей и других источников тепла с открытым огнем не менее 5 метров. При невозможности выдержать необходимое расстояние, необходимо применять защитные экраны, предохраняющие баллоны от местного разогрева, располагая баллон не ближе 0,1 м от экрана. Установленные баллоны также необходимо предохранять от действия солнечных лучей;

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

- во всех случаях открывать и закрывать вентиль баллона необходимо медленно.

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

Сообщить руководству (дежурному).

Позвонить в соответствующую аварийную службу или МЧС – тел. 112.

Принять меры по ликвидации аварии в соответствии с инструкцией.

Заключение

Данная диссертационная работа посвящена исследованию осаждения медных покрытий с помощью магнетронной распылительной системы с жидкофазной мишенью. В работе были изучены скорость осаждения, шероховатость и адгезия, состав покрытий и сопротивление пленок.

В результате проделанной работы можно сделать следующие основные выводы:

1. При осаждении покрытий из МРС с жидкофазной мишенью скорость напыления на порядок выше, чем у обычного МРС. Кроме того, на скорость осаждения оказывает существенно влияние материал тигля. Наилучший результат достигается при работе с молибденовым тиглем.
2. В составе покрытий не обнаружено никаких примесей, что доказывает отсутствие распыления материала тигля.
3. Лучшими свойствами – наименьшей шероховатостью (11,8 нм) и удельным сопротивлением ($1,8 \cdot 10^{-6}$ Ом·см) и наибольшей адгезией (9,8 Н) обладают медные покрытия, полученные с помощью МРС с жидкофазной мишенью и молибденовым тиглем, работающей в режиме самораспыления (0,01 Па)

Список использованной литературы

1. Shi W.L., Jau Y. W., Ming H., Characterization of Single-Crystalline Aluminum Thin Film on (100) GaAs Substrate // The Japan Society of Applied Physics. – 2013. – V.41, N 12. – P.458
2. Robert M., Michael S. Graphene Growth Dynamics on Epitaxial Copper Thin Films/ Jacobberger and Arnold // Department of Materials Science and Engineering. – 2013. – V.3706, N 18. – P. 13.
3. Iman A. H., Ivan P. P., Sean P. N. Antimicrobial activity of copper and copper(I) oxide thin films deposited via aerosol-assisted CVD // Journal of Materials Chemistry B – 2014. – V.86, N 19. – P.563
4. Ю.А. Брусенцов, А.М. Минаев, И.С. Филатов // Материалы твёрдотельной микро- и нанoeлектроники: учебное пособие / Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 80 с.
5. Поляков В.И., Стародубцев Э.В. Проектирование гибридных тонкоплёночных интегральных микросхем: учебное пособие по дисциплине «Конструкторско-технологическое обеспечение производства ЭВМ» – Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2013. – 80 с.
6. Казаков В.Г. Тонкие магнитные пленки. – Москва: Соросовский образовательный журнал, Физика, 1997. – 287 с.
7. Минайчев В.Е. Нанесение пленок в вакууме. – М.: Изд-во Высшая школа, 1989. – 539 с.
8. Лапшинов Б.А. Нанесение тонких пленок методом вакуумного термического испарения: методическое пособие. – Москва: Мос. гос. институт электроники и математики, 2006. – 320 с.
9. Steinmann V., Jaramillo R., Hartman K., Chakraborty R., Brandt R. E., Poindexter J. R. 3,88 % Efficient Tin Sulfide Solar Cells using Congruent Thermal Evaporation// Rad.Effects. –2014. – V.26 – № 44. – P. 7488–7492
10. Devon B., Nicola M., Rachel C., Joel R., Karl S. Vacuum thermal evaporation of polyaniline doped with camphor sulfonic acid // Vacuum Science & Technology. –2015 – V. 031510 – № 45 – P. 33.

11. Суйковский Н.В., Химические методы получения тонких прозрачных пленок. – Л.: Изд. «Химия», 1971. – 200 с.
12. Берлин Е.В., Двинин С.А., Сейдман Л.А., Вакуумная технология и оборудование для нанесения и травления тонких пленок. – М: Изд. «Техносфера», 2007. – 172 с
13. Духопельников Д. В. Магнетронные распылительные системы. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1990. – 89 с.
14. Дьяконов А.Г., Лебедев В.А. Результаты теоретического и экспериментального определения магнитных полей в перенастраиваемой магнетронной распылительной системе // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2014. – № 6. – С. 89.
15. Кривобоков В.П., Сочугов Н.С., Соловьёв А.А., Плазменные покрытия (методы и оборудование). – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 104 с.
16. Духопельников Д.В., Магнетронные распылительные системы: учеб. пособие – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Бауман, 2014 – 53 с.
17. Keithley Instruments official site [Электр. ресурс] – Режим доступа: <http://www.keithley.com/> свободный. Дата обращения: 15.04.17
18. Агасиев А.А., Панахов М.М., Ахундов Ч.Г., Мамедов М.З., Мамедова В.Дж. Получение пленок SrTiO_3 методом магнетронного ионного распыления из жидкой фазы // Бакинский Государственный Университет. – 2006. – №2 – С. 110-112
19. Блейхер Г.А., Кривобоков В.П. Эрозия поверхности твердого тела под действием мощных пучков заряженных частиц. – Новосибирск: Наука, 2014 – 320 с.
20. Удовиченко С.Ю. Пучково-плазменные технологии для создания материалов и устройств микро- и нанoeлектроники. Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2014 – 85 с.

21. Электронный научный архив ТПУ [Электронный ресурс] / Центр информации – Режим доступа: <http://earchive.tpu.ru>, свободный. Дата обращения: 15.04.17
22. Юрева А.В. Магнетронная распылительная система с жидкофазной мишенью // Современные научные исследования и инновации – 2015. – №4. – Ч. 1
23. Юрьева А.В. Электронный курс Современные технологии микроэлектроники [Электр. ресурс] – Режим доступа: <http://stud.lms.tpu.ru/course/view.php?id=189>, Свободный. Дата обращения: 18.04.17
24. Прибор для измерений пленки Calotest SAT-S0000 [Электронный ресурс]– Режим доступа: <http://portal.tpu.ru>, свободный. Дата обращения 18.04.17
25. Ненхин М., Кузнецов А., Шапон П. Спектрометр тлеющего разряда Profiler-2 // Оборудование и материалы. – 2012. – №5 . – С. 34-41.
26. Волков О.И. Экономика предприятия. – М.: Инфра, 2013. – 690 с.
27. Экономика промышленности: учеб. пособие для вузов / под ред. А.М. Барановского, Н.Н. Кожевникова, Н.В. Пирадовой. – М.: Изд-во МЭИ, 2007. – 345 с.
28. Зайцев Н.Л. Экономика промышленного предприятия: Учебник. – М.: Инфра-М., 2008. – 491 с.
29. Ильин А.И. Планирование на предприятии. – Мн.: Новое знание, 2010. – 700 с.
30. Савчук В.П. Диагностика предприятия: поддержка управленческих решений. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. – 174 с.
31. Сачко Н.С. Теоретические основы организации производства. – Минск, 2005. – 387 с.
32. Фатхутдинов Р.А. Производственный менеджмент. – М.: Банки и биржи: ЮНИТИ, 2011. – 496 с.
33. Фатхудинов Р. А. Инновационный менеджмент. – СПб.: Питер, 2008. – 448 с.

34. Шеремет А.Д. Комплексный анализ хозяйственной деятельности. – М: Инфра-М, 2006. – 416 с.
35. ГОСТ 12.1.007-76. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
36. ГОСТ 12.3.002-75. Процессы производственные. Общие требования безопасности.
37. ГОСТ 12.1.003 – 83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
38. Безопасность жизнедеятельности: Учебник/ Под ред. проф. Э.А. Арустамова. – 10-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и Ко», 2006.
39. Безопасность жизнедеятельности. /Под ред. Н.А. Белова - М.: Знание, 2000 - 364с.
40. СНиП 23 – 05 –95. Нормы проектирования. Естественное и искусственное освещение. М.: Минстрой России, 1995.
41. Справочная книга для проектирования электрического освещения. / Под ред. Г.Б. Кнорринга. – Л.: Энергия, 1976.
42. ГОСТ 12.3.002-75. Процессы производственные. Общие требования безопасности
43. Федеральный Закон №214-ФЗ от 24.07.2007: «О драгоценных металлах и драгоценных камнях» (п. 2, ст. 20)
44. СанПиН: 2.2.2/2.4.1340-03 "Гигиенические требования к персональным вычислительным машинам и организации работы".
45. ПБ10-115-96. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением. - ПИО ОБТ, 1996.
46. ГОСТ 12.2.085-82. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. - М.: Стандартинформ, 2007. - 15 с.
47. ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

Приложение А

Раздел 1

ОСАЖДЕНИЕ МЕДНЫХ ПОКРЫТИЙ С ПОМОЩЬЮ МАГНЕТРОННОЙ РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ С ЖИДКОФАЗНОЙ МИШЕНЬЮ

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДМ51	Мутали М.Н.		

Консультант кафедры ЭФ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Блейхер Г.А.	д.ф.м.н		

Консультант-лингвист кафедры ИЯФТ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Зяблова Н.Н.	канд.филол.наук.		

Chapter 2 Experimental equipment

2.1 Scheme of the experimental setup

Studies were carried out on a vacuum ion-plasma installation QUO, intended for the deposition of thin film coatings on a substrate of a flat shape. The design of the system allows the deposition of coatings in the environment of the working gas or mixture of gases to produce metallic and non-metallic coatings (oxides, nitrides, etc.). Ion-plasma installation equipped with a set of magnetrons (standard MPC and MPC with liquid-phase target) and ion source with closed drift of electrons, which provides cleaning of the surface before deposition. Control of installation is performed in manual mode.

The working chamber (RC) is a sealed volume of circular cross-section. The main purpose of the working chamber – the implementation of the process of applying plasma coatings to post it samples for which it is the necessary equipment and provided the necessary vacuum and gas environment.

Stopper vacuum is designed to "trim" the high-vacuum part of the pumping system from the working chamber when performing in her boot and unloading.

Vacuum system (Fig. 9) is used to create the necessary vacuum in the working chamber of the apparatus for carrying out the deposition process. Vacuum system installation are collected according to the standard scheme of obtaining a high vacuum on the basis of aromassage diffusion pump N-250.

The vacuum system includes:

- Diffusion promaslennyh N-250
- Rotary vane 2HBP-90;
- Mainline pumping of the diffusion pump
- Shutter
- Valve vacuum solenoid.
- Valve vacuum Electromechanical

Pump 2HBP–90 is used for foreline pumping of the diffusion pump and a preliminary evacuation of the working chamber.

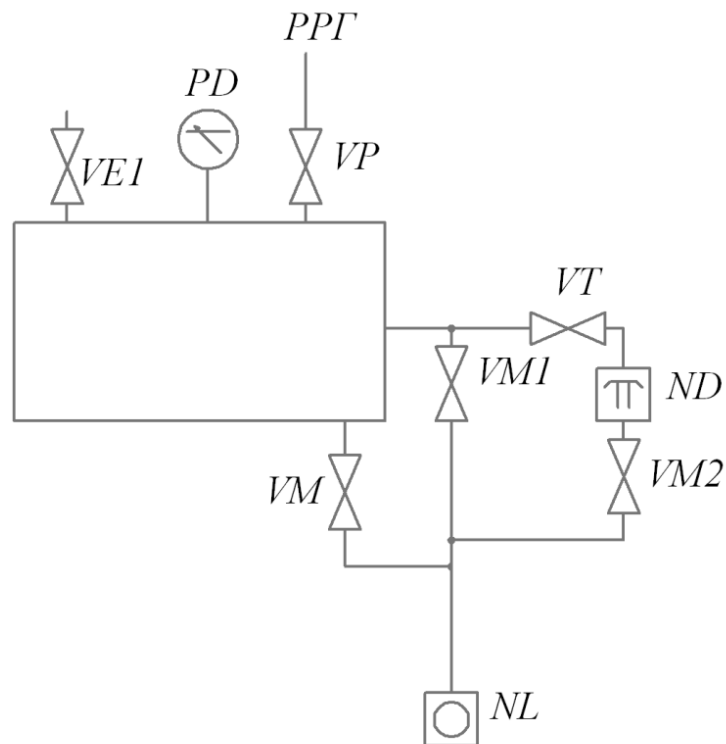


Figure 9. Diagram of the experimental setup:

RRG – gas flow controller; VE1 – leak valve; VP – leak valve NMB-1; VT – valve with Electromechanical. drive; VM – valve with manual transmission; VM1 – valve with an electromagnetic drive; VM2 – valve with an electromagnetic drive;

Preparing the system for work:

- check the external condition of the live wires, cable channel and to ensure no damage and proper location;
 - check position of the switches of the control panel (must be in middle or lower position);
 - check the position of the manual vacuum valve (must be in closed position);
 - check the position of the vacuum shutter VT (VT switch must be in position "is Closed");
- the valves VE1, VE2, VP, VM1, VM2 should be in the "Closed" position).

The inclusion of installation and receipt of vacuum:

- apply voltage to the installation by including the switch "380 V 50 Hz" on the control panel;
- switch the vacuum gauge to warm;
- turn on the roughing pump NL button "START NL";

- turn on the diffusion pump ND click "START ND" in control panel. The output of the diffusion pump operating mode is $\sim 40\div 45$ min.;

- open the valve VM2;

After the exit of the diffusion pump in the operating mode will turn off the indicator light is red timer on the control panel;

- close the valve VM2

- open the valve VM1;

after reaching the vacuum chamber of ~ 10 PA close VM1, and VM2 to access VT.

Unloading (loading) of the working chamber:

- close the shutter VT;

- open the valve VE1.

After these operations will occur the overlap of the atmosphere in the working chamber. Download of the working chamber is carried out in the following order:

- close the door of the working chamber and lock them with latches;

- close the valve VE1.

Off install in reverse order.

2.2 Measurement of the film thickness

In this work the thickness was measured by a Calotest device CAT-S0000. It is designed to measure the thickness of metal, dielectric, polymeric film, including a multilayer in the range of 0.1-50 micrometers. Exterior view Calotest CAT-S0000 shown in figure 10.



Figure 10. the instrument Calotest CAT-S0000

The analysis time does not exceed several minutes. Can be used to study samples with planar, cylindrical and spherical surface. Specifications CAT Calotest-S0000 shown in table 2.

Table 2. Specifications CAT Calotest-S0000

The dimensions of the working area, mm	80x80
Rotation speed rpm	10-3000
The standard diameter of ball, mm	10, 15, 20, 25, 30
The grinding time, h	2- 900
An aqueous solution of diamond dust, mm	(0,5-1,0); $\leq 0,2$
The dimensions of the working area, mm	80x80

Thickness measurement was carried out as follows. The sample is placed on a tripod of the instrument. The roller with the motor that houses the ball relative to the sample. Set the speed and time, the roller starts to rotate. A rotating ball is pressed against the surface of the sample using the selected load. The position of the ball relative to the sample and the contact load are constant. To contact the site

add abrasive paste, it ensures the rapid formation on the sample surface of the spherical imprint

Figure 11 shows the sample after measuring the thickness.

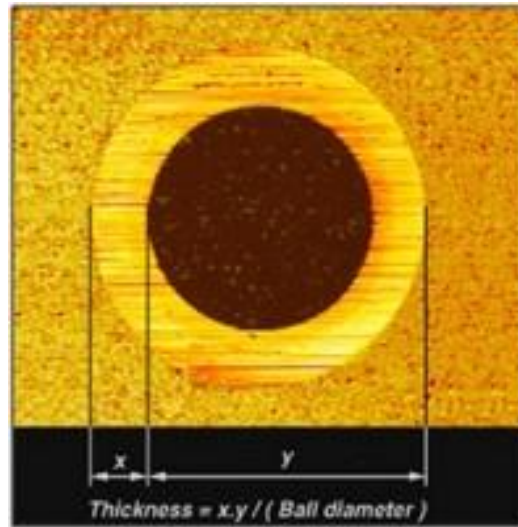


Figure 11. the sample after measuring the thickness.

The fingerprint image is analyzed by the software of the device.

2.3 Determination of chemical composition of coatings

As the work is carried out in the presence of burning of parts can occur, the contamination of the coatings. It is therefore necessary to investigate their composition. In our work the composition of the coatings were studied by the device Profiler-2. The device is a spectrometer glow discharge is used to define the layers into the sample of almost all chemical elements in solid materials, such as metals, alloys, semiconductors, polymer coatings, glass, etc. scheme of a typical design is shown in Fig.12.

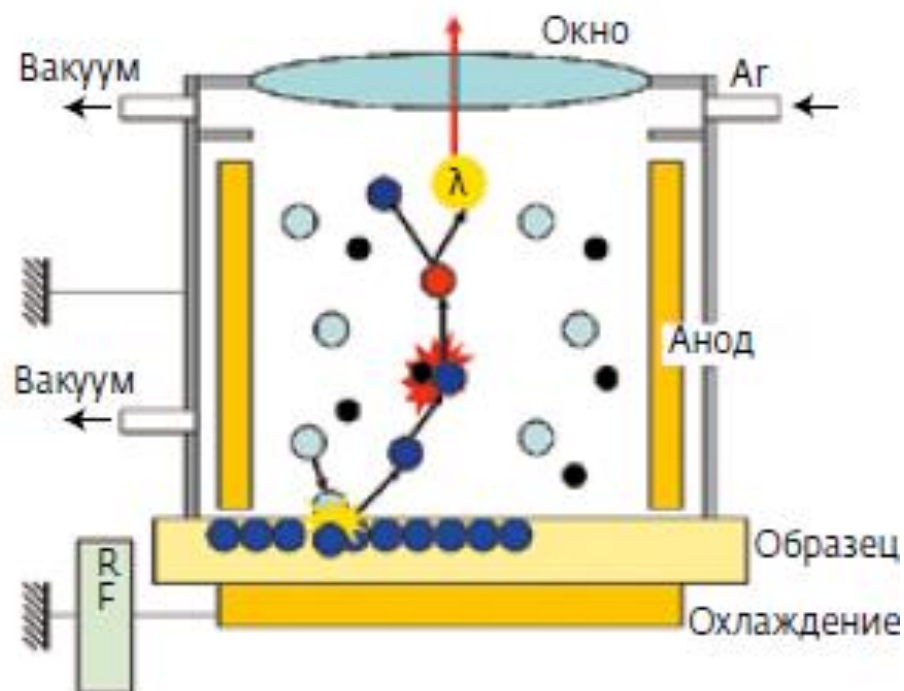


Figure 12. The principle of operation of Profiler-2

Inside the device is the anode and the cathode. The anode consists of a copper tube with a diameter of typically 4 mm. Have the front of the anode and separated from it by a ceramic ring seal sample is the cathode. The sample is mounted on the source of attachment to the annular seal. The space inside the anode cavity and between the sample and the ceramic is evacuated, after which the tube enters the argon. Under the influence of an electric field, argon ions are accelerated to the sample with sufficient energy to atomize the sample surface. Atomized particles, in turn, enter the plasma and are excited through collisions. Emerging optical emission characterizes the elemental composition of the sample. Since the sample material is continuously atomized and the atomized material is constantly removed by the vacuum pump, the measured optical emission reflects the changing composition of the sample. The spectrum is in an optical spectrometer [25].

2.4 Measurement of surface roughness of coatings

The surface topography to be important for further processing of a thin film. Therefore, in this work we have investigated the roughness of the coatings. To study the roughness of the coating instrument was used Micro Measure 3D Station (Fig. 13).



Figure 13. Device Micro Measure 3D Station

Purpose and scope:

- non-contact measurement of various depths using a set of compact optical sensors;
- choice of one, two or three axes of motion for precise positioning and scanning the surface of the object;
- analysis of hard and soft samples, including optically transparent.

The instrument is fully automated and equipped with powerful software that manages the process of scanning the sample, recording the data, their mathematical and graphical treatment. The software includes 260 different functions for processing measurement results.

The functionality of the device can be applied to such practical applications as the analysis of surface morphology, determination of structural components of steel, cast iron, non-ferrous metals, dielectric inclusions in metals, particle size

analysis of powders and then, the analysis of the thickness of nanometer layers of materials, metallographic analysis by comparison with the standards, and several others.

The Profiler operates as follows. Light beam diameter 2 μm illumination pulses with a frequency of 30 Hz, 100 Hz, 300 Hz or 1000 Hz. The frequency of light pulses is selected depending on the intensity of the reflected light depends on the surface condition (roughness, the degree of gloss or black). A beam of light generated by halogen lamp. Then through a fiber optic conductor, the beam enters the sensor, where it is formed into the beam. The height of the projections and depressions is determined from the difference of the intensities of incident and reflected light. Surface roughness is calculated from the profile, was on a segment of a certain length (Fig. 14).

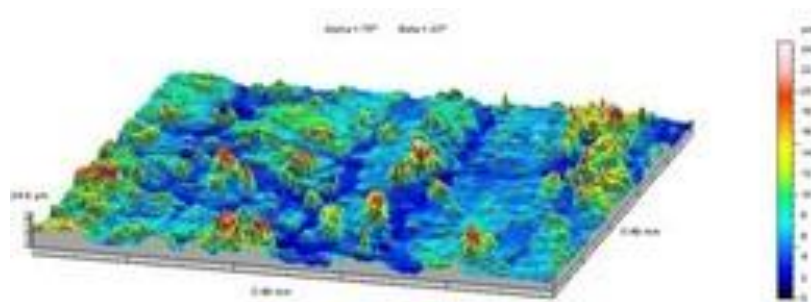


Figure 13. Device Micro Measure 3D Station

Purpose and scope:

- non-contact measurement of various depths using a set of compact optical sensors;
- choice of one, two or three axes of motion for precise positioning and scanning the surface of the object;
- analysis of hard and soft samples, including optically transparent.

The instrument is fully automated and equipped with powerful software that manages the process of scanning the sample, recording the data, their mathematical

and graphical treatment. The software includes 260 different functions for processing measurement results.

The functionality of the device can be applied to such practical applications as the analysis of surface morphology, determination of structural components of steel, cast iron, non-ferrous metals, dielectric inclusions in metals, particle size analysis of powders and then, the analysis of the thickness of nanometer layers of materials, metallographic analysis by comparison with the standards, and several others.

The Profiler operates as follows. Light beam diameter 2 μm illumination pulses with a frequency of 30 Hz, 100 Hz, 300 Hz or 1000 Hz. The frequency of light pulses is selected depending on the intensity of the reflected light depends on the surface condition (roughness, the degree of gloss or black). A beam of light generated by halogen lamp. Then through a fiber optic conductor, the beam enters the sensor, where it is formed into the beam. The height of the projections and depressions is determined from the difference of the intensities of incident and reflected light. Surface roughness is calculated from the profile, was on a segment of a certain length (Fig. 14).

Three-dimensional image of the surface is formed as a result of multiple, consecutive displacement of the sample surface under the sensor. Next is the analysis of the obtained profiles.

The profilometer is equipped with a digital camera, allowing a tenfold increase image of the surface thin film. With the camera you can visually choose where to study. The result is profilogram from which to extract the required roughness parameters.

The ideal instrument for measuring surface roughness, due to the small size of the light spot.

2.5 Study of adhesion strength of coatings

Adhesion is one of the most important characteristics of thin coatings. Adhesion determines the strength of adhesion of a thin film to the substrate.

The device is a Micro-Scratch Tester MST-S-AX-0000 is designed to study the adhesion properties and wear resistance of thin films and coatings. It is used to determine the numerical parameters of the system film/basis, such as:

- the friction force;
- the strength of adhesion;
- image of acoustic emission;
- the depth of indentation.

The most simple and quick way to assess the adhesion characteristics is the technique of scratching. Scratches on the sample was applied using a diamond indenter. During the movement of the indenter, and to which the load is fed, the scratching of the film(Fig.15).

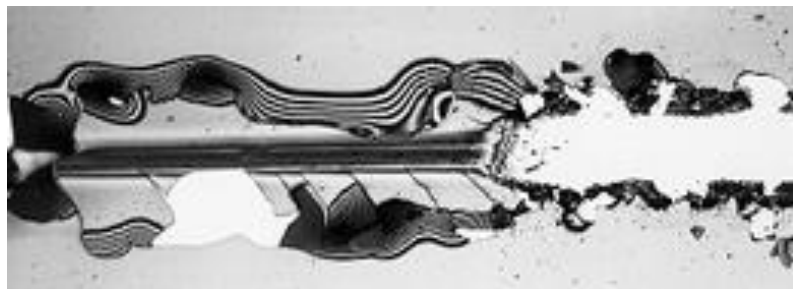


Figure 15.The destruction of the scratch.

At a certain critical load the coating starts to break down. The travel speed of the diamond indenter was a few mm per minute. The time of scorpiana film was determined with a microscope, all the information displayed on the screen and then processed. The device is a Micro-Scratch Tester MST-S-AX-0000 figure 16.The interface of the work program shown in figure 17



Figure 16.The device is a Micro-Scratch Tester MST-S-AX-0000.

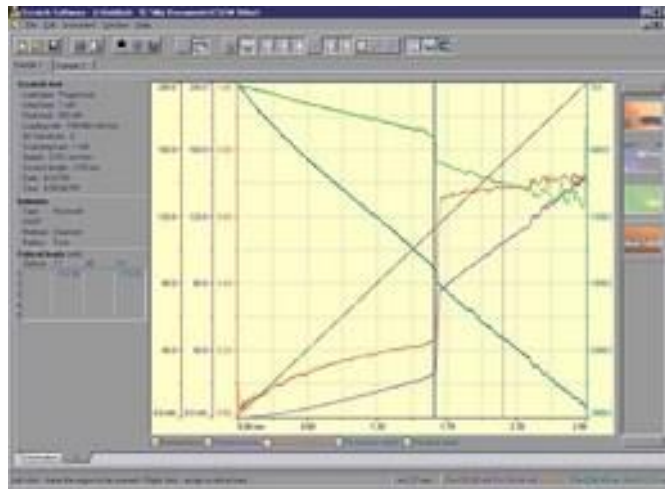


Figure 17.Interface working program .

2.6 Measurement of electrical resistance of coatings

Measure the electrical resistance of the samples was performed on an automated bench diagram is presented in Fig.18.

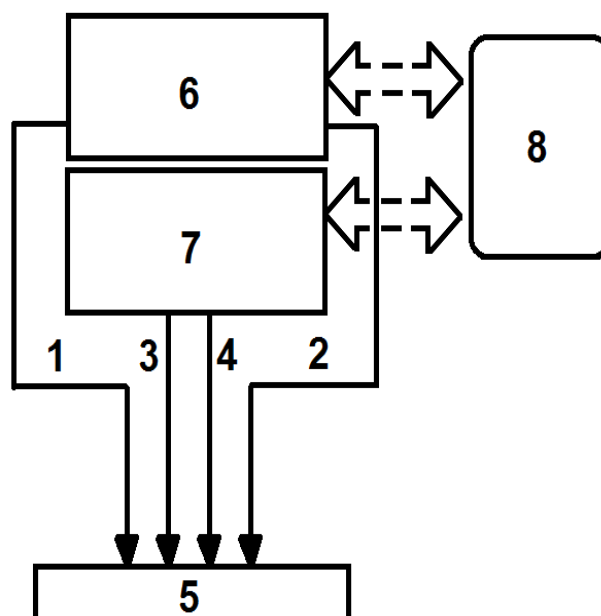


Figure 18. Automated stand for measuring of resistivity of metals and alloys: 1, 2 – contacts for current supply to the sample, 3, 4 – contacts to measure the voltage on the section, 5 – test sample, 6 – digital current source, the 7 – digit nanovoltmeter, 8 – computer.

Resistance measurements were performed by the method of the ammeter-voltmeter, by measuring the current flowing through the measured phase resistance and the voltage drop on it. The range of the measured resistance in this work is in the area of low resistance. When conducting such measurements the main sources of error are the contact resistance and appearing at the place of contact of two dissimilar conductors, the thermal EMF. To eliminate the influence of the resistance of contacts in this complex is the so-called four-contact scheme of measuring the resistance of the sample. To eliminate the effect of thermo-EMF using a special measurement mode of resistance "Delta". It is based on the measurement of the voltage drop in the survey area under different directions of current. The fact that the thermo-EMF and its polarity does not depend on the direction of current, and the voltage value depends. As a result of its measurement at different current polarities have different values of the voltage drop. The influence of thermo-EMF to the sum of the obtained values is reduced to zero. At known value of the current set digital power supply, the voltage drop was measured with a digital nanovoltmeter. Control mode "Delta" is carried out automatically using software developed by Keithley Instruments, the Values of the

measured voltages were recorded by a computer, and then occurred the calculation of the resistivity according to the formula of Ohm's law taking into account the obtained values and the known values of the current flowing through the sample. In this work the measurements were carried out when the current is 105 μA , changing its polarity. For each sample was carried out 5 measurements at a temperature of 200 C.