

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

Школа – Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки – 14.03.02 «Ядерная физика и технологии»
Отделение школы (НОЦ) – Отделение ядерно-топливного цикла

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Структура пленок, напыляемых в слабом магнитном поле путем магнетронного распыления вещества

УДК 539.216.2:621.793.74:621.385.64

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ6А	Мельников Антон Леонидович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЯТЦ ИЯТШ	В.Ф. Мышкин	д.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Л.И. Дорофеева	к.ф.-м.н.		

Томск – 2018 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (компетенции)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
Общекультурные компетенции		
Р1	Демонстрировать культуру мышления, способность к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения; стремления к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства; владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыки работы с компьютером как средством управления информацией; способность работы с информацией в глобальных компьютерных сетях.	Требования ФГОС (УК3,4,5, ОПК-2).
Р2	Способность логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь; критически оценивать свои достоинства и недостатки, намечать пути и выбирать средства развития достоинств и устранения недостатков.	Требования ФГОС (УК-2-5, ОПК-2).
Р3	Готовностью к кооперации с коллегами, работе в коллективе; к организации работы малых коллективов исполнителей, планированию работы персонала и фондов оплаты труда; генерировать организационно-управленческих решения в нестандартных ситуациях и нести за них ответственность; к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений; осуществлению и анализу исследовательской и технологической деятельности как объекта управления, осознавать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности	Требования ФГОС (Ук1, УК- 2, УК-3, УК-4,ОПК-2, 3, ПК-6, 19-23).
Р4	Умение использовать нормативные правовые документы в своей деятельности; использовать основные положения и методы социальных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач, анализировать социально-значимые проблемы и процессы.	Требования ФГОС (ОК-4, ОПК-1-3, ПК-1, ПК-5, Пк-7, Пк-8, Пк-9, ПК-10, ПК-11, ПК-17, Пк-19,Пк-20,ПК-21).
Р5	Владеть одним из иностранных языков на уровне не ниже разговорного.	Требования ФГОС (УК-4,5, ОПК-2, ПК-6)
Р6	Владеть средствами самостоятельного, методически правильного использования методов физического воспитания и укрепления здоровья, готов к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (УК-7, 8, ОПК-3, ПК-12).

Общепрофессиональные		
P7	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.	Требования ФГОС (УК-1, 2, ОПК-1, ПК-2,3,4,5, 6,7, 10, 11,14,).
Профессиональные компетенции		
P8	Владеть основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий; И быть готовым к оценке ядерной и радиационной безопасности, к оценке воздействия на окружающую среду, к контролю за соблюдением экологической безопасности, техники безопасности, норм и правил производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности, норм охраны труда; к контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям, требованиям безопасности и другим нормативным документам; за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования ; и к организации защиты объектов интеллектуальной собственности и результатов исследований и разработок как коммерческой тайны предприятия; и понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны).	Требования ФГОС (УК-7, 8, ОПК-3, ПК-2, 4,6, 8, 11, 12, 14, 17, 18, 20).
P9	Уметь производить расчет и проектирование деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных средств автоматизации проектирования; разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформление законченных проектно-конструкторских работ; проводить предварительного технико-экономического обоснования проектных расчетов установок и приборов	Требования ФГОС (УК-1,2,8, ПК-2, 5,6, 7, 8, 9, 10, 11, 20).
P10	Готовность к эксплуатации современного физического оборудования и приборов, к освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новых материалов, приборов, установок и систем; к наладке, настройке, регулировке и опытной проверке оборудования и программных средств; к монтажу, наладке, испытанию и сдаче в эксплуатацию опытных образцов приборов, установок, узлов, систем и деталей.	Требования ФГОС (ПК-4, 14, 15, 16, 21, 22).
P11	Способность к организации метрологического обеспечения технологических процессов, к использованию типовых методов контроля качества выпускаемой продукции; и к оценке инновационного потенциала новой продукции.	Требования ФГОС (ПК-11, 12, 13, 20, 21, 22).
P12	Способность использовать информационные технологии при	Требования ФГОС

	разработке новых установок, материалов и приборов, к сбору и анализу информационных исходных данных для проектирования приборов и установок; технические средства для измерения основных параметров объектов исследования, к подготовке данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций; к составлению отчета по выполненному заданию, к участию во внедрении результатов исследований и разработок; и проведения математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований.	(УК-2 ОПК-1, ПК-1, 2, 4, 5, 6, 7, 8).
P13	Уметь готовить исходные данные для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений на основе экономического анализа; использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и базы данных в своей предметной области; и выполнять работы по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов.	Требования ФГОС (ОПК-1,2, ПК – 1, 5, 10, 11, 13, 20, 21).
P14	Готовность к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу результатов; анализу затрат и результатов деятельности производственных подразделений; к разработки способов применения ядерно-энергетических, плазменных, лазерных, СВЧ и мощных импульсных установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем.	Требования ФГОС (ПК-3, 8, 7, 10, 11, 14, 16, 18, 22).
P15	Способность к приемке и освоению вводимого оборудования, составлению инструкций по эксплуатации оборудования и программ испытаний; к составлению технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет, заявок на материалы, оборудование), а также установленной отчетности по утвержденным формам; и к организации рабочих мест, их техническому оснащению, размещению технологического оборудования	Требования ФГОС (УК-1, 2, 3, 6, 8, ОПК-3 ПК-5, 6,9, 12, 13, 14, 15, 16, 19, 20, 21, 22, 23).

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

Школа – Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки (специальность) – 14.03.02 «Ядерная физика и технологии»
Отделение школы (НОЦ) – Отделение ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

_____ Л.И. Дорофеева
« ____ » _____ 2018 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
0АМ6А	Мельников Антон Леонидович

Тема работы:

Структура пленок, напыляемых в слабом магнитном поле путем магнетронного распыления вещества	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 1508/с от 6.03.2018 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	8.06.2018
--	-----------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<ol style="list-style-type: none">1. Объект исследования: процесс формирования пленок диамагнитных веществ в магнитном поле.2. Режим напыления: непрерывно в среде аргона, магнитное поле 120 мТл, давление 2 Па.3. Используемое оборудование: форвакуумный насос ВН-1МГ, вакууметр ВИТ-2, источник питания GPR-76015HD, вакуумная камера объемом 5 л.
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Сконструировать установку для формирования пленок заданного состава с помощью плазмы магнетронного разряда. 2. Получить плёнки методом магнетронного напыления. 3. Исследовать кристаллическую структуру пленки с помощью электронной микроскопии. Изучить влияние магнитного поля на параметры формируемых пленок. 4. Обобщение полученных результатов и формулировка рекомендаций для дальнейших исследований.
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. SEM–изображения (вторичная электронная микроскопия). 2. Схематическое представление основных механизмов роста пленок. 3. Схема вакуумной камеры.
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Экспериментальная часть</p>	<p>профессор ОЯТЦ ИЯТШ В.Ф. Мышкин</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>доцент ОСГН ШБИП М.В. Верховская</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>ассистент ОЯТЦ ИЯТШ Т.С. Гоголева</p>

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>23.04.2018</p>
--	-------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Профессор ОЯТЦ ИЯТШ</p>	<p>В.Ф. Мышкин</p>	<p>д.ф.-м.н.</p>		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>0АМ6А</p>	<p>Мельников Антон Леонидович</p>		

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

Студенту:

Группа	ФИО
0АМ6А	Мельников Антон Леонидович

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	ОЯТЦ
Уровень образования	Магистрант	Направление/специальность	14.03.02 «Ядерные физика и технологии»

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

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Оценочная карта конкурентных технических решений
<i>2. Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Иерархическая структура работ
<i>3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	SWOT-анализ

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<ol style="list-style-type: none"> <i>1. Оценка конкурентоспособности технических решений</i> <i>2. Матрица SWOT</i> <i>3. Альтернативы проведения НИ</i> <i>4. График проведения и бюджет НИ</i> <i>5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</i>
--

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	М.В. Верховская	К.Э.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ6А	Мельников Антон Леонидович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0АМ6А	Мельников Антон Леонидович

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	ОЯТЦ
Уровень образования	Магистрант	Направление/специальность	14.03.02 «Ядерные физика и технологии»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p>	<ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (повышенный уровень электромагнитных полей, отклонение показателей макроклимата от оптимальных, ионизирующее излучение от ПЭВМ, шум, вибрация); – опасных проявлений факторов производственной среды (вероятность возникновения пожара, вероятность поражения электрическим током)
<p>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме:</p>	<ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность; – пожаровзрывобезопасность; – требование охраны труда при работе с ПЭВМ и магнетрона

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ6А	Мельников Антон Леонидович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 100 страниц, 21 рисунок, 15 таблиц, 45 источников.

Ключевые слова: магнетронные распылительные системы (МРС), реактивное магнетронное распыление, морфологическая структура пленок, SEM-изображения.

Объектом исследования являются плёнки меди, полученные с помощью МРС.

Цель работы - исследование пленок, образующихся в слабом постоянном магнитном поле из плазмы магнетронного разряда.

В процессе работы проводились: экспериментальные исследования работы магнетронных распылительных систем в среде смеси газов (аргон, кислород), получение покрытий меди, исследовалась кристаллическая и морфологическая структура и влияние слабого магнитного поля на её формирование.

Область применения данного покрытия: создание и усовершенствование полупроводниковых и фотоэлектронных элементов.

Оглавление

Введение	13
Глава 1. Получение тонких металлических пленок	16
1.1. Методы нанесения тонких металлических пленок	16
1.1.1. Ионно-плазменные методы нанесения тонких пленок	19
1.1.1.1. Катодное распыление	20
1.1.1.2. Магнетронное распыление	23
1.2. Закономерности образования и роста пленочных покрытий	25
Глава 2. Экспериментальное оборудование и методика исследований....	30
2.1. Экспериментальная установка	30
2.1.1. Форвакуумный насос ВН-1МГ	31
2.1.2. Вакуумметр ВИТ-2 с манометрическим преобразователем ПМТ-4М	32
2.1.3. Источник питания GPR-100H05D	33
2.1.4. Магнитометр АТЕ-8702	34
2.1.5. Магнетрон	35
2.1.6. Вакуумная камера	37
2.2. Формирование пленок путем магнетронного распыления	37
2.3. Экспериментальные данные и их интерпретация	40
Глава 3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	45
3.1. Предпроектный анализ	45
3.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования	45
3.1.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	45

3.1.3.	SWOT-анализ.....	48
3.2.	Планирование научно-исследовательских работ.....	52
3.2.1.	Структура работ в рамках научного исследования.....	52
3.2.2.	Определение трудоемкости выполнения работ.....	53
3.2.3.	Разработка графика проведения научного исследования.....	54
3.2.4.	Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	56
3.2.5.	Расчет материальных затрат НТИ.....	56
3.2.6.	Основная заработная плата исполнителей темы.....	57
3.2.7.	Отчисления во внебюджетные фонды.....	60
3.2.8.	Контрагентные расходы.....	60
3.2.9.	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	61
3.3.	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	62
	Глава 4. Социальная ответственность.....	66
4.1.	Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	66
4.2.	Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на персонал	68
4.2.1.	Организационные мероприятия.....	68
4.2.2.	Организация рабочего места оператора ПК.....	69
4.2.3.	Условия безопасной работы.....	71
4.3.	Электробезопасность.....	74
4.4.	Пожарная и взрывная безопасность.....	75
	Выводы.....	77

Заключение	77
Список используемых источников	78
Приложение А.....	83

Введение

Высокие темпы развития полупроводниковой и оптической промышленности требуют постоянного повышения качества и характеристик материалов покрытий. Реализация вышеперечисленных требований прямо зависит от достижений в разработке оборудования и усовершенствования технологий получения тонких металлических пленок.

Технологии получения тонких плёнок являются одними из наиболее интенсивно развивающихся областей техники. Тонкие пленки нашли широкое применение в машинном приборостроении, микроэлектронике, лазерной технике и медицине. Изучение технологий получения тонких плёнок является неотъемлемой частью современного образования специалиста в области новых материалов и технологий.

Актуальность. Для расширения сферы применения пленок различного функционального назначения необходимо разрабатывать новые методы нанесения металлических покрытий. Основное требование к разрабатываемым методам – энергия и эффективность. Поэтому исследование процессов формирования пленок различными методами является актуальным.

Новизна. Существуют различные методы управления путями получения различных свойств напыляемых веществ, но влияние слабого магнитного поля на процесс осаждения металлических пленок изучается впервые.

Для того, чтобы проследить влияние слабого магнитного поля на процесс формирования пленок, необходимо выполнение следующих условий:

- Стабильный поток плазмы;
- Непрерывный процесс напыления металлических покрытий.

В выпускной квалификационной работе в качестве метода нанесения покрытий используется метод магнетронного распыления. Магнетронные распылительные системы (МРС), за счёт дрейфового тока электронов в

скрещенных электрическом и магнитном полях имеют протяженные потоки достаточно плотной плазмы.

Использование дополнительных источников ионов (инертных или химически активных газов), которые генерируют направленные потоки ионов рабочих газов, ускоренных до определенной энергии, позволяет повысить эффективность напыления, за счет воздействия на распыляемое покрытие в процессе его роста высоким ионным потоком. Атомы и молекулы быстрее и легче взаимодействуют друг с другом в ионизованном состоянии.

В работе приведены результаты экспериментальных исследований влияния слабого постоянного магнитного поля на процесс формирования ультратонких плёнок заданного кристаллического состава, наносимых методом магнетронного распыления вещества. Эти результаты востребованы при разработке инновационных технологий нанесения пленок различного функционального назначения.

Цель работы

Исследование пленок, образующихся в слабом постоянном магнитном поле из плазмы магнетронного разряда.

Задачи

В рамках учебно-исследовательской работы для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- Изучить методы получения тонких пленок и механизмы их роста.
- Собрать экспериментальную установку по напылению пленок оксида меди методом магнетронного распыления.
- Получить пленки оксида меди на подложках из меди в магнитном поле 0-130 мТл.
- Исследовать структуру поверхности пленки с помощью электронной микроскопии.

Практическая значимость результатов исследований

Результаты исследований могут быть использованы при создании полупроводниковых и фотоэлектронных элементов.

Глава 1. Получение тонких металлических пленок

1.1. Методы нанесения тонких металлических пленок

Способы и методы получения покрытий определяются исходя из физической сущности процессов, лежащих в основе и определяющих эксплуатационные и физико-механические свойства покрытий, и представлены в Таблице 1.1.

Таблица 1.1. Классификация методов получения покрытий [1].

По способу получения вещества для напыления металлических покрытий	PVD, CVD либо комбинированные.
По состоянию вещества для получения металлических покрытий	Жидкое, твердое, ионизованное или атомарное.
По способу активации процесса формирования покрытий	Плазменный метод, термический, ионная бомбардировка, фотонная или электронная стимуляция.
По составу реакционной атмосферы	Инертный газ, вакуум, реактивный газ.
По характеру процессов, протекающих в зоне формирования металлических покрытий	Химические или плазмохимические реакции, физическая конденсация, диффузионное насыщение и т.п.

Из вышеперечисленных методов осаждения пленок наибольшую популярность среди конкурентов имеют следующие:

- Физические (Physical Vapor Deposition);
- Химические (Chemical Vapor Deposition).

При *физическом осаждении (PVD)* материал покрытия мишени из твердой фазы переходит в газовую в результате испарения или в результате распыления за счет кинетической энергии соударения частиц материала.

Нанесение металлических покрытий физическим методом проводится при температуре до 500°C, что не накладывает границы на используемые материалы, на которые наносится металлическое покрытие [3].

Процесс нанесения металлической пленки физическими методами включает следующие этапы:

- генерация газовой (паровой) фазы;
- массоперенос частиц испаряемого вещества от мишени к подложке;
- конденсация атомов испаряемых частиц на поверхности подложки и образование тонкого пленочного покрытия.

Высокий вакуум в камере при физическом осаждении пленок необходим для переноса атомов к подложке и исключения их взаимодействия с частицами паровой или газовой фазы. В связи с этим физические методы получения пленок называют также вакуумными.

Вакуумом – это специальная среда, содержащая газ при давлении гораздо ниже атмосферного. Для вакуума характерно соотношение между длиной свободного пробега молекул газа λ и характерным размером сосуда d . Низкий вакуум ($p > 10^2$ Па) отличается тем, что средняя длина свободного пробега молекул λ значительно меньше размера емкости d , т. е. $\lambda \ll d$. Молекулы при этом постоянно сталкиваются друг с другом.

При соударениях со стенками емкости или сосуда молекулы газа адсорбируются на них. При низком вакууме на стенках сосуда постоянно имеется слой адсорбированных молекул газа. Для среднего вакуума ($p = 10^2 \div 10^{-2}$ Па) средняя длина свободного пробега молекул λ приблизительно равна характерному размеру сосуда или емкости d , т. е. $\lambda \approx d$. При высоком вакууме ($p = 10^{-2} \div 10^{-7}$ Па) средняя длина свободного пробега молекул λ значительно больше характерного размера емкости или сосуда d , т. е. $\lambda \gg d$ [2].

Подробно физические методы получения тонких пленок рассмотрены в работах [10-12, 37, 38].

При *химическом осаждении из газовой фазы (CVD)* состав непосредственно газовой фазы и состав осаждаемого материала (осадка) значительно различаются. Соединение осаждаемого элемента направляется к подложке, где вступает в восстановительные химические реакции с другими газами или подвергается пиролизу (термическому разложению), но при этом нелетучие продукты реакций осаждаются на поверхность подложки. В работах [13,14] рассмотрены основные способы получения металлических пленок методом CVD.

Поступающие к подложке материалы должны быть активированы таким образом, чтобы к поверхности подошли именно те компоненты, которые смогут образовать покрытие с необходимыми свойствами. Следовательно, возбуждение молекулы прекурсора должно быть до величины энергии соответствующей условиям протекания одной реакции из их большого числа для данных компонент. В некоторых случаях молекулы прекурсора распадаются на радикалы, для образования на поверхности материала получаемой пленки с нужным кристаллическим и морфологическим строением и свойствами.

Наиболее часто используемыми методами CVD являются [5]:

- APCVD - Atmospheric Pressure CVD – процесс при атмосферном давлении в реакторе
- LPCVD - Low Pressure CVD - процесс при пониженном давлении в реакторе
- PECVD – процесс с ассистированием плазмой

Метод химического осаждения имеет одно из главных преимуществ – возможность получения металлических пленок заданной кристаллической

структуры и широкий диапазон скоростей осаждения, а главный его недостаток – это использование токсичных, экологически небезопасных газовых смесей [4].

Зачастую разделение физических и химических методов представляет достаточно трудную задачу: физический метод испарения металлов может сочетаться с их окислением, а электрохимические технологии получения пленок, сочетающие признаки обоих методов.

1.1.1. Ионно-плазменные методы нанесения тонких пленок

Самое широкое распространение в технологии электронных средств получили ионно-плазменные методы напыления металлических пленок. Их распространённость обусловлена тем, что с их помощью можно осуществлять самые различные технологические операции: формировать тонкие пленки на поверхности подложки, травить поверхность подложки с целью создания на ней заданного рисунка интегральной микросхемы, осуществлять очистку поверхности различных материалов[6].

Преимущества ионно-плазменных методов [12]:

- Возможность получения пленок химических соединений, тугоплавких материалов и сплавов заданного состава;
- Высокая управляемость технологическим процессом;
- Лучшая адгезия напыляемых пленок к поверхности и др.

Принцип методов ионно-плазменного напыления тонких металлических пленок заключается в выбивании атомов (молекул) с обработанной ионами поверхности распыляемой мишени из нужного вещества. При этом энергия ионизации атомов составляет величину порядка нескольких сотен и тысяч электрон-вольт. Образующийся в результате выбивания атомов атомный поток направляется на подложку, где и происходит адсорбция или

конденсация вещества и формируется металлическая пленка [15]. Существует один из видов ионно-плазменного распыления, при котором распыляемая мишень является одним из электродов (катод, как правило) в плазмообразующей камере, а ее бомбардировка осуществляется ионами, образующимися в результате генерации плазмы [6].

Как правило, для распыления металлической мишени используются ионы инертных газов. Источником ионов служит либо плазма самостоятельного газового разряда (дуговой или высокочастотный), либо самостоятельный аномальный тлеющий разряд. В настоящий момент применяют разные процессы распыления, отличающиеся:

- Характером питающего напряжения (АС, DC, высокочастотное);
- Количеством электродов в газоразрядной камере (2-х, 3-х электродные и многоэлектродные системы).
- Способом возбуждения и поддержания разряда (термоэмиссия, автоэлектронная эмиссия, магнитное поле, электрическое в-ч поле);

1.1.1.1. Катодное распыление

Метод катодного распыления основан на процессе распыления, непосредственно, самого катода в результате бомбардировки его поверхности ионизированным потоком разряженного газа (ионизированные атомы). На рисунке 1.1 представлена схема рабочей камеры установки катодного распыления.

Основные элементы камеры: 1 – анод с подложками для напыления, 2 – натекаТЕЛЬ, для обеспечения непрерывной подачи аргона, 3 – катод - мишень из распыляемого материала, 4 – камера из нержавеющей стали, 5 – экран, для предотвращения паразитных разрядов, 6 – магнитная система, для фокусировки электронов в границах разрядного столба, 7 – прокладка для герметизации.

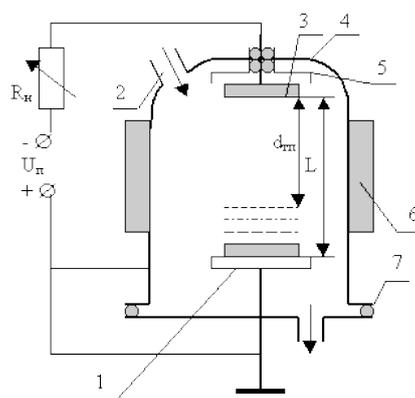


Рисунок 1.1. Рабочая камера установки катодного распыления.

Питание вышеприведенной установки осуществляется постоянным напряжением: катод-мишень находится под более низким потенциалом, нежели нижний электрод. Для регулировки тока разряда применяется переменная нагрузка. На рисунке 1.2 представлена упрощённая структура разряда и распределение потенциала вдоль разряда [16].

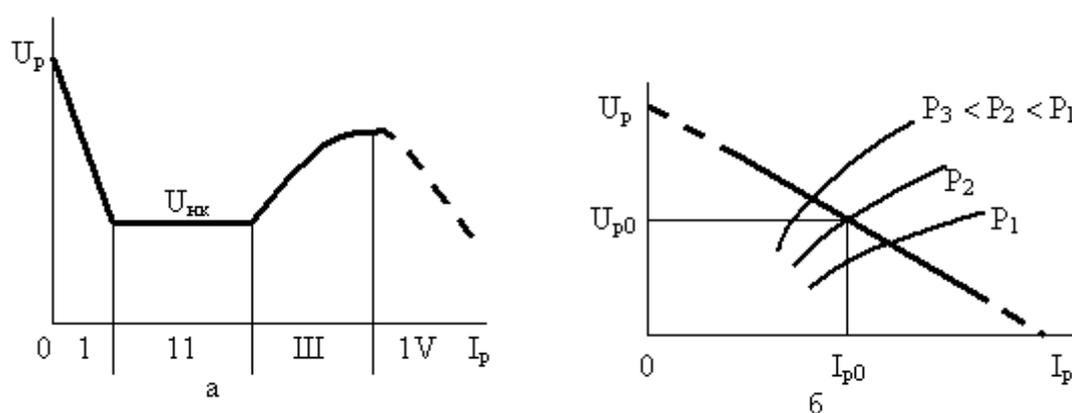


Рисунок 1.2. Вольт-амперные характеристики самостоятельного тлеющего разряда: а – области при различных режимах работы; б – рабочая область (III) в зависимости от давления газа.

На рисунке 1.2 а приведена ВАХ разряда. При подаче постоянного напряжения от одного до нескольких киловольт происходит пробой межэлектродного пространства, в результате чего происходит мгновенное повышение тока и падение напряжения в разряде (область I). При повышении тока разряда и уменьшении его сопротивления, площадь

взаимодействия распыляемого катода-мишени с разрядом плазмы возрастает, а плотность тока разряда и его напряжение остаются стабильными и невысокими, при этом скорость распыления достаточно мала (область II (нормально тлеющий разряд)). Вся площадь мишени покрыта плазменным разрядом в области III, повысить плотность разрядного тока возможно за счёт увеличения самого разрядного тока, а следовательно и увеличить скорость распыления. В качестве рабочей области в процессах катодного распыления используется область III, называемая областью аномально тлеющего разряда. Чтобы не допустить переход в область дугового разряда (область IV) предусмотрено воздушное и водяное охлаждение мишени, а также ограничение источника питания по мощности.

Получение пленок методом ионного распыления материала мишени перед другими методами обладает рядом преимуществ. Во-первых, одно из главных преимуществ – синтезирование редких соединений, которые практически невозможно получить с помощью других высокотемпературных методов (таких, как термическое испарение), т.к. ионное распыление является низкотемпературным процессом. Наносимые на подложку пленки имеют более высокую адгезию к подложке и однородность по толщине, а также обеспечивается постоянный химический состав распыляемого материала. Есть возможность для напыления металлических пленок на поверхности большой площади.

Недостатки метода катодного распыления: эрозия (разрушение) электродов электровакуумных газонаполненных приборов; искажения напыляемого покрытия под воздействием на подложку высокоэнергетичными частицами. А также катодное распыление характеризуется относительно низкой скоростью напыления [9]. Подробнее с технологией электродугового испарения можно ознакомиться, например, в работах [39, 40].

1.1.1.2. Магнетронное распыление

Одним из разновидностей методов на основе тлеющего разряда является метод магнетронного распыления. В магнетронных распылительных системах удаление атомов распыляемого материала с поверхности мишени осуществляется при ее бомбардировке ионами рабочего газа, образующимися в плазме аномального тлеющего разряда.

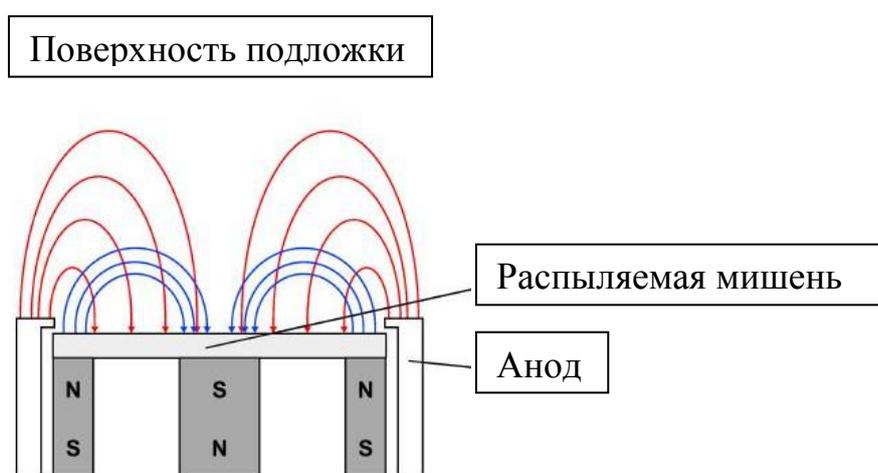


Рисунок 1.3. Схема установки магнетронного распыления.

Примером получения тонких пленок оксида меди, выращенных на стеклянных подложках, могут быть работы [11,18]. Увеличить скорость распыления возможно за счёт увеличения интенсивности ионной бомбардировки мишени, т. е. увеличить плотность ионного тока на поверхности распыляемой мишени. Для этих целей используют магнитное поле, силовые линии которого параллельны распыляемой поверхности и перпендикулярны силовым линиям электрического поля [12].

Катод (мишень) помещается в скрещенное электрическое и магнитное (между катодом и анодом) поле, создаваемое магнитной системой (Рисунок 1.3). Магнитное поле у распыляемой поверхности мишени необходимо для фокусировки локализации плазмы у поверхности мишени. Располагаемая между силовых линий магнитного поля распыляемая поверхность

металлической мишени имеет вид замкнутой кривой, геометрия которой определяется формой и величиной полюсов используемой магнитной системы [21].

Аномальный тлеющий разряд возникает в результате создания неоднородного электрического поля при подаче постоянного напряжения между электродами системы (распыляемым катодом и анодом). Под действием ионной бомбардировки эмиттированные электроны, попадая в магнитное поле оказываются в ловушке, создаваемой с одной стороны поверхностью мишени, отталкивающей электроны, а с другой магнитным полем, возвращающим электроны на катод. В результате движение электронов у поверхности катода осуществляется по циклоиде. Электроны претерпевают многочисленные столкновения с атомами газа в результате этого движения, обеспечивая высокую степень ионизации, которая в свою очередь приводит к увеличению интенсивности ионной бомбардировки распыляемой мишени, а, следовательно, и к значительному возрастанию скорости напыления металлических плёнок (Рисунок 1.4) [21].

Влияние параметров источника питания магнетронной распылительной системы (МРС) и температуры подложки на фазовый состав покрытий было исследовано многими авторами и обобщено в работе [20].

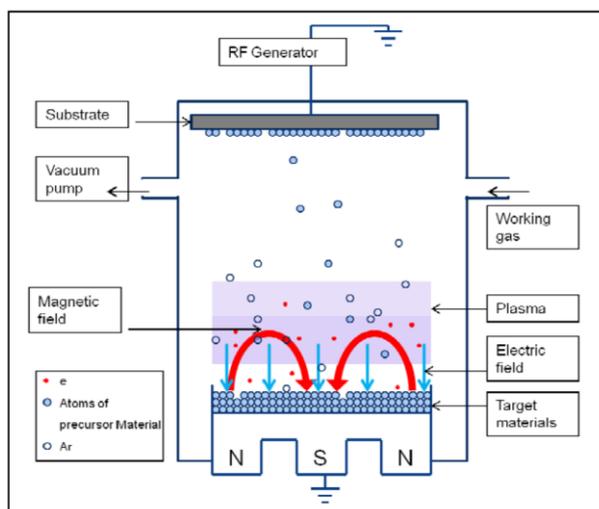


Рисунок 1.4. Схематическое изображения процесса магнетронного распыления.

Основные параметры магнетронных распылительных систем:

- эффективность генерации (по меди) - $4 \cdot 10^{-6}$ г/Дж;
- энергия распыляемых частиц – 5-25 эВ;
- скорость осаждения на подложку 10-15 нм/мин;
- удельная скорость распыления мишени – $(5-45) \cdot 10^{-5}$ г/(см²·с);
- энергия осаждаемых частиц – 0,25-15,0 эВ;
- рабочее давление камеры – $10^{-2} \div 10^{-4}$ Па.

Основные достоинства магнетронных распылительных систем [21]:

- высокие скорости распыления мишеней при относительно низких рабочих напряжениях (≈ 400 В) и давлениях рабочего газа;
- малая степень загрязненности напыляемых пленок различными газовыми включениями;
- отсутствие перегрева подложек и низкие радиационные дефекты;
- получение напыляемых металлических плёнок равномерных по толщине на большой площади поверхности.

1.2. Закономерности образования и роста пленочных покрытий

Установление взаимосвязи между элементным составом, микроструктурой и физическими свойствами пленок является одним из главных вопросов изучения тонких металлических пленок. Металлические пленки могут быть *монокристаллическими*, *аморфными* и *поликристаллическими*. Описание физических моделей роста нано плёнок, а также нанокластеров приводится в работах [23,24,25,26].

Отсутствие дальнего порядка в расположении атомов, характерных для конкретных морфологических и кристаллических состояний характерно для аморфных пленок. Монокристаллические пленки образуются при эпитаксии, и именно эпитаксиальная пленка воспроизводит конечную кристаллическую структуру подложки. Наибольшее разнообразие микроструктуры

демонстрируют поликристаллические пленки, которые характеризуются кристаллографической ориентацией кристаллитов (зерен) и их размером [24].

Наличие границ между соседними зернами кристаллических решеток обусловлены их разориентированностью между собой. Размер зерен в поликристаллической пленке может изменяться в широком диапазоне в зависимости от многих факторов. Рост зерён наблюдается, к примеру, при термообработке или механических деформациях часто наблюдается рост зерен.

На данный момент выделяют три основных механизма роста пленок (Рисунок 1.5) [29, 30]:

- механизм Вольмера – Вебера, или островковый;
- механизм Франка – Ван-дер-Мерве, или послойный;
- механизм Странского – Крастанова, или смешанный;

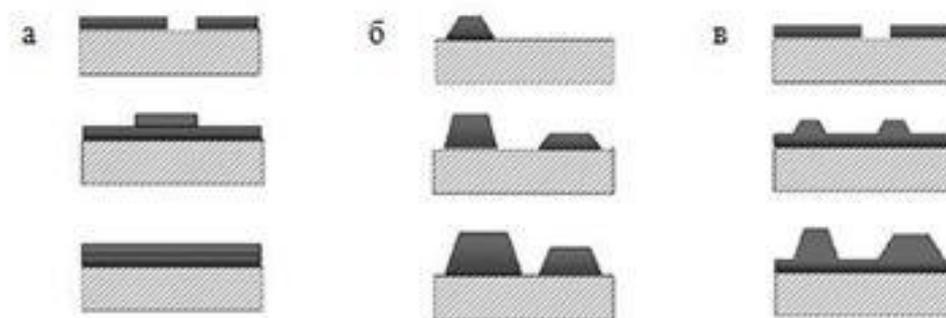


Рисунок 1.5. Схема формирования пленки по механизмам: а) – послойный рост Франка – Ван-дер-Мерве, б) – послойный и островковый рост Вольмера – Вебера, в) – островковый рост Странского – Крастанова.

При послойном росте (механизм Франка – Ван-дер-Мерве) атомы пленки сильнее связаны с подложкой на которую происходит осаждение, нежели друг с другом. Поступающие на подложку атомы адсорбируются на поверхности и кристаллизуются на имеющихся нанощероховатостях

рельефа. Атомно-шероховатая поверхность напыляемой подложки постоянно по всей площади заполняется атомами с образованием одного слоя осаждающегося материала, далее осаждается следующий монослой и т.д. Связь каждого следующего слоя с подложкой слабее, чем предыдущего.

Островковый механизм роста металлических пленок реализуется на атомно-гладких поверхностях с малыми индексами Миллера. Рост пленок начинается с адсорбции частиц из газовой (паровой) или жидкой фазы на поверхности осаждаемой подложки. Адсорбированные атомы образуют кластеры (в результате диффузии), которые, в свою очередь, образуют так называемые критические зародыши, которые за счет роста образуют островки. Большие островки коалесцируют и со временем образуется непрерывная островковая сетка. В результате вторичного зародышеобразования пустоты в сетке постепенно заполняются, таким образом формируется сплошная металлическая пленка. Закономерности островкового роста пленок рассмотрены в работе [31].

Рост островков может стать более энергетически выгодным после осаждения некоторого количества монослоев. Механизм Странского – Крастанова или смешанный механизм роста пленок реализуется при значительном рассогласовании параметров решетки подложки и осаждаемого материала. При послойном осаждении монослоев в них возникают сжатия, растяжения или деформации. Послойный рост пленки меняется на островковый, когда энергия упругой деформации становится равной поверхностной энергии.

Условия осаждения пленки оказывают существенное влияние на ее кристаллическую и морфологическую структуру. фактор T_s/T_m [32, 33] является одним из важных параметром, который равен отношению температуры осаждения (температуры подложки T_s), к температуре плавления материала пленки T_m . Многочисленные экспериментальные данные и анализы морфологии пленок однокомпонентного состава,

осаждаемые плазменно-вакуумными методами, дали возможность построить модель формирования структуры тонкой пленки в зависимости от температуры осаждения. В рамках модели разделяют две температурные зоны: низкотемпературную (зона 1) и высокотемпературную (зона 2), а также промежуточную зоны (зона T), как показано на рисунке 1.6. При относительно низких температурах ($T_s/T_m < 0.3$) поверхностная диффузия атомов и молекул практически не влияет на процесс осаждения, следовательно образование множества зародышей характеризуется их случайной ориентацией в процесса роста. После взаимодействия зародышей друг с другом протекает анизотропный рост, в результате чего формируются тонкие пленки. Столбцы плёнки, как правило, представляют собой множество сросшихся зерен с одинаковой ориентацией, а не единое зерно.[32].

Зародыши-островки коалесцируют в более крупные при относительно высоких температурах ($0.3 < T_s/T_m < 0.5$), а далее протекает их независимый рост. Образующиеся в результате роста кристаллиты значительно большего диаметра, чем в низкотемпературной области, со случайной ориентацией. На поверхности зерна могут имеют характерную огранку, следовательно в этой области механическая шероховатость металлической пленки сравнительно высокая.

В высокотемпературной области ($T_s/T_m > 0.5$) объемная диффузия становится более существенной. Перенос границ зерен происходит как на стадии слияния отдельных островков на начальном этапе роста пленки, так и во время всего процесса осаждения атомов молекул распыляемых веществ. Значительная пространственная ориентация роста зерен заметна уже на стадии слияния небольших островков. Пленки, полученные в результате осаждения при высоких температурах, имеют больший диаметр зерна (пропорциональный температуре) и плотную зернистую столбчатую структуру.

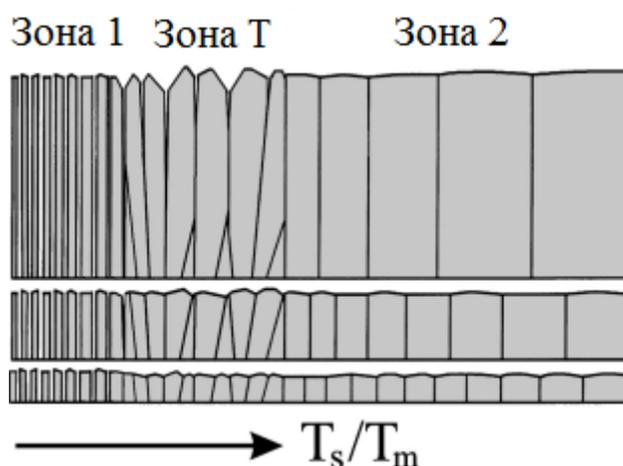


Рисунок 1.6. Диаграмма эволюции микроструктуры пленки в зависимости от отношения T_s/T_m и толщины пленки [33].

Основным механизмом начальной стадии роста рассматриваемых в данной работе пленок меди является островковый механизм. Такая пленка имеет пониженную плотность, шероховатую поверхность, как правило разупорядочную кристаллическую структуру и высокое удельное сопротивление. Данный факт говорит о том, что характеристики пленок толщиной в единицы нанометров колоссально отличаются от характеристик объемных материалов. Следовательно, можно предположить, что в целях управления структурой и свойствами тонких металлических пленок необходимо искать пути воздействия на процессы их нуклеации и роста.

Проблема управления свойствами тонких металлических пленок в процессе их напыления и роста находится в центре внимания учёных уже продолжительный период времени. Активность исследований в этом направлении поддерживается не только широким кругом имеющих и потенциальных применений таких покрытий, но и фундаментальным интересом к процессам, происходящим на поверхности твердых тел. Более полно ознакомиться с закономерностями роста пленок можно в работах [33–36].

Глава 2. Экспериментальное оборудование и методика исследований

2.1. Экспериментальная установка

Для проведения процесса напыления плёнок металлических и диэлектрических материалов собрана экспериментальная установка. Общий вид установки представлен на рисунке 2.1. Экспериментальная установка состоит из вакуумной системы и источника магнетронного разряда.

Магнетронный разряд использован для формирования атомарного пучка из материала мишени (катода магнетронного разряда). Источник постоянного стабилизированного напряжения GPR-100H05D использован в качестве источника питания магнетронного разряда.



Рисунок 2.1. Общий вид экспериментальной установки

Вакуумная система содержит следующие узлы:

- рабочая вакуумная камера из немагнитной нержавеющей стали, объемом 5 л и диаметром 15 см;
- форвакуумный насос ВН-1МГ;
- вакуумметр ВИТ-2;

- вакуумный натекаатель для напуска плазмообразующей смеси.

Принципиальная схема вакуумной системы изображена на рисунке 2.2.



Рисунок 2.2. Принципиальная схема вакуумной установки

2.1.1. Форвакуумный насос ВН-1МГ

Вакуумные насосы ВН-1МГ (рисунок 2.3) предназначены для откачки воздуха или неагрессивных газов, паров воды и парогазовых смесей из замкнутых емкостей. ВН-1МГ не пригодны для перекачки воздуха или газа из одной емкости в другую, для откачки воздуха с повышенным содержанием кислорода, а также – газов взрывоопасных, отравляющих и разъедающих черные металлы.

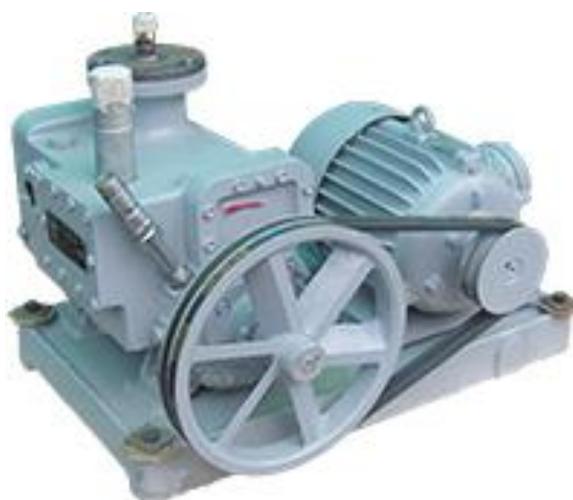


Рисунок 2.3 Форвакуумный насос ВН-1МГ

Таблица 2.1 – Характеристики насоса ВН-1МГ

Скорость откачки, л/с	18,3
Номинальная мощность, Вт	3000
Вес, кг	290
Предельное давление, Па	0,4
Напряжение питания, В	380
Частота тока, Гц	50
Рабочая жидкость	ВМ-4
Макс. рабочая температура, °С	30
Мин. рабочая температура, °С	10

2.1.2. Вакуумметр ВИТ-2 с манометрическим преобразователем ПМТ-4М

Вакуумметр ионизационно-термопарный ВИТ-2А (рисунок 2.4) предназначен для измерения давления в диапазоне 1×10^{-5} – 20 Па. ВИТ-2А эксплуатируется в комплекте с термопарным (ПМТ-4М) преобразователями.



Рисунок 2.4 – Вакуумметр ВИТ-2А

Таблица 2.2 – Основные характеристики вакуумметра ВИТ-2А.

Диапазон измеряемых токов, А	10^{-4} – $1 \cdot 10^{-9}$
Отсчёт давления	Аналоговый (стрелочный)

	индикатор)
Пределы регулировки тока нагревателя термопарных преобразователей, мА	95-150
Потребляемая мощность, Вт	75
Габаритные размеры, мм	230x285x230
Масса, кг	Не более 11

Термопарный преобразователь (рисунок 2.5) представляет собой металлический баллон, в котором на вводах смонтированы подогреватель и термопара. Подогреватель нагревается током, регулируемым переменным сопротивлением. Температура нагреваемой нити измеряется термопарой. Вследствие изменения давления в баллоне преобразователя, при неизменном токе накала нити, присоединенном к вакуумной системе, изменяется температура нити и, соответственно, термо-ЭДС, по величине которой определяют давление. К вакуумному объёму присоединяется либо при помощи грибкового (компрессионного) соединения, либо при помощи сварки.



Рисунок 2.5 – Термопарный преобразователь ПМТ-4М

Таблица 2.3 – Технические характеристики ПМТ-4М:

Рабочий диапазон давление, мм рт.ст.	$5 \times 10^{-1} - 1 \times 10^{-4}$
Диапазон изменения ЭДС, мВ	0 – 10
Диапазон тока нагревателя, мА	100 – 140
Сопротивление термопары, Ом	6 – 8

2.1.3. Источник питания GPR-100H05D

При нанесении покрытий был использован блок питания магнетрона: источник питания постоянного тока регулируемый GPR-100H05D (рисунок

2.7) предназначенный для электропитания регулируемым напряжением постоянного тока МРС, мощностью 900 Вт.



Рисунок 2.7 – Источник питания GPR-100H05D

Таблица 2.4 – Параметры источника питания магнетрона

Максимальная выходная мощность, Вт	900
Выходное напряжение, В	1000
Выходной средний ток, А	0,5
Нестабильность	$\leq 0,01\% + 3 \text{ мВ}$ при изменении напряжения питания.
Габариты, мм	430x178x572
Масса, кг	28,5 кг...30,5 кг

2.1.4. Магнитометр АТЕ-8702

Для измерения величины магнитного поля магнетрона применялся измеритель магнитной индукции АТЕ-8702 (Рисунок 2.8). АТЕ-8702 имеет возможность проводить измерения постоянных и переменных (частота 50 Гц/60 Гц) магнитных полей.

Основные характеристики магнитометра приведены в таблице 2.5.



Рисунок 2.8 –Магнитометр АТЕ-8702.

Таблица 2.5 – характеристики магнитометра АТЕ-8702.

Диапазоны измерений, мТл	АС: 50 /1500 DC: 150 /3000
Мин. разрешение, мТл	0,01
Частота измеряемого переменного магнитного поля, Гц	50 / 60
Габариты, мм	базовый блок - 200x68x30 датчик - 198x25x19
Вес, г	270

2.1.5.Магнетрон

Экспериментально изучали структуру пленок оксида меди, осаждаемых в слабом постоянном магнитном поле. Поэтому в качестве катода магнетрона использовали медь. Атомарный пучок материала мишени формировали с помощью магнетронной распылительной системе в среде кислорода. Мишень толщиной 3 мм и диаметром 90 мм была выполнена из меди марки М1. Заземленный корпус вакуумной камеры соединяли с катодом источника питания магнетрона. Для подачи питающего напряжения на анод магнетрона

использовали гермоввод. От гермоввода питающий провод радиально проходил в вакуумную камеру и далее по оси камеры опускался к аноду магнетрона. Радиальный участок токопровода к аноду внутри камеры был изолирован с помощью тефлона. Расстояние между катодом магнетрона и анодом в форме кольца изменяли в диапазоне 0,5-3 см.

Магнитная система магнетрона находилась под распыляемой мишенью в вакуумной камере и обеспечивала концентрирование плазмы возле катода магнетрона, что обеспечивало более высокую скорость распыления. Магнит магнетрона и его катод не соприкасались, что предотвращало, нагрев постоянного магнита. Параметры магнитной системы магнетрона:

- вертикальная составляющая магнитного поля – 120 мТл.
- горизонтальная составляющая магнитного поля – 20 мТл.

На рисунке 2.6 приведена схема размещения в камере магнетрона и подложки для формирования пленок.

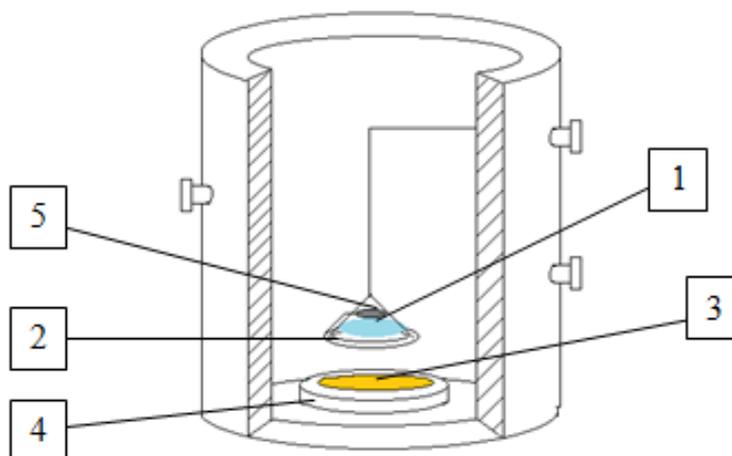


Рисунок 2.6 – Планарный магнетрон: 1 – подложка из стекла для напыления пленки; 2 – латунный анод; 3 – медная мишень; 4 – магнитная система, 5 – магнит около подложки из стекла. В качестве диэлектрика – среда O_2 .

2.1.6. Вакуумная камера

Вакуумная камера имела 4 патрубка и фланец со стеклянной крышкой. Стеклянная крышка позволяла визуально контролировать процесс напыления. Вакуумная камера соединена через один из патрубков с форвакуумным насосом с помощью сильфона из нержавеющей стали длиной 40 см и внутренним диаметром 3 см. Через другие три фланца осуществляли: подсоединение вакуумной лампы, ввод питающего напряжения, подачу плазмообразующего газа.

Все детали вакуумной камеры, кроме стандартных комплектующих, выполнены из немагнитных материалов. Фланцевое соединение уплотняли с помощью резиновой прокладки, а соединения патрубков – медной прокладкой.

Из-за малого расстояния между токоведущими частями и корпусом камеры, при рабочем давлении, возможен пробой на корпус. Поэтому в камеру устанавливали кварцевую трубу, проходящую через фланцевое соединение.

2.2. Формирование пленок путем магнетронного распыления

При распылении катода магнетрона испарившиеся атомы рассеиваются молекулами остаточного газа. Поэтому камеру поддерживали при давлении $2-5 \cdot 10^{-2}$ мм рт.ст. При потоке кислорода, изменяемом в диапазоне (19,5 - 27) см³/мин, форвакуумный насос обеспечивал откачку до рабочего давления. При таком давлении в атмосфере кислорода медь, в основном, окисляется на поверхности растущей пленки, и частично, в пространстве между катодом и подложкой.

В качестве подложки для напыления использовали медную пластинку. Предварительно поверхность подложки полировали абразивным порошком. Магнитное поле формировали с помощью постоянных магнитов,

устанавливаемых на разных расстояниях от подложки. При этом подложка находилась в суммарном магнитном поле, складывающемся из магнитного поля магнетрона и дополнительного магнита. Следует учитывать, что постоянное магнитное поле действует на процесс формирования пленки из атомов (радикалов) и оказывает незначительное воздействие на траекторию движения радикалов (отдельных атомов) в вакууме, в том числе веществ, проявляющих ферромагнетизм.

Для исследования влияния слабого магнитного поля на процесс напыления тонких металлических плёнок необходимо рассмотреть параметры, влияющие на скорость напыления. При проведении экспериментальных исследований были изучены такие параметры, как зависимость скорости роста толщины пленки от электрической мощности магнетрона (рисунок 2.7) и от скорости подачи плазмообразующей смеси, (рисунок 2.8).

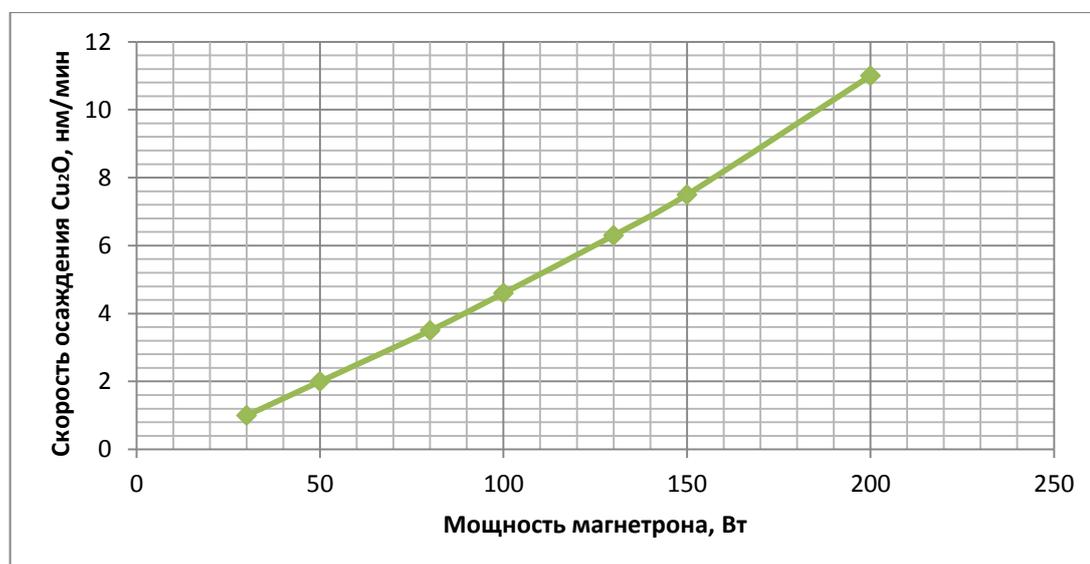


Рисунок 2.7. Зависимость скорости осаждения от мощности магнетрона

Исходя из данных на рисунке 2.7 при мощности магнетронного разряда ~150 Вт скорости роста толщины пленки составляет ~7 нм/мин.

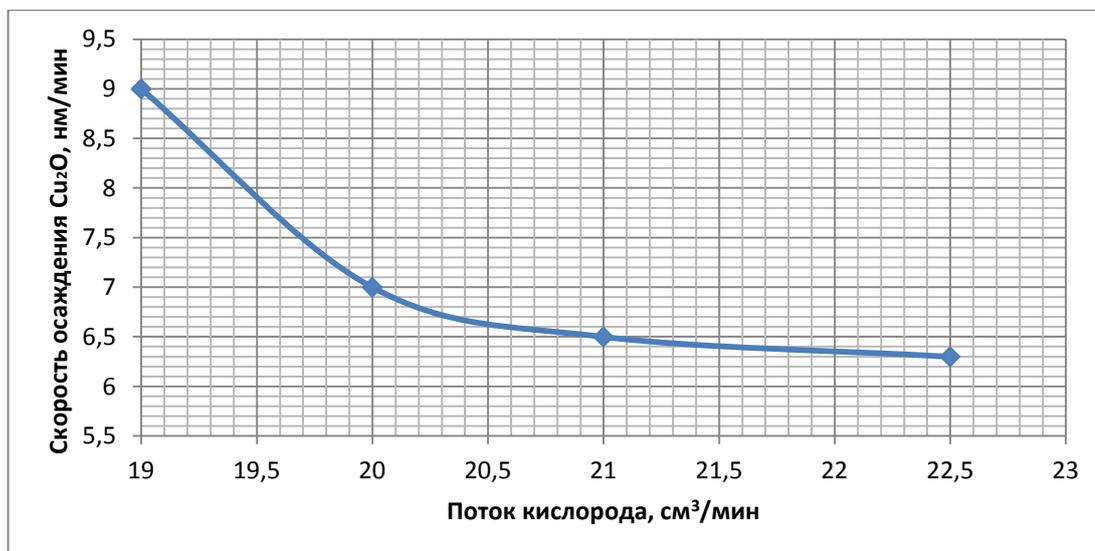


Рисунок 2.8. Зависимость влияния потока газа на скорость осаждения

Поток кислорода поддерживался на уровне 19-20 см³/мин, что также соответствует величине скорости напыления ≈ 7 нм/мин.

Порядок проведения экспериментальных исследований

При осаждении пленок оксида меди применяли следующую последовательность действий.

1. Включали в сеть форвакуумный насос. Через 1 минуту открывали входной кран форвакуумного насоса и начинали откачивать из камеры.
2. Включали вакуумметр ВИТ-2, который показывает, что в течении 10 минут давление уменьшается до 10^{-2} мм рт.ст.
3. Открывали натекаТЕЛЬ и непрерывно подавали кислород в камеру.
4. Включали блок питания GPR-100H05D. При этом устанавливали ток короткого замыкания БП на уровне 150-200 мА. Медленно увеличивали выходное напряжение GPR-100H05D. При напряжении 400-500 В наблюдается пробой разрядного промежутка. Процесс генерации плазмы наблюдается при напряжении 300-330 В.
5. Для формирования пленки нужной толщины выдерживали время плазменного распыления мишени в течении 0,5 – 1 часов.

6. Через заданное время выключали GPR-100H05D, ВИТ-2, вакуумный насос. Через натекатель в вакуумную камеру напускали атмосферный воздух и вскрывали камеру.

7. Полученные образцы металлических пленок, формируемых в магнитных полях разной величины, передавали для получения SEM-изображения поверхности образцов и энергодисперсионного анализа.

8. По SEM-изображениям определяли размеры выступающих участков пленки оксида меди. Сравнивали микроструктуру поверхностей пленок оксида меди, формируемых в магнитных полях различной величины.

2.3. Экспериментальные данные и их интерпретация

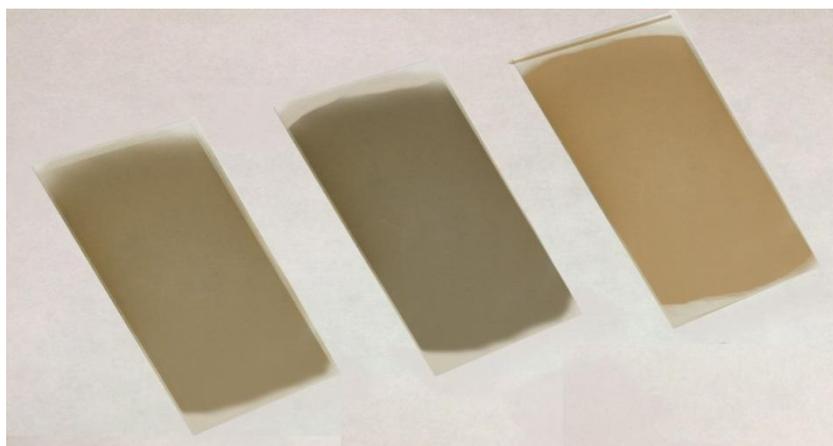


Рисунок 2.9 Пленки оксида меди на подложке из стекла

В результате напыления (Рисунок 2.9) были получены SEM-изображения морфологической структуры плёнок на металлических подложках в магнитном поле (Рисунок 2.10а) и без магнитного поля (Рисунок 2.10б). Толщина пленок практически не зависит от величины дополнительного магнитного поля. Так, во внешнем магнитном поле 120 мТл средняя толщина пленки оксида меди составляла 169 нм, а без поля – 172,5 нм.

Результаты сканирующей электронной микроскопии показывают, что во внешнем магнитном поле может измениться морфология поверхности формирующейся пленки. Ниже приведена морфологическая структура пленки оксида меди без магнитного поля (рисунок 2.10 *а*) и пленки, напыляемые в магнитном поле (рисунок 2.10 *б*).

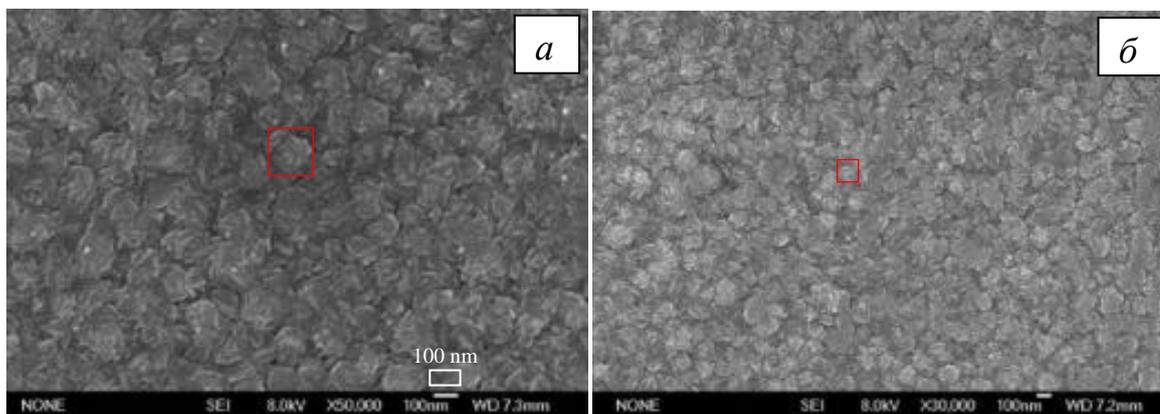


Рисунок 2.10. SEM-изображения пленок, полученных в полях: *а* - $B = 0$ Тл, *б* - $B = 130$ мТл

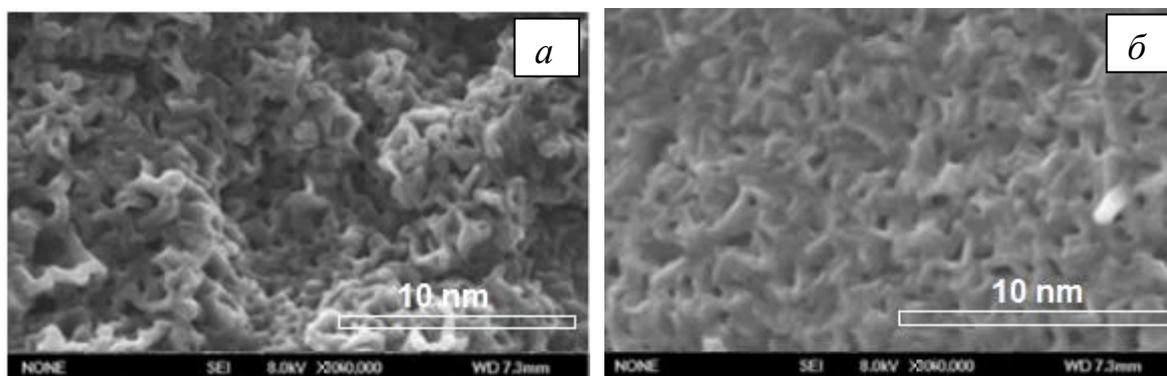


Рисунок 2.11 SEM-изображения пленок, полученных в полях: *а* - $B = 0$ Тл, *б* - $B = 130$ мТл (предыдущий увеличен в 100 раз)

В пленках, напыляемых в магнитном поле 120 мТл (рисунок 2.12*б*), размеры отдельных зерен на поверхности не превышают 100 нм. Без внешнего магнитного поля (рисунок 2.12*а*) зерна составляют 200 нм.

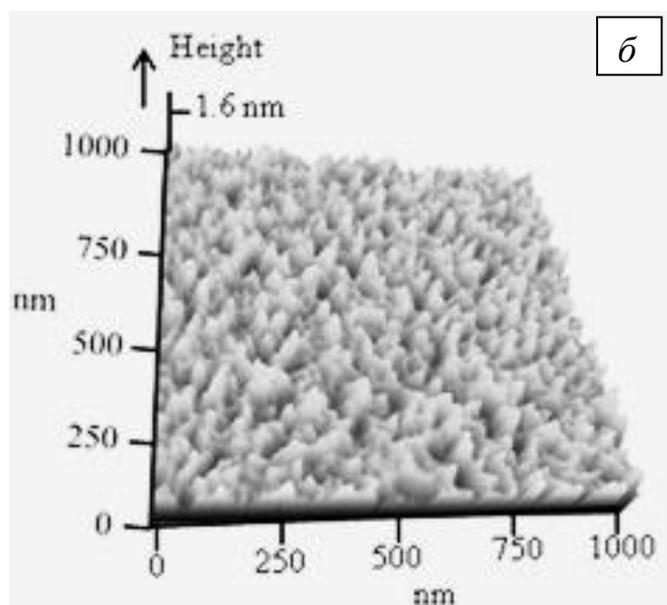
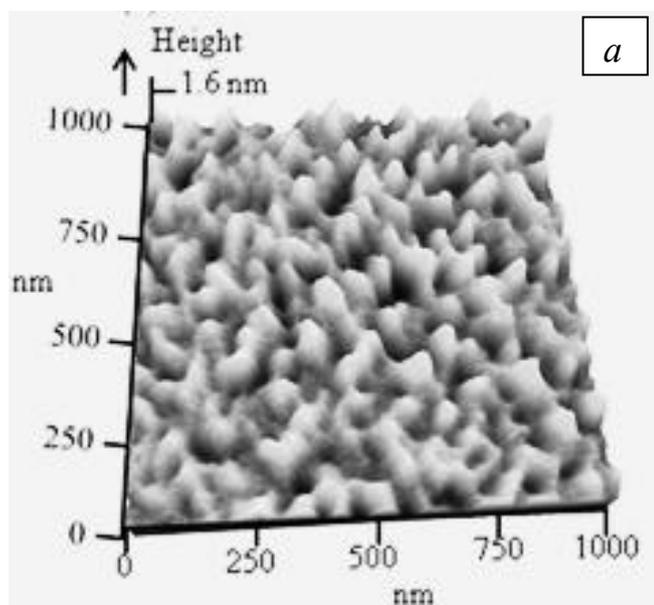


Рисунок 2.12. – Профиль поверхности пленки оксида меди, формируемой в магнитном поле. *a* – $B = 0$ мТл, *б* - $B = 96$ мТл.

Экспериментально определили влияние магнитного поля на величину зёрен при кристаллизации, путём изменения поля от 0 мТл до 130 мТл.

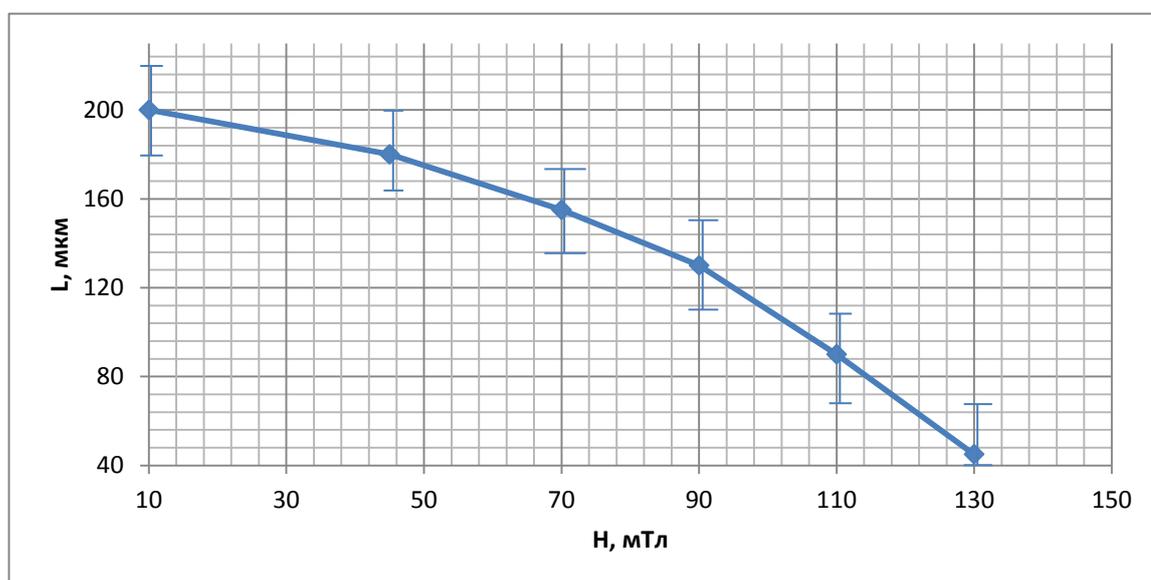


Рисунок 2.13 Зависимость микроструктуры от величины поля.

На рисунке 2.14 приведены SEM-изображения всех пленок оксида меди, полученных в результате экспериментов под влиянием внешнего магнитного поля величиной 10 мТл, 45 мТл, 70 мТл, 90 мТл, 110 мТл и 130 мТл.

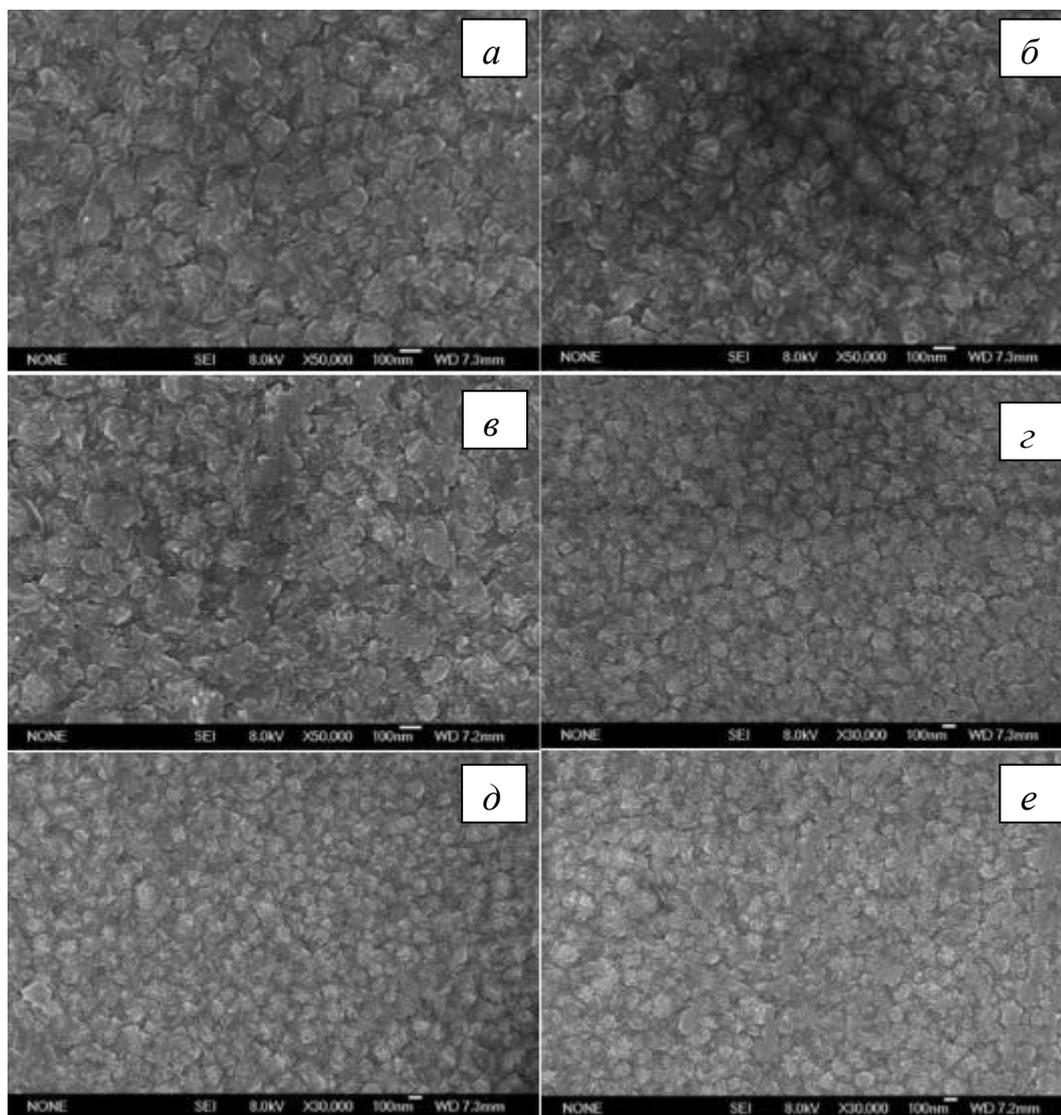


Рисунок 2.14. SEM-изображения пленок, полученных в полях: *a* – $B = 0$ Тл, *б*) $B = 45$ мТл, *в*) $B = 70$ мТл, *г*) $B = 90$ мТл, *д*) $B = 110$ мТл, *е*) $B = 130$ мТл.

Слабое внешнее магнитное поле позволяет увеличить вероятность появления центров кристаллизации и их увеличение до размеров выше критического, после которого процесс увеличения размера кристалла сопровождается выделением энергии (энергетически выгодно). Иначе, в магнитном поле увеличивается скорость формирования ядер кристаллизации, превышающих критический размер. Поэтому формируемая пленка более однородна – тоньше слой отдельных микрокристаллов.

В обзорной части рассмотрены несколько моделей формирования металлических покрытий. В наших экспериментах реализуется один из этих

сценариев. При малых размерах рост однородных кристаллов меди (оксидов меди) энергетически более выгоден. При увеличении кристаллов, с некоторого значения размера, рост кристаллов прекращается. В дальнейшем формируется новый центр кристаллизации. Так продолжается до тех пор, пока вся поверхность подложки не будет заполнена кристаллами. В дальнейшем слой напыляемого материала формирует сплошную пленку, имеющую практически однородную структуру.

Глава 3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

3.1. Предпроектный анализ

Настоящая работа посвящена изучению возможности формирования пленок заданного кристаллического состава с помощью внешнего постоянного магнитного поля из низкотемпературной плазмы.

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

3.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Целью исследования является разработка технологии изготовления металлических пленок заданного кристаллического состава методом МРС под действием слабого магнитного поля в низкотемпературной плазме и изучение их физико-механических свойств.

Основными конкурентами метода МРС являются – методы получения металлических пленок физическим и химическим осаждением из паровой фазы.

Целевым рынком данного исследования будут являться космическая, энергетическая и машиностроительная промышленность, предприятия микроэлектроники и приборостроения.

3.1.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных решений целесообразно проводить при помощи оценочной карты, для этого были определены два конкурента на рынке. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы

успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

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

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

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

Основными критериями оценки металлических пленок являются их следующие физико-технические свойства:

- Механические (адгезия, износостойкость, микротвердость);
- Электрические (проводимость, отжиг, спекание, окисление).

Данный анализ был проведен с помощью оценочной карты, приведенной в таблице 3.1.

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 3.1, подбирались, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации. Основными критериями методов получения плёнок будут являться: удобство в эксплуатации,

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

Таблица 3.1 – 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}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1.Удобство и простота в эксплуатации	0,12	4	4	4	0,48	0,48	0,48
2.Уровень шума	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
3.Безопасность	0,13	4	4	1	0,52	0,39	0,13
4.Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,11	5	5	5	0,55	0,55	0,55
Технология получения металлических плёнок							
5. Адгезия	0,12	4	4	4	0,48	0,48	0,48
6. Износостойкость	0,17	5	5	2	0,85	0,85	0,85
7. Микротвердость	0,13	4	4	3	0,52	0,52	0,39
8. Проводимость	0,12	3	3	2	0,36	0,36	0,24
Итого	1	33	29	28	4,16	4,03	3,01

Согласно вышеприведенному расчету видно, что предлагаемая нами технология напыления металлических плёнок покрытий имеет более высокий показатель конкурентоспособности (4,16). Это обусловлено следующим рядом факторов: высокая плотность плазменного пучка, отсутствием примесей реакций, простотой в эксплуатации. В свою очередь, это связано с принципом построения технологической линии, используемыми

физическими принципами и наличием большого опыта по разработке технологий осаждения тонкопленочных структур. Суммарно это позволяет существенно снизить количество недостатков технологии и повысить число ее конкурентных преимуществ. Основные аспекты следующие:

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

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

3.1.3. SWOT-анализ

Целью SWOT-анализа является определение всех сильных и слабых сторон научной разработки, которые рассматриваются как внутренние факторы, а также изучение внешних факторов, каковыми являются рыночные возможности и угрозы, для получения четкого представления основных направлений развития предприятия. На основе такого исследования организация должна максимально использовать свои сильные стороны, попытаться преодолеть слабости, воспользоваться благоприятными возможностями и защититься от потенциальных угроз. Он проводится в несколько этапов.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены таблице 3.2.

Таблица 3.2 – SWOT-анализ.

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии; С2. Экологичность технологии; С3. Квалифицированный персонал; С4. Маленький срок получения результатов при проведении научного исследования. С5. Высокие показатели физико-технических характеристик пленок (адгезия, проводимость, износостойкость)</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1.Отсутствие прототипа научной разработки; Сл2.Недостаток финансовых средств; Сл3.Большой срок поставок материалов, используемых при проведении научного исследования; Сл4.У руководства НИР проблемы с материально-техническим обеспечением.</p>
<p>Возможности: В1.Появление дополнительного спроса на новый продукт; В2.Повышение стоимости конкурентных разработок; В3.Использование научно-исследовательских достижений ТПУ.</p>		
<p>Угрозы: У1.Отсутствие спроса на новые технологии производства; У2.Развитая конкуренция технологий производства.</p>		

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

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

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

Возможно использование этой матрицы в качестве одной из основ для оценки вариантов стратегического выбора. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Интерактивная матрица проекта представлена в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Интерактивная матрица проекта

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

Анализ интерактивных таблиц представляется в форме записи сильно коррелирующих сильных сторон и возможностей, или слабых сторон и возможностей и т.д. следующего вида: B1C1C2C3C4; B2C1C2C3C4. Каждая из записей представляет собой направление реализации проекта.

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

В рамках третьего этапа составлена итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Итоговая матрица SWOT – анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1.Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии; С2.Экологичность технологии; С3.Квалифицированный</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1.Отсутствие прототипа научной разработки; Сл2.Недостаток финансовых средств; Сл3.Большой срок поставок материалов, используемых при проведении научного</p>
--	---	---

	<p>персонал;</p> <p>С4.Маленький срок получения результатов при проведении научного исследования.</p> <p>С5. Высокие показатели физико-технических характеристик пленок (адгезия, проводимость, износостойкость)</p>	<p>исследования;</p> <p>Сл4.У руководства НИР проблемы с материально-техническим обеспечением.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1.Появление дополнительного спроса на новый продукт;</p> <p>В2.Повышение стоимости конкурентных разработок;</p> <p>В3.Использование научно-исследовательских достижений ТПУ.</p>	<p>Из данной комбинации видно, что существует возможность создания надежного и экономически выгодного способа создания пленок с помощью плазмы магнетронного разряда.</p> <p>Спрос на продукт даст возможность приобретения качественного оборудования.</p>	<p>Спрос на новый продукт может быть увеличен за счет его технологических возможностей. Если использовать инновационную инфраструктуру и необходимое оборудования для проведения испытания опытного образца в ТПУ, то появится возможность избавиться от недостатка финансовых средств</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1.Отсутствие спроса на новые технологии производства;</p> <p>У2.Развитая конкуренция технологий производства.</p>	<p>Исследуемая технология получения тонких пленок дает возможность получать пленки необходимых характеристик при существенно меньших затратах аналогов.</p>	<p>Недостаток финансовых средств приводит к отсутствию спроса на новые технологии производства. Уменьшение производственных затрат приведет к повышению спроса на новые технологии.</p>

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

3.2. Планирование научно-исследовательских работ

3.2.1. Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

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

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель, Инженер
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Анализ исходных данных	Инженер

	4	Выбор направления исследований	Инженер, руководитель
	5	Календарное планирование работ по теме	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Моделирование технологического процесса на ПК	Инженер
	7	Экспериментальное исследование	Инженер, руководитель
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер
	9	Анализ и обработка полученных результатов	Инженер
	10	Оформление пояснительной записки к ВКР	Инженер
	11	Подготовка к защите ВКР	Инженер

3.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

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

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

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

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

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

3.2.3. Разработка графика проведения научного исследования

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (3)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях; $k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}}} = \frac{365}{247} = 1,48, \quad (4)$$

В таблице 3.6 представлены временные показатели проведения научного исследования.

Таблица 3.6 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни	t_{max} , чел-дни	$t_{ожi}$, чел-дни			
Составление и утверждение технического задания	3	5	3,8	И, Р	3,8	5
Подбор и изучение материалов по теме	10	15	12	И	12	14
Анализ исходных данных	5	7	5,8	И	5,8	7
Выбор направления исследований	3	6	4,2	И, Р	2,1	3
Календарное планирование работ по теме	2	2,5	2,2	И	2,2	3
Моделирование технологического процесса на ПК	10	15	12	И	12	14
Экспериментальное исследование	4	6	4,8	И, Р	2,4	3
Оценка эффективности полученных результатов	5	7	5,8	И	5,8	7
Анализ и обработка полученных результатов	2	4	2,8	И, Р	1,4	2
Оформление пояснительной записки к ВКР	6	10	7,6	И	7,6	9
Подготовка к защите ВКР	4	7	5,2	И	5,2	6
Итого:			66,2		60,3 Р/И 9,7/56,5	73 Р/И 13/68

3.2.4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

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

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- контрагентные расходы.

3.2.5. Расчет материальных затрат НТИ

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

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхи}, \quad (5)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхи}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Все материалы, используемые для создания исследовательской установки являются собственностью отделения ядерно-топливного цикла инженерной школы ядерных технологий, поэтому в расчет показателей затрат стоимость комплектующих материалов не берется.

Эксперименты проводились 20 дней по 2 часа, мощность установки 5 КВт/час.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$Z_{эл} = C_{эл} \cdot P_{уст} \cdot F_{об} + C_{эл} \cdot P_{комп} \cdot F_{об}, \quad (6)$$

$$Z_{эл} = 5,8 \cdot 20 \cdot 2 \cdot 5 + 5,8 \cdot 0,054 \cdot 56,5 \cdot 4 = 1230,8 \text{ руб.},$$

где $C_{эл}$ – тариф на промышленную электроэнергию (5,8 руб за 1 кВт·ч);

P – мощность оборудования, кВт;

$F_{об}$ – время использования оборудования, ч.

Накладные затраты:

$$Z_{накл} = Z_{эл}, \quad (7)$$

$$Z_{накл} = 1230,8 \text{ руб.}$$

Таблица 3.7 – Материальные затраты

Наименование	Марка, размер	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Медь	М00, 99 %	0,5 кг	360,00	180,00
Вакуумное масло	БМ-4	4 кг	380	1520,00
Изготовление деталей камеры	-	5	1000	5000,00
Электричество	–	791,94 кВт·ч	5,8	1230,80
Всего за материалы				7930,80
Транспортно-заготовительные расходы				500,00
Итого по статье C_m				8430,80

3.2.6. Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя

из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 – 30 % от тарифа или оклада.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (8)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{осн}$).

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (9)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (10)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб. (в качестве месячного оклада дипломника выступает оклад инженера, который составляет 9489 руб. и 36800 руб. для профессора, доктора физико-математических наук);

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

- при отпуске в 48 раб.дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя;
- при отпуске в 24 раб.дня $M=11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-

технического персонала, раб.дн. (табл. 3.10);

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 для Томска.

Таблица 3.8 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	52	104
-выходные дни		
-праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
-отпуск	48	24
-невыходы по болезни	–	–
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	223

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{ок} \cdot k_p, \quad (11)$$

$$Z_m = 36800 \cdot 1,3 = 47840 \text{ руб.},$$

где $Z_{тс}$ – заработная плата по окладу, руб. ($Z_{тс}$ составляет 36800 руб.);

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 3.8.

Таблица 3.9 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$, руб.	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	36800	1,3	47840	1472	9,7	14278,5

Магистрант	9489	1,3	12335	771,5	56,5	43589,8
Итого: 57868,3						

3.2.7. Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (12)$$

$$Z_{\text{внеб}} = 0,271 \cdot 14278,5 = 3869,5 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{внеб}} = 0,271 \cdot 43589,8 = 11812,8 \text{ руб.},$$

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

3.2.8. Контрагентные расходы

Контрагентные расходы включают затраты, связанные с выполнением каких-либо работ по теме сторонними организациями (контрагентами, субподрядчиками).

Расчет величины этой группы расходов зависит от планируемого объема работ и определяется из условий договоров с контрагентами или субподрядчиками.

В работе использовался сканирующий электронный микроскоп (SEM). Стоимость одного анализа 2000 руб. Количество анализов – 5. Общие затраты – 10000 руб.

3.2.9. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 3.10.

Таблица 3.10 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НИИ	0
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	0
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	57868,3
4. Отчисления во внебюджетные фонды	15682,3
5. Затраты на научные и производственные командировки	0
6. Контрагентские расходы	10000
7. Накладные расходы	1230,8
8. Бюджет затрат НИИ	84781,4

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

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

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

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{ипс.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (3.13)$$

Так как разработка имеет одно исполнение, то

$$I_{\text{финр}}^{\text{ипс.}i} = \frac{84781,4}{107548,00} = 0,78$$

Для аналогов соответственно:

$$I_{\text{фина}1}^{a1} = \frac{\Phi_{a1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{97358,00}{107548,00} = 0,9$$
$$I_{\text{фина}2}^{a2} = \frac{\Phi_{a1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{107548,00}{107548,00} = 1.$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{ипс.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

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

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

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (3.14)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (таблице 3.11).

Таблица 3.11 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Проект разработки	Исп.2	Исп.3
1. Производительность	0,3	5	4	4
2. Энергосбережение	0,4	5	3	3
3. Надежность	0,2	4	3	3
4. Материалоемкость	0,1	4	4	2
ИТОГО	1	4,7	3,4	2,4

$$I_{p-\text{исп1}} = 5 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,4 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 = 4,7 \quad (3.15)$$

$$I_{\text{аналог } 2} = 4 \cdot 0,3 + 3 \cdot 0,4 + 3 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 = 3,4$$

$$I_{\text{аналог } 3} = 4 \cdot 0,3 + 3 \cdot 0,4 + 3 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,1 = 2,4$$

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что научно-техническое исследование будет ресурсоэффективно при первом варианте исполнения проекта, т.е. при высокой производительности и энергоэффективности проекта.

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{\text{исп } i}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_\phi^p}, \quad I_{\text{фина } i}^{ai} = \frac{I_m^{ai}}{I_\phi^{ai}}, \quad (3.16)$$

В результате:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_T^p}{I_{\text{финр}}^p} = \frac{4,7}{0,78} = 6,03,$$

$$I_{\text{фина } 1}^{a1} = \frac{I_T^{a1}}{I_{\text{фина } 1}^p} = \frac{3,4}{0,9} = 3,78,$$

$$I_{\text{фина } 2}^{a2} = \frac{I_T^{a2}}{I_{\text{фина } 2}^p} = \frac{2,4}{1} = 2,4.$$

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

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{фина } i}^{ai}}, \quad (3.17)$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{фина } 1}^{a1}} = \frac{6,03}{3,78} = 1,6,$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{фина } 2}^{a2}} = \frac{6,03}{2,4} = 2,5.$$

Результат вычисления сравнительной эффективности проекта и сравнительная эффективность анализа представлены в таблице 3.12.

Таблица 3.12 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Проект разработки	Аналог 2	Аналог 3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,78	0,9	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,7	3,4	2,4
3	Интегральный показатель эффективности	6,03	3,78	2,4

Таким образом, основываясь на определении ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования, проведя необходимый сравнительный анализ, можно сделать вывод о превосходстве выполненной разработки над аналогами.

Глава 4. Социальная ответственность

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

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

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

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

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

4.1. Анализ опасных и вредных производственных факторов

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов (таблица 4.1), которые

классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические.

Таблица 4.1 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	ФАКТОРЫ ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа с установкой (сборка) и ПЭВМ, ОЯТЦ ТПУ	Воздействие радиации (ВЧ,УВЧ,СВЧ и т.д.)	–	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. «Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы»
	–	Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность
	–	Пожарная безопасность	Пожаро- и взрывобезопасность промышленных объектов. ГОСТ Р12.1.004-85 ССБТ Пожарная безопасность

При выполнении работ, воздействуют следующие факторы:

Физические:

- температура и влажность воздуха;
- статическое электричество;
- электромагнитное поле низкой чистоты;
- освещённость;
- наличие излучения;

Психофизиологические

- физические перегрузки:
 - статические;
 - динамические;
- нервно-психические перегрузки:
 - умственное перенапряжение;
 - монотонность труда;
 - эмоциональные перегрузки;

4.2. Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на персонал

4.2.1. Организационные мероприятия

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

Проверка знаний правил техники безопасности проводится квалификационной комиссией или лицом ответственным за рабочее место после обучения на рабочем месте. После чего сотруднику присваивается

соответствующая его знаниям и опыту работы квалификационная группа по технике безопасности и выдается удостоверение специального образца.

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

4.2.2. Организация рабочего места оператора ПК

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства, как показано на рисунке 4.1.

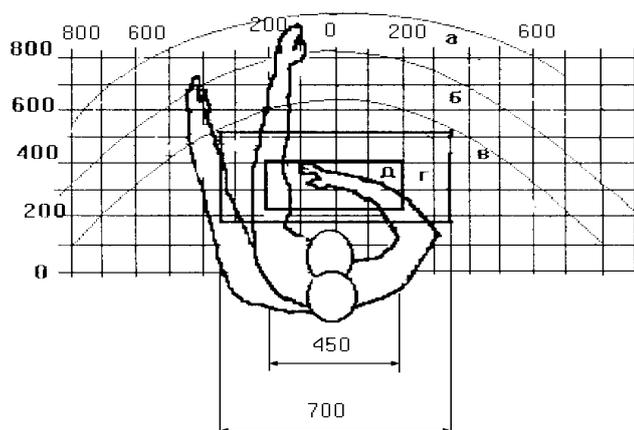


Рисунок 4.1 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости:

а – зона максимальной досягаемости рук; б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в – зона легкой досягаемости ладони; г – оптимальное пространство для грубой ручной работы; д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы

оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук:

- дисплей размещается в зоне а (в центре);

- клавиатура – в зоне г/д;
- системный блок размещается в зоне б (слева);
- принтер находится в зоне а (справа);
- документация размещается 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.

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 заглаблённым 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 градусов к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30 градусов. 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 градусов. 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.

4.2.3. Условия безопасной работы

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

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии с и приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

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

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещении должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20 м³ на человека – не менее 30 м³ в час на человека; при объёме помещения более 40 м³ на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция.

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

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе. Шум может создаваться

работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне. При выполнении работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ.

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

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

Плотность магнитного потока должна быть не более:

- в диапазоне частот 5Гц–2 кГц: 250нТл;
- в диапазоне частот 2кГц–400 кГц: 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 50 мкР/час. По нормам конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана не более 100 мкР/час.

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

4.3. Электробезопасность

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

Существует опасность электропоражения в следующих случаях:

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

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок:

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

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

4.4. Пожарная и взрывная безопасность

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

Возможные причины загорания:

- 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 подразделяются на: организационные, технические, эксплуатационные и режимные.

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

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

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

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

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

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

Выводы

1. Разработана экспериментальная установка для напыления пленок оксида меди путем магнетронного распыления мишени
2. Во внешнем постоянном магнитном поле 0-130 мТл получены пленки, содержащие оксид меди и медь.
3. С помощью электронной микроскопии установлено, размер зерен на поверхности пленок, напыляемых без внешнего магнитного поля, составляет порядка 200 нм. Размер зерен напыляемых в магнитном поле не превышает 100 нм.
4. Составлена феноменологическая модель процессов протекающих при формировании пленок диамагнитных металлов во внешнем слабом магнитном поле. Показано, что магнитное поле способствует формированию ядер кристаллизации, что уменьшает размеры зёрен и расстояния между ними.

Заключение

Проведенное исследование показало, что влияние слабого магнитного поля на процесс формирования тонких металлических пленок в поле магнетронного разряда позволяет получать более устойчивую и равномерную кристаллическую и морфологическую структуру, нежели без действия внешнего магнитного поля.

В дальнейших исследованиях планируется определить влияние слабого магнитного поля на свойства и характеристики напыляемых пленок, а также исследовать возможность напыления пленок на подложки из различных материалов.

Результаты исследований могут быть использованы для улучшения характеристик напыляемых пленок на предприятиях микроэлектроники, космической промышленности, а также смежных научных отраслей.

Список используемых источников

1. Технология тонких пленок. Справочник. Под ред. Л. Майссела, Р. Глэнга. Том 1. М.: Советское радио. 1977.
2. Современные методы высоковакуумного напыления и плазменной обработки тонкопленочных металлических структур. Вдовичев С.Н. Электронное учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2012. – 60 с.
3. Введение в методы получения пленочных электролитов для твердооксидных топливных элементов: монография / Л.А. Дунюшкина. – Екатеринбург: УРО РАН, 2015. – 126 с.
4. Сыркин В.Г. CVD-метод. Химическое парофазное осаждение, М., Наука, 2000
5. Нанесение тонких пленок в вакууме. Ю. Панфилов, "технологии в электронной промышленности, №3'2007", С 76-80.
6. Использование плазменных методов для модификации поверхности металлов. УДК 675.024.4 А. А. Хубатхузин, И. Ш. Абдуллин, А. А. Башкирцев, Э. Б. Гатина
7. Данилин Б.С. Применение низкотемпературной плазмы для нанесения тонких пленок. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 328 с.
- 8 Devyatkov, V. N. Effect of electron extraction from a grid plasma cathode on the generation of emission plasma [Electronic resource] / V. N. Devyatkov, N. N. Koval // Journal of Physics: Conference Series 552, 2014. – 012014. – doi:10.1088/1742-6596/552/1/012014. – Open access: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-9665/552/1/012014/meta>.
9. Ионно-плазменная обработка материалов. Ивановский Г.Ф., Петров В.И. - М.: Радио и связь, 1986. - 232 с.

10. Комлев А. Е. Осаждение пленок оксидов меди методом реактивного магнетронного распыления // INTERMATIC: тез. докл. международной науч.-техн. конф., Москва, 1 – 5 дек. 2015 г.

11. Kaur J. Effect of RF power on structure and optical properties of RF sputtered copper oxide thin films // AIP Conference Proceedings. 2015, iss. (№) 1665.

12. Гольдаде, В.А., Н.Н. Федосенко; Методы получения тонких пленок: практическое пособие. М-во образования РБ, Гом. Гос. Ун-т им. Ф.Скорины. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2015. – 41 с. ISBN 978-985-577-070-2

13. Григорьев, Д.А. Механизмы и кинетика начальных стадий роста плёнок, выращиваемых методом химического газофазного осаждения / Д.А.Григорьев, С.А. Кукушкин // ЖТФ. 1998. - Т.71. - Вып.3. - С.41-45.

14. Antimicrobial activity of copper and copper(I) oxide thin films deposited via aerosol-assisted CVD / I. A. Hassan, I. P. Parkin, S. P. Nair, etc. // Journal of materials chemistry B. 2014, iss. (№) 2. P. 2855–2860.

15. В. И. Смирнов. Физико-химические основы технологии электронных средств. Учебное пособие. Ульяновск. 2005.

16. Н. И. Сущенцов. Основы технологии микроэлектроники. Лабораторный практикум. Йошкар-Ола. 2005.

17. Ф.И.Григорьев. Плазмохимическое и ионно-химическое травление в технологии микроэлектроники. Учебное пособие. М.: 2003.

18. Role of oxygen flow rate on the structural and optical properties of copper oxide thin films grown by reactive magnetron sputtering / M. Ali, C. R. Gobinner, D. Kekuda, etc. // Indian J Phys. 2016, iss. (№) 90. P. 219-224.

19. Кузнецов Н. Т., Севастьянов В.Г., Симоненко Е.П., Игнатов П.А., Попов В.С., Способ получения пленочных покрытий оксида олова на подложках. Заявка на патент РФ № 2009124114 от 25.06.09.

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

21. Достанко А.П. [и др.] Технологически комплексы интегрированных процессов производства изделий электроники, Минск, Беларуская наука, 2016.-251 с. – ISBN 978-985-08-1993-2.

22. Технология полупроводниковых приборов и изделий микроэлектроники. В 10 кн.: Учеб. Пособие для ПТУ. Кн. 6. Нанесение пленок в вакууме / Минайчев В. Е. – М.: Высш. шк., 1989. – 110 с.: ил.

23. Лебедев В.И., Мизина В.В. Динамика образования и роста оксидных плёнок на поверхности кристалла // Материалы третьей региональной научной конференции (17-19 апреля 2003г., Георгиевск) "Математическое моделирование и информационные технологии в технических, естественных и гуманитарных науках" - Ставрополь: СевКавГТУ, 2003, с.32.

24. Григорьев, Д.А. Механизмы и кинетика начальных стадий роста плёнок, выращиваемых методом химического газофазного осаждения / Д.А.Григорьев, С.А. Кукушкин // ЖТФ. 1998. - Т.71. - Вып.3. - С.41-45.

25. Кукушкин, С.А. Процессы конденсации тонких пленок / С.А.Кукушкин, А.В. Осипов // УФН.-1998. Т. 168. -№10. - С. 1083-1116.

26. Роль температуры при изменении структуры нанокластеров Ni / ЮЛ.Гафнер, С.Л.Гафнер, Р.Мейер, Л.В.Редель, П.Энтель // ФТТ. 2005. -Т.47. -Вып.7. -С.1304-1308.

27. Карпенко Г. Д., Рубинштейн В. Л. Современные методы генерации осаждаемого вещества при нанесении тонкопленочных покрытий в вакууме. Минск: БелНИИТИ, 1990 – 36 с.

28. В.Е. Миначев. Нанесение пленок в вакууме. Серия Технология полупроводниковых приборов и изделий микроэлектроники, книга 6. Изд. Высшая школа, 1989

29. Venables J.A., Spiller G.D.T., Hanbucken M. Nucleation and growth of thin films // Rep. Prog. Phys. – 1984. – V. 47. – P. 399–459.

30. Bauer E. Chemisorbed Phases // Phase Transitions in Surface Films / Eds.: J.G. Dash and J. Ruvalds. – N.Y: Plenum Press, 1980. – P. 267–315.

31. Григорьев Д.А., Кукушкин С.А. Механизмы и кинетика начальных стадий роста пленок, выращиваемых методом химического газофазного осаждения // Журнал технической физики. – 1998. – Т. 68. – № 7. – С. 111–117.
32. Barna P.B., Adamik M. Fundamental Structure Forming Phenomena of Polycrystalline Films and The Structure Zone Models // Thin Solid Films. – 1998. – V. 317. – P. 27–33.
33. Petrov I., Barna P.B., Hultman L., Greene J. E. Microstructural evolution during
34. Thompson C.V. Grain Growth in Thin Films // Annu. Rev. Mater. Sci. – 1990. – V. 20. – P. 245–268.
35. Thompson C. V., Smith H. I. Surface-energy-driven secondary grain growth in ultrathin (<100nm) films of silicon // Appl. Phys. Lett. – 1984. – V. 44. – P. 603–605.
36. Palmer J.E., Thompson C.V., Smith H.I. Grain growth and grain size distributions in thin germanium films // J. Appl. Phys. – 1987. – V. 62. – P. 2492–2497.
37. Берлин Е.В., Двинин С.А., Сейдман Л.А. Вакуумная технология и оборудование для нанесения и травления тонких пленок. – М.: Техносфера, 2007. – 176 с.
38. Jaeger Richard C. Film Deposition // Introduction to Microelectronic Fabrication. – 2nd. – Upper Saddle River: Prentice Hall, 2002. – 316 p.
39. Brown I.G. Cathodic Arc Deposition of Films // Annual Review of Materials Science. – 1998. – V. 28. – P. 243–269.
40. Martin P.M. Handbook of Deposition Technologies for Films and Coatings: Science, Applications and Technology. – William Andrew, 2009. – 936 p.
41. Franck J. Uber den Einfluss eines Magnetfeldes auf die Dissoziation angeregter Molecule / J. Franck, W. Grotrian // Z. Phys. – 1921. – № 6. – pp. 35–39.

42. Сагдеев Р.З. Влияние магнитного поля на процессы с участием радикалов и триплетных молекул в растворах / Р.З. Сагдеев, К.М. Салихов, Ю.Н. Молин // Успехи химии. – 1977. – Том XLVI. – № 4. – С. 569–601.

43. Бучаченко А.Л. Магнитные и спиновые эффекты в химических реакциях / А.Л. Бучаченко, Р.З. Сагдеев, К.М. Салихов. – Новосибирск.: Наука, 1978. – 296 с.

44. Lawler R.G. Some chemical consequences of magnetic interactions in radical pairs / R.G. Lawler, G.T. Evans // *Ind. Chim. Belg.* – 1971. – V. 36. – P. 1087–1089.

45. Wolber G. Atomic Beam Magnetic Resonance Investigations in the $2p^2\ 3P$ Ground Multiplet of the Stable Carbon Isotopes ^{12}C and ^{13}C / G. Wolber, H. Figger, R.A. Haberstroh, S. Penselin // *Z. Physik.* – 1970. – № 236. – pp. 337–351.

Приложение А

Structure of films deposited in a weak magnetic field by magnetron sputtering

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM6A	Мельников А.Л.		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЯТЦ ИЯТШ	Мышкин В.Ф.	д.ф.-м.н.		

Консультант-лингвист Отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Смирнова У.А.	—		

Introduction

The high rates of development of the semiconductor and optical industries require constant improvement of quality and characteristics of coating materials. The implementation of the requirements specified above directly depends on the achievements in the development of equipment and improvement of technologies of production of thin metal films.

Technologies of thin film production are among the most intensively developing areas of technology. Thin films are widely used in machine instrumentation, microelectronics, laser technology and medicine. Study of technologies of thin film production is an integral part of modern specialist education in the field of new materials and technologies.

Relevance. To expand the scope of films of various functional purposes, it is necessary to develop new methods of applying metal coating. The main requirement for these methods is energy and efficiency. Therefore, it is topical to study the processes of film formation by various methods.

Novelty. There are various methods for controlling the ways of obtaining different properties of the sputtered substances, but the influence of a weak magnetic field on the deposition of metallic films is studied for the first time.

In order to follow the effect of a weak magnetic field at the film formation process must satisfy the following conditions:

- Stable flux of plasma;
- Continuous process of spraying metal coatings.

In the graduation qualification work, the method of magnetron sputtering is used as a coating method. Magnetron sputtering systems (MSS) due to the drifts current of electrons in crossed electric and magnetic fields have extended flows of dense plasma.

Using additional ion sources (inert or chemically active gases) that generate directed ion streams of working gases accelerated to a certain energy , allows to increase the efficiency of sputtering, due to the action on the spray coating during

its growth by a high ion flux. And the volumes and molecules interact faster and more easily with each other in the ionized state.

The paper presents the results of experimental studies of the effect of a weak constant magnetic field on the formation of ultrathin films of a given crystalline composition applied by magnetron sputtering of matter. These results are in demand in development of innovative technologies for the application of films of various functional purposes.

Goal of the work

Investigation of films formed in a weak constant magnetic field from a plasma of a magnetron discharge.

Tasks

Within the framework of educational and research work, in order to achieve this goal, it is necessary to fulfill the following tasks:

- To study the methods of obtaining thin films and the mechanisms of their growth.
- To collect the experimental setup for the deposition of copper oxide films by magnetron sputtering.
- To obtain copper oxide films on copper substrates in a magnetic field of 0-130 mT.
- To investigate the structure of the film surface by means of electron microscopy.

Practical significance of research results

The results of the research can be used in creating of semiconductor and photo electronic elements.

Chapter 1. Preparation of Thin Metal Films

1.1. Methods for depositing thin metallic films

Methods for obtaining coatings are determined on the basis of the physical nature of the processes underlying and determining the operational and physico-mechanical properties of the coatings, and are presented in Table 1.1.

Table 1.1. Classification of methods for obtaining coatings [1].

By the method for obtaining a substance for spraying metal coatings	PVD, CVD either combined.
On the state of the substance for the production of metal coatings	Liquid, solid, ionized or atomic.
By the method of activating the process of formation of coatings	Plasma method, thermal, ion bombardment, photon or electron stimulation.
On the composition of the reaction atmosphere	Inert gas, vacuum, reactive gas.
According to the processes taking place in the zone of formation of metal coatings	Chemical or plasmochemical reactions, physical condensation, diffusion saturation, and the like.

The most popular methods of deposition of films among competitors are the following:

- Physical (Physical Vapor Deposition) ;
- Chemical (Chemical Vapor Deposition).

In *physical deposition (PVD)*, the coating material of the target passes from the solid phase into the gas phase as a result of evaporation or as a result of sputtering due to the kinetic energy of the material particles. The application of metallic coatings by a physical method is carried out at temperatures up to 500 °C,

which does not impose limits on the materials used, on which the metal coating is applied [3].

The process of applying a metal film by physical methods includes the following steps:

- generation of gas (vapor) phase;
- mass transfer of particles of the evaporated substance from the target to the substrate;
- condensation of the atoms of the evaporated particles on the surface of the substrate and the formation of a thin film coating.

A high vacuum in the chamber during the physical deposition of films is necessary for the transferring atoms to the substrate and excluding their interaction with the particles of the vapor or gas phase. In connection with this, physical methods of obtaining films are also called vacuum ones.

Vacuum is a special medium containing gas at a pressure much lower than atmospheric pressure. The ratio between the mean free path of the gas molecules λ and the characteristic size of the vessel d is characteristic for vacuum. The low vacuum ($p > 10^2$ Pa) is characterized by the fact that the mean free path of molecules λ is much smaller than the size of the capacitance d , i.e., $\lambda \ll d$. At the same time molecules collide with each other.

In collisions with the walls of the vessel, the gas molecules are adsorbed to them. With a low vacuum, a layer of adsorbed gas molecules is constantly present on the walls of the vessel. For the average vacuum ($p = 10^2 \div 10^{-2}$ Pa), the mean free path of the molecules λ is approximately equal to the characteristic size of the vessel or capacitance d , i.e., $\lambda \approx d$. At high vacuum ($p = 10^{-2} \div 10^{-7}$ Pa), the mean free path of molecules λ is much larger than the characteristic size of the capacitance or vessel d , i.e., $\lambda \gg d$ [2].

Physical methods for obtaining thin films are considered detailed in [10 - 12, 37, 38].

In the case of *chemical precipitation (CVD)* from the gas phase, the composition of the gas phase and the composition of the deposited material (sediment) differ considerably. The compound of the deposited element is directed to the substrate, where it enters chemical reductive reactions with other gases or undergoes pyrolysis (thermal decomposition), but non-volatile reaction products are deposited on the surface of the substrate. The main methods of obtaining metal films by the CVD method are considered in [13, 14].

Materials arriving at the substrate must be activated in such a way that the components that can form a coating with the necessary properties approach the surface. Consequently, the excitation of the precursor molecule should be up to the energy corresponding to the conditions of the flow of one reaction from their large number for these components. In some cases, the precursor molecules are decomposed into radicals to form the resulting film on the surface of the material with the desired crystalline and morphological structure and properties.

The most commonly used CVD methods are [5]:

- APCVD - Atmospheric Pressure CVD is a process at atmospheric pressure in a reactor
- LPCVD - Low Pressure CVD - process under reduced pressure in the reactor
- PECVD - process with assisted plasma

The method of chemical deposition has one of the main advantages - the possibility of obtaining metal films of a given crystal structure and a wide range of setting speeds, and its main disadvantage is the use of toxic, environmentally unsafe gas mixtures [4].

Often, the separation of physical and chemical methods presents a fairly difficult task: the physical method of evaporation of metals can be combined with their oxidation, and the electrochemical technologies for obtaining films that combine the signs of both methods.

1.1.1. Ion-plasma methods for depositing thin films

The most wide-spread in the technology of electronic means were ion-plasma methods of deposition of metallic films. Their prevalence is due to the fact that with their help it is possible to carry out a variety of technological operations: to form thin films on the surface of the substrate, to etch the surface of the substrate in order to create on it a given pattern of an integrated microcircuit, and to clean the surface of various materials [6].

Advantages of ion-plasma methods [12]:

- Possibility of obtaining films of chemical compounds, refractory materials and alloys specified composition;
- High process controllability;
- Best adhesion of deposited films to surfaces, etc.

The principle of ion-plasma sputtering methods for thin metal films consists in knocking out the atoms (molecules) with the surface of the target from the desired substance when the ions are treated. In this case, the ionization energy of atoms is of the order of several hundred and thousands of electron volts. The atom stream formed as a result of knocking out atoms is directed to the substrate, where adsorption or condensation of matter takes place and a metal film is formed [15]. There is one type of ion-plasma sputtering, in which the atomized target is one of the electrodes (cathode, as a rule) in the plasma-forming chamber, and its bombardment is carried out by ions formed as a result of plasma generation [6].

As a rule, ions of inert gases are used for sputtering a metal target. The source of ions is either a plasma of a non-self-sustained gas discharge (arc or high

frequency), or an independent anomalous glow discharge. At the moment, different spraying processes are used, differing:

- The power supply voltage (AC, DC, high-frequency);
- The number of electrodes in the gas-discharge chamber (2, 3 electrode and multi-electrode systems).
- By the method of excitation and maintenance of the discharge (thermionic emission, field emission, magnetic field, electric field);

1.1.1.1. Cathodic Spraying

The method of cathode sputtering is based on the process of sputtering of the cathode as a result of the bombardment of its surface by an ionized flow of discharged gas (ionized atoms). Figure 1.1 shows a diagram of the working chamber of the cathode sputtering installation.

Basic elements of the chamber: 1 - anode with the substrates for spraying, 2 - leak valve, to provide a continuous argon flow, 3 - cathode -target from the sputtered material, 4 - stainless steel chamber, 5 - screen, to prevent spurious discharges, 6 - magnetic system for focusing the electrons in the boundaries of the discharge column, 7 - gasket for sealing .

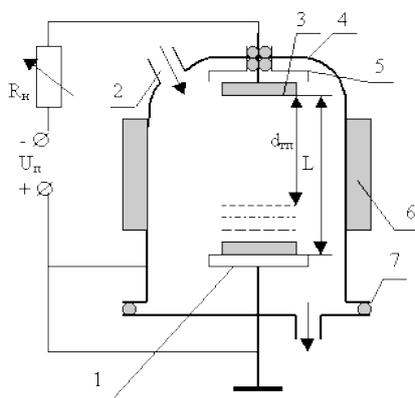


Figure 1.1. Working chamber for cathode sputtering.

The power of the installation described above is carried out by a constant voltage: the target cathode is at a lower potential than the lower electrode. A variable load is applied to regulate the discharge current. Figure 1.2 shows the simplified structure of the discharge and the distribution of the potential along the discharge [16].

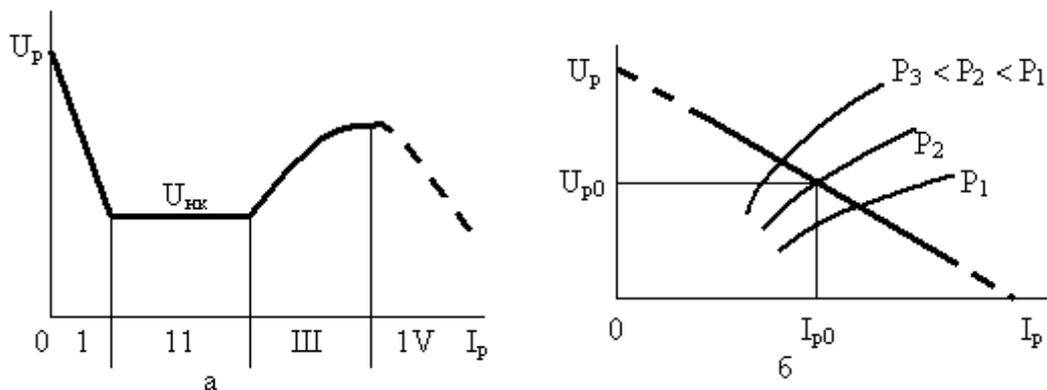


Figure 1.2. Volt-ampere characteristics of an independent glow discharge: a - area under different operating modes; b - working area (III) depending on pressure gas.

On the Figure 1.2 a There is a VAC of the discharge. When a constant voltage is applied from one to several kilovolts, a breakdown of the interelectrode space occurs, as a result of which an instantaneous increase in current and a voltage drop in the discharge (region I). With an increase in the discharge current and a decrease its resistance, the interaction area of the sputtered target cathode with the plasma discharge increases, and the discharge current density and its voltage remain stable and low, and the sputtering velocity is rather small (region II (normally glow discharge)). The whole area of the target is covered by a plasma discharge region III, the density of the discharge current can be increased by increasing the discharge current, and consequently, increasing the spraying speed. As the working region in the processes of cathode sputtering, region III, called the region of an anomalously glow discharge. To prevent the transition to the arc discharge region (region IV), air and in the cooling of the target, as well as limiting the power supply in terms of power.

The preparation of films by the ion sputtering method of the target material over other methods has several advantages. First, one of the main advantages is the synthesis of rare compounds, which is practically impossible to obtain with the help of other high-temperature methods (such as thermal evaporation), because of ion sputtering is a low-temperature process. The films applied to the substrate have higher adhesion to the substrate and uniformity thickness, and a constant chemical composition of the sprayed material is also provided. There is a possibility for the deposition of metal films on the surface of a large area.

Disadvantages of the cathode sputtering method: erosion (destruction) of electrodes of vacuum-gas-filled devices; distortion of the sprayed coating under the influence on the substrate high-energy particles. And also cathode sputtering is characterized by a relatively low rate of sputtering [9]. More detailed information on the technology of electric arc evaporation can be found, for example, in [39, 40].

1.1.1.2. Magnetron Sputtering

One of the varieties of methods based on glow discharge is the method of magnetron sputtering. In magnetron sputtering systems, the atoms of the sputtered material are removed from the surface of the target when it is bombarded with ions of the working gas, formed in the plasma of an anomalous glow discharge.

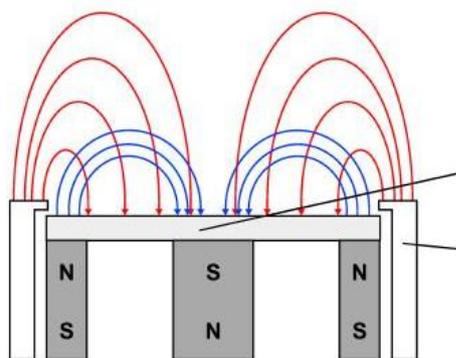


Figure 1.3. Scheme of magnetron sputtering installation.

An example of the production of copper oxide thin films grown on glass substrates can be found in [11, 18]. It is possible to increase the rate of sputtering by increasing the intensity of ion bombardment of the target, i.e., to increase the density of the ion current on the surface of the sputtering target. For these purposes a magnetic field is used, whose lines of force are parallel to the sprayed surface and perpendicular to the lines of force of the electric field [12].

The cathode (target) is placed in the crossed electric and magnetic (between the cathode and anode) field created by the magnetic system (Figure 1.3). The magnetic field at the sputtering target surface is necessary to focus the plasma localization at the target surface. Is disposed between the magnetic field lines of a metal target sputtering surface has the form of a closed curve, the geometry of which is determined by the shape and size of the poles of the magnetic system used [21].

An anomalous glow discharge results from the creation of an inhomogeneous electric field when a constant voltage is applied between the electrodes of the system (the cathode and anode being sprayed). Under the influence of ion bombardment, the emitted electrons, falling into a magnetic field, appear in a trap created on one side by the surface of a target repelling electrons, and with another magnetic field that returns electrons to the cathode. As a result, the motion of electrons at the surface of the cathode is carried out along the cycloid. Electrons undergo numerous collisions with gas atoms as a result of this movement, providing a high degree of ionization, which in turn leads to an increase in the intensity of ion bombardment of the sputtered target, and, consequently, to a significant increase in the sputtering rate of metal films (Figure 1.4) [21].

Influence of the parameters of the power source of the magnetron sputtering system (MPC) and the substrate temperature for the phase composition of the coatings was investigated by many authors and generalized in [20].

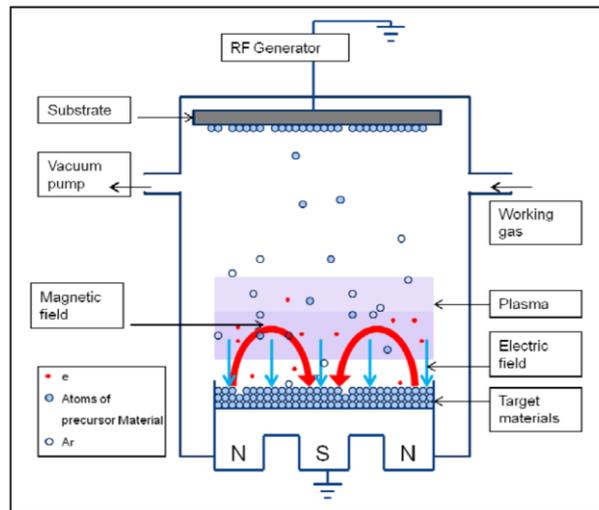


Figure 1.4. Schematic representation of the process of magnetron sputtering.

The main parameters of magnetron sputtering systems are:

- generation efficiency (by copper) - $4 \cdot 10^{-6}$ g / J;
- the energy of the sputtered particles is 5 -25 eV;
- deposition rate on the substrate 10 - 15 nm / min;
- specific target sputtering rate - $(5 -45) \cdot 10^{-5}$ g / (cm² · s);
- the energy of deposited particles - 0.25 -1,5 0 eV;
- working pressure of the chamber - $10^{-2} \div 10^{-4}$ Pa.

The main advantages of magnetron sputtering systems [21]:

- high target sputtering rates at relatively low operating voltages (≈ 400 B) and working gas pressures;
- a low degree of contamination of the sputtered films with different gas inclusions;
- absence of overheating of substrates and low radiation defects;
- obtaining sputtered metal films uniform in thickness over a large surface area.

1.2. The laws of formation and growth of film coatings

The establishment of the relationship between the elemental composition, microstructure, and physical properties of films is one of the main issues in the

study of thin metallic films. The metal foils can be *single crystal*, *amorphous* and *polycrystalline*. A description of the physical models of the growth of nano-films, as well as nanoclusters, is given in [23,24,25,26] .

The absence of long-range order in the arrangement of atoms characteristic of specific morphological and crystalline states is characteristic of amorphous films . Single-crystal films are formed during epitaxy, and it is the epitaxial film that reproduces the final crystal structure of the substrate. The polycrystalline films exhibit the greatest diversity of microstructure, which are characterized by the crystallographic orientation of the crystallites (grains) and their size [24].

The presence of boundaries between neighboring grains of crystal lattices is due to their disorientation between themselves. The grain size in a polycrystalline film can vary over a wide range, depending on many factors. The growth of grains is observed, for example, in the case of heat treatment and whether mechanical deformations, grain growth is often observed.

There are three main mechanisms of film growth (Figure 1.5) [29, 30]:

- the Volmer -Weber mechanism, or the islet mechanism;
- the mechanism of Stransky- Krastanov, or mixed;
- The Frank- van-der-Merwe mechanism, or layered;

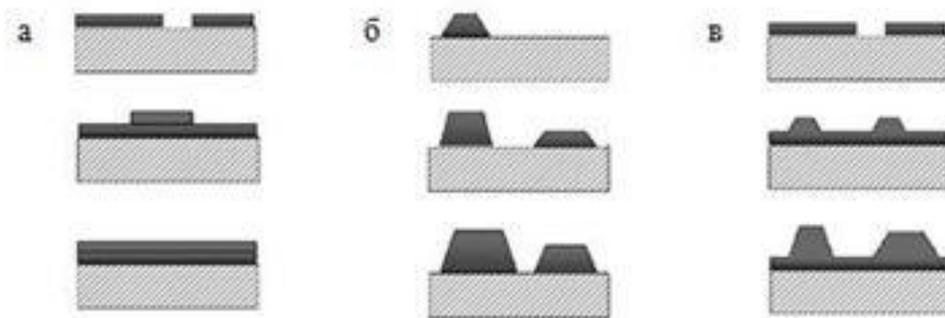


Figure 1.5. Driving mechanisms for the film formation: a) - layer growth *Frank - van der Merwe* , b) - stratified and island growth *Volmer - Weber* , c) - islet growth *Page anskogo - Krastanow* .

With layered growth (the Frank- van der Merwe mechanism), the atoms of the film are more strongly bound to the substrate on which precipitation occurs than to each other. The atoms arriving on the substrate are adsorbed on the surface and crystallize on the available surface roughness. The atomic-rough surface of the deposited substrate is constantly filled over the entire area with atoms to form one layer of the depositing material, then the next monolayer is deposited, and so on. The connection of each next layer with the substrate is weaker than the previous one.

The island growth mechanism of metallic films is realized on atomically smooth surfaces with small Miller indices. The growth of films begins with the adsorption of particles from the gas (vapor) or liquid phase on the surface of the deposited substrate. The adsorbed atoms form clusters (as a result of diffusion), which in turn form the so-called critical nuclei, which form islets due to growth. Large islands coalesce and eventually form a continuous islet mesh. As a result of secondary nucleation, the voids in the grid are gradually filled, thus forming a continuous metallic film. The regularities of island growth of films are considered in [31].

The islands can become more energetically favorable after deposition of a certain number of monolayers. The Stanislaw- Krastanov mechanism or the mixed film growth mechanism is realized when the lattice parameters of the substrate and the deposited material are significantly unbalanced. In the layer-by-layer deposition of monolayers, compressions, strains or deformations arise in them. The layer growth of the film changes to an island one, when the elastic strain energy becomes equal to the surface energy.

The conditions of film deposition have a significant effect on its crystalline and morphological structure. factor T_s / T_m [32, 33] is one of a azhny x parameter , which is equal ene relative deposition temperature (substrate temperature T_s) , the melting point of the film material T_m . M nogochislenny e experimental data and analysis s morphology films one-component composition, settleability e plasma- vacuum methods, have made it possible to build a model of the structure of a thin film depending on the deposition temperature. The model separated two temperature zones: a low temperature (zone 1) and high temperature (zone 2) , and an intermediate zone (zone T) as shown in Fig unke 1.6. At relatively low temperatures ($T_s / T_m < 0.3$), the surface diffusion of atoms and molecules has practically no effect on the deposition process , hence the formation of a multitude of nuclei is characterized by their random orientation in the growth process. After the interaction of the nuclei with one another, anisotropic growth proceeds, resulting in the formation of thin films. The film columns, as a rule, are a set of intergrown grains with the same orientation, and not a single grain [32].

The embryonic islets coalesce into larger ones at relatively high temperatures ($0.3 < T_s / T_m < 0.5$), and then their independent growth proceeds. The resulting crystallites are much larger in diameter than in the low-temperature region, with a random orientation. On the surface of the grain have a characteristic facet, therefore in this region the mechanical roughness of the metal film is relatively high.

In the high-temperature region ($T_s / T_m > 0.5$), bulk diffusion becomes more significant. The transfer of grain boundaries occurs both at the stage of fusion of individual islands at the initial stage of film growth, and during the whole process of deposition of atoms or molecules of nebulized substances. A significant spatial orientation of grain growth is noticeable already at the stage of confluence of small islands. Films obtained by precipitation at high temperatures have a larger grain diameter (proportional to temperature) and a dense granular columnar structure.

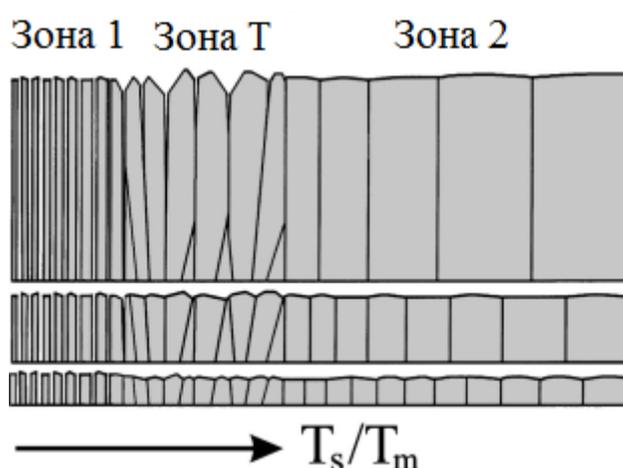


Figure 1.6. The diagram of the evolution of the microstructure of the film as a function of the ratio T_s / T_m and film thickness [33].

The main mechanism of the initial stage of growth of the films of copper considered in this work is the islet mechanism. Such a film has a reduced density, a rough surface, a generally disordered crystal structure and a high specific resistivity. This fact indicates that the characteristics of films with a thickness of one nanometer are colossally different from those of bulk materials. Consequently, it can be assumed that in order to control the structure and properties of thin metal films, it is necessary to search for ways to influence the processes of their nucleation and growth.

The problem of controlling the properties of thin metallic films during their deposition and growth has been in the focus of attention of scientists for a long period of time. The activity of research in this direction is supported not only by a

wide range of available and potential applications of such coatings, but also by fundamental interest in processes occurring on the surface of solids. More fully acquainted with the laws of film growth can be found in [33-36].