

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 Техническая физика
Отделение школы (НОЦ) Научно-образовательный центр Б.П. Вейнберга

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Осаждение кремний–углеродных покрытий для оптических применений

УДК 621.793.1:535

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Д41	Ярославцева О. А.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Аспирант ИСЭ СО РАН	Гренадёрв А.С.			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Меньшикова Е.В.	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД	Федорчук Ю.М.	д.т.н		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор НОЦВ	Кривобоков В.П.	д.ф–м.н		

Томск – 2018 г.

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

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
Р1	Использовать фундаментальные законы природы и естественнонаучных дисциплин, физико–математический аппарат, методы математического анализа, моделирования, оптимизации и статистики для решения задач в различных отраслях технической физики.	Требования ФГОС (ПК–2, 3). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR–ACE и FEANI
Р2	Участвовать в теоретических и экспериментальных исследованиях в различных отраслях технической физики, связанных с современными высокотехнологическими способами обработки материалов, основанными на использовании радиационных и плазменных потоков; самостоятельно осваивать современную физическую аналитическую и технологическую аппаратуру, применять современные методы исследования свойств материалов и различных структур, проводить стандартные и сертификационные испытания технологических процессов, оборудования и изделий, изучать научно–техническую информацию, разрабатывать адекватные физические и математические модели изучаемых объектов.	Требования ФГОС (ПК–4, 10, 11, 12, 13). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR–ACE и FEANI
Р3	Владеть основными методами работы с информацией, самостоятельно работать на компьютере в средах современных операционных систем и наиболее распространенных прикладных программ, и программ компьютерной графики, применять современные образовательные и информационные технологии.	Требования ФГОС (ПК–5, 6, 7). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR–ACE и FEANI
Р4	Знать иностранный язык на уровне, позволяющем работать с научно–технической литературой и участвовать в международном сотрудничестве в области технической физики.	Требования ФГОС (ПК–8). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR–ACE и FEANI
Р5	Участвовать в производственно–технологической деятельности, определять основные параметры технологических процессов, анализировать свойства физико–технических объектов, изделий и материалов, применять современные информационные технологии, пакеты прикладных программ для расчета технологических параметров, обосновывать принятие конкретного технического решения при разработке технологических процессов и изделий.	Требования ФГОС (ПК–14, 15, 17). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR–ACE и FEANI
Р6	Использовать нормативные документы по качеству, стандартизации и сертификации изделий, элементы экономического анализа производственно–технологических циклов, знать и выполнять правила техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и нормы охраны труда.	Требования ФГОС (ПК–16, 18). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR–ACE и FEANI
Р7	Участвовать в проектно–конструкторской деятельности, разрабатывать функциональные и структурные схемы элементов и узлов экспериментальных и промышленных электрофизических установок, реализующих современные пучковые и плазменные технологии, проектировать	Требования ФГОС (ПК–19, 20). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями

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

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

Школа Инженерная школы ядерных технологий
 Направление подготовки (специальность) Техническая физика
 Отделение школы (НОЦ) Научно–образовательный центр Б.П. Вейнберга

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. НОЦВ

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
ОД41	Ярославцевой Ольге Анатольевне

Тема работы:

Осаждение кремний–углеродных покрытий для оптических применений	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

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. Полифенилметилсилоксановый прекурсор 2. Подложки из кремния 3. Источник дугового разряда с накаливаемым катодом (вольфрамовая нить) 4. ИК–Фурье спектрометр Nicolet 5700 5. Спектрофотометр СФ–2000
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Получение кремний–углеродных $a-C:H:SiO_x$ покрытий методом плазмохимического осаждения в парах полифенилметилсилоксана 2. Исследование влияния рабочего давления аргона и биполярного напряжения смещения на пропускную способность, край фундаментального поглощения, ширину запрещенной зоны и энергию Урбаха полученных плёнок

Перечень графического материала	<ol style="list-style-type: none"> 1. Актуальность и применение 2. Цель и задачи работы 3. Экспериментальная установка 4. Аналитическое оборудование 5. Спектры пропускания $a-C:H:SiO_x$ плёнок 6. Переход к спектрам поглощения 7. Критическая длина волны и ширина запрещенной зоны 8. Структура полученных покрытий 9. Энергия Урбаха $a-C:H:SiO_x$ плёнок 10. Зависимости энергии Урбаха от запрещенной зоны 11. Спектр пропускания кремниевой подложки 12. Заключение
--	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Доцент отделения социально–гуманитарных наук Меньшикова Екатерина Валентиновна
«Социальная ответственность»	Профессор отделения общетехнических дисциплин Федорчук Юрий Митрофанович

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Аспирант ИСЭ СО РАН	Гренадёрв Александр Сергеевич			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Д41	Ярославцева Ольга Анатольевна		

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

Студенту:

Группа	ФИО
ОД41	Ярославцевой Ольге Анатольевне

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	Б.П. Вейнберга
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	16.03.01 Техническая физика/Пучковые и плазменные технологии

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально–технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	1. <i>Стоимость материалов.</i> 2. <i>Зарботная плата руководителя проекта.</i> 3. <i>Зарботная плата исполнителей проекта.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	1. <i>Нормы рабочего времени, выполнения проекта</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	1. <i>Ставка налога отчисления во внебюджетные фонды.</i> 2. <i>Процент дополнительной заработной платы</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	1. <i>Оценка конкурентоспособности проекта</i> 2. <i>Планирование работ в течении осуществления проекта.</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	1. <i>Планирование и расчет бюджета научной–исследовательской работы.</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	1. <i>Определение эффективности и перспектив научного исследования.</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i>
2. <i>Матрица SWOT</i>
3. <i>График проведения и бюджет НИ</i>
4. <i>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	Меньшикова Е. В.	к.ф.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОД41	Ярославцева Ольга Анатольевна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
ОД41	Ярославцевой Ольге Анатольевне

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	Б.П. Вейнберга
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	16.03.01 Техническая физика/Пучковые и плазменные технологии

Тема дипломной работы: Осаждение кремний–углеродных покрытий для оптических применений

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 (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения); – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы); – чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера). 	<p>Рабочее место находится в научной лаборатории ИСЭ СО РАН. Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Микроклимат – Электромагнитное излучение – Шум – Освещенность – Промышленная санитария <p>Опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Электрическое напряжение – Пожарная и взрывная природа
<p>2. Перечень законодательных и нормативных документов по теме</p>	<p>Опасность поражения электрическим током:</p> <ul style="list-style-type: none"> – инструкция по охране труда при эксплуатации электроустановок; – ГОСТ 12.1.019. ССБТ; – ГОСТ 12.1.045–84; <p>Микроклимат:</p> <ul style="list-style-type: none"> – ГОСТ 12.1.005; – СанПиН 2.2.4.548–96; – ГОСТ 30494–2011. <p>Шум:</p> <ul style="list-style-type: none"> – ГОСТ 12.1.003 – 83. – ГОСТ 12.4.026–76 ССБТ – СНиП II–12–77. <p>Пожарная безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – ГОСТ 12.1.004–91 ССБТ

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"> – физико–химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно–технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства) 	<p>Вредные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Отклонение показателей микроклимата на рабочем месте 2. Шум 3. Электромагнитное излучение 4. Освещенность 5. Промышленная санитария
--	--

<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения) 	<p>Опасные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 . Электрическое напряжение 2 . Пожар
<p>3. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Сильные морозы 2. Проникновение посторонних лиц <p>Разработать профилактические меры по устойчивой работе производства</p>
<p>Перечень графического материала:</p>	
<p>При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. План размещения светильников 2. План эвакуации

<p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</p>	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Федорчук Ю.М.	Д.Т.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Д41	Ярославцева Ольга Анатольевна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, трех глав и заключения. В работе 78 с., включая 15 рисунков, 22 таблицы и 42 источника литературы.

Ключевые слова: кремний–углеродные ($a\text{-C:H:SiO}_x$) покрытия, ПФМС, несамостоятельный дуговой разряд, пропускная способность, просветляющие покрытия.

Объектом исследования являются $a\text{-C:H:SiO}_x$ пленки, полученные плазмохимическим методом осаждения с использованием несамостоятельного дугового разряда с накальным катодом при использовании импульсного биполярного напряжения смещения.

Целью работы является изучение влияния амплитуды отрицательного импульса биполярного напряжения смещения и рабочего давления аргона на оптические свойства $a\text{-C:H:SiO}_x$ пленок, формируемых методом плазмохимического осаждения в парах полифенилметилсилоксана (ПФМС).

В процессе работы проводилась оптимизация условий осаждения и исследование оптических свойств полученных пленок.

В результате исследований были получены $a\text{-C:H:SiO}_x$ плёнки с коэффициентом пропускания $>85\%$ в видимой и ИК–области спектров. Повышение амплитуды отрицательного напряжения смещения приводит к снижению интегральной прозрачности в видимом диапазоне длин волн и уменьшению ширины запрещенной зоны, а край поглощения и энергия Урбаха увеличиваются. При повышении рабочего давления приводит увеличение энергии Урбаха и края фундаментального поглощения, что ведет к снижению ширины запрещенной зоны. Пропускная способность при этом практически не меняется.

Область применения: просветляющие покрытия для приборов инфракрасных и видимых длин волн.

Содержание

Введение.....	12
1. Объект исследований и методы его получения.....	14
1.1. Свойства и структура углеродных покрытий.....	14
1.2. Виды углеродных пленок.....	16
1.3. Способы получения $a-C:H:SiO_x$ покрытий.....	18
2. Описание экспериментального оборудования и методик исследования свойств покрытий.....	24
2.1. Описание экспериментального оборудования и методики нанесения $a-C:H:SiO_x$ покрытий.....	24
2.2. Измерение пропускной способности покрытия тонких плёнок.....	25
3. Исследование оптических свойств $a-C:H:SiO_x$ пленок.....	27
3.1. Определение пропускной способности.....	27
3.2. Определение граничной длины волны и ширины запрещенной зоны.....	29
3.3. Структура полученных покрытий.....	31
3.4. Определение энергии Урбаха.....	32
3.4. Просветление кремния в ИК–области длин волн 3–5 мкм.....	36
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	38
4.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	38
4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования.....	38
4.1.2. Анализ конкурентных технических решений.....	38
4.1.3. SWOT–анализ.....	40
4.2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований.....	42
4.2.1. Структура работ в рамках научного исследования.....	42
4.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ.....	43
4.2.3. Разработка графика проведения научного исследования.....	44
4.3. Бюджет научно–технического исследования (НТИ).....	46
4.3.1. Расчет материальных затрат НТИ.....	47

4.3.2. Расчет затрат на электроэнергию	48
4.3.3. Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	48
4.3.4. Основная заработная плата исполнителей темы	49
4.3.5. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	51
4.3.6. Накладные расходы	51
4.3.7. Формирование бюджета затрат НИП.....	52
5. Социальная ответственность	53
5.1. Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	53
5.2. Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на установке ННВ–6 и ПЭВМ	54
5.2.1. Организационные мероприятия.....	54
5.2.3. Условия безопасной работы.....	57
5.3. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды	63
5.3.1. Электробезопасность	63
5.3.2. Пожарная и взрывная безопасность.....	66
5.4. Чрезвычайные ситуации.....	69
5.5. Перечень нормативных документов	71
Заключение	74
Список литературы	75

Введение

Тонкие пленки могут применяться во многих областях науки и техники: машиностроении, медицине, космическая отрасль, судо– и авиастроение. На данный момент немалый интерес в промышленности и науке приобрели алмазоподобные углеродные пленки (АПП) за счет своих уникальных механических (твердость $\sim 20\text{--}40$ ГПа) и оптических свойств (прозрачность в ИК–спектре $>90\%$).

Алмазоподобные углеродные покрытия (a–C) характеризуются умеренным уровнем поглощения и рассеяния во всем инфракрасном диапазоне длин волн, поэтому их осаждение используется для оптических целей [1]. Показатель преломления алмазоподобной плёнки в ИК–диапазоне близок к 2. Благодаря этому слой АПП сочетает выдающиеся защитные свойства с хорошим просветляющим эффектом.

Несмотря на это, серьёзным недостатком алмазоподобных покрытий является высокие внутренние напряжения. Максимальная толщина покрытий ограничена появлением в них остаточных напряжений и их ростом с увеличением толщины покрытия. Эти напряжения влияют и на прочность соединения покрытия с подложкой. Так, в алмазоподобных пленках остаточные напряжения составляют больше 6 ГПа, а значит осаждение покрытий толщиной более 1 мкм приведет к разрушению и отслаиванию плёнки. Также, пропускание таких пленок в видимой области практически отсутствует, поэтому получаемое покрытие можно условно назвать черным.

Кремний–углеродные пленки (a–C:H:SiO_x), то есть АПП легированные оксидом кремния, обладают низкими внутренними напряжениями (< 1 ГПа) и толщина покрытий достигает десятков мкм. Кроме этого, a–C:H:SiO_x пленки обладают высокими механическими свойствами, оптической прозрачностью в видимой ($> 80\%$) и ИК–области спектра ($> 90\%$), а значит также хорошо подходят для оптического применения. Например, в работе [2, 3] было показано, что благодаря прозрачности в ближней инфракрасной области,

большой механической прочности и химической инертности возможно использование $a\text{-C:H:SiO}_x$ пленок в качестве защитных просветляющих покрытий на приемники излучения в инфракрасной области спектра и солнечных элементах.

Наиболее распространенным методом для осаждения $a\text{-C:H:SiO}_x$ пленок является метод высокочастотного плазмохимического осаждения (RF PACVD). Применение данного метода в промышленных масштабах усложняется соблюдением условия пропорциональности размеров камеры и подложки. Использование биполярного напряжения смещения показывает перспективы использования при осаждении непроводящих покрытий на подложки большой площади, так как позволяет избежать этого ограничения и сравнительно эффективнее может применяться для осаждения диэлектрических пленок на подложки большой площади.

Целью данной работы было изучение влияния амплитуды отрицательного импульса биполярного напряжения смещения и рабочего давления аргона на оптические свойства $a\text{-C:H:SiO}_x$ пленок, формируемых методом плазмохимического осаждения в парах ПФМС.

Для достижения данной цели были поставленные следующие задачи:

1. Провести серию экспериментов по осаждению $a\text{-C:H:SiO}_x$ пленок при различных условиях условий осаждения – рабочего давления и напряжения смещения);
2. Установить взаимосвязь между оптическими свойствами (пропускной способностью, краем фундаментального поглощения, энергией Урбаха и шириной запрещенной зоны) $a\text{-C:H:SiO}_x$ пленок и условиями осаждения.
3. Оптимизировать условия осаждения $a\text{-C:H:SiO}_x$ пленок, позволяющие обеспечить повышение прозрачности кремния в инфракрасной области длин волн 3–5 мкм.

1. Объект исследований и методы его получения

1.1. Свойства и структура углеродных покрытий

Интерес к углеродным покрытиям обусловлен такими их свойствами, как высокая твердость, низкий коэффициент трения, химическая инертность и коррозионная стойкость, большой коэффициент теплопроводности. Покрытия предназначены для увеличения срока службы деталей, где требуется защитить поверхность от износа, увеличить твердость поверхности детали и снизить коэффициент трения [4]. Алмазоподобные покрытия состоят из атомов углерода с алмазными и с графитоподобными связями. Углерод – вещество с самым большим числом аллотропных модификаций.

Атомы углерода в алмазе находятся в sp^3 валентном состоянии гибридизации электронных оболочек, образуя тетраэдрические σ -связи с четырьмя соседними атомами. Графит состоит из атомов углерода в sp^2 валентном состоянии, имеющих σ -связи с тремя соседними атомами в плоскости и слабую π -связь перпендикулярно этой плоскости (рис. 1) [5].

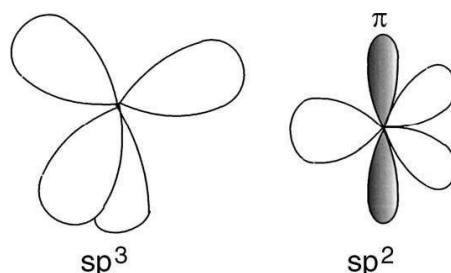


Рисунок 1. Изображение sp^3 , sp^2 и гибридизаций углерода

При образовании σ -связи происходит максимальное перекрывание орбитальных волновых функций разных атомов в межъядерном пространстве с экранированием кулоновского поля ядер, при образовании π -связи происходит перекрывание электронных волновых функций на периферийном пространстве без экранирования кулоновского поля ядер. Потому σ -связь более прочная, чем π -связь, не разрывается при внутримолекулярном вращении атомов и менее поляризуема.

Каждый вид гибридизации характеризуется структурой, длиной и энергией связи. В sp^3 - конфигурации, такой как у алмаза, четыре валентных

электрона задают тетраэдрическую ориентацию орбиталей, которые создают сильные σ -связи с соседними атомами. В трёхкоординированной sp^2 -конфигурация, как у графита, три из четырёх валентных электрона задают тригональную ориентацию орбиталей, которые формируют σ -связи в одной плоскости. Четвёртый электрон находится на π -орбитали, которая ортогональна плоскости σ -связей. Эта π -орбиталь формирует слабую π -связь с другими π -орбиталями соседних атомов. В этой конфигурации углерод имеет кратную связь с другим атомом углерода [6].

По своим свойствам плёнки алмазоподобного углерода (DLC) являются наиболее близкими к алмазу благодаря высокому содержанию в них sp^3 – гибридованных атомов углерода. В зависимости от содержания sp^3 –, sp^2 – гибридованного углерода и водорода получается то или иное соединение. Различные технологические методы осаждения плёнок позволяют получать плёнки аморфного углерода с разным содержанием sp^3 –связей, а также плёнки гидрогенизированного аморфного углерода.

На рис. 2 изображены алмаз, графит и аморфный углерод [6]. Алмаз обладает кубической кристаллической структурой с sp^3 связями (рис. 2б). У графита же гексагональная решетка с sp^2 связями (рис. 2а). Аморфный углерод обладает любой комбинацией sp^3 , sp^2 и даже sp^1 связей в структуре (рис. 2в).

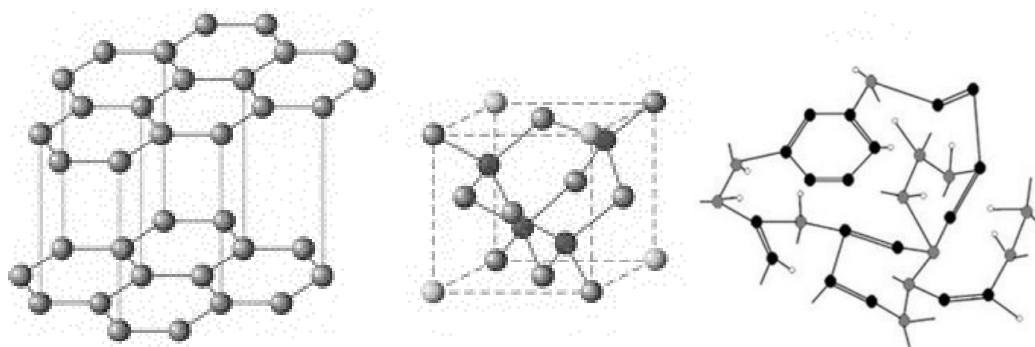


Рисунок 2. Структура углерода в графите (а), алмазе (б) и аморфном углероде (в)

Для того чтобы различать аморфный углерод с большим числом sp^3 -связей от аморфного углерода с большим числом sp^2 -связей вводятся обозначения ta-C (тетраэдрический аморфный углерод) и a-C (аморфный углерод) соответственно.

1.2. Виды углеродных пленок

Свойства углеродных покрытий зависят от метода, условий их осаждения и определяются процентным соотношением фаз с различной гибридизацией валентных электронов: sp^2 , sp^3 [7, 8]. В зависимости от содержания sp^3 -гибридизированных атомов в структуре углеродной пленки, концентрации водорода и наличия легирующих примесей, их можно классифицировать следующим образом: алмазоподобный (DLC), гидрогенизированный (a-C:H), тетраэдральный (ta-C), тетраэдральный гидрогенизированный аморфный углерод (ta-C:H). Их характеристики представлены в таблице 1 [9].

Таблица 1. Сравнительные характеристики углеродных плёнок

	sp^3 (%)	H (%)	Ширина запрещённой зоны (эВ)	Твёрдость (ГПа)
DLC	35	25	0.8–4	15–25
a-C:H	40–60	30–50	1.1–4	<20
ta-C	80–88	0	2.5	80
ta-C:H	70	30	2.0–2.5	50

Алмазоподобный аморфный углерод

Существует в различных формах. DLC покрытия, могут быть аморфными и иметь sp^3 гибридизацию (алмазоподобную). Включения, такие, как водород, sp^2 углерод, необходимы чтобы уменьшить экономические затраты или придать желаемые свойства. Применение DLC увеличивает абразивную износостойкость материала. Износ, трение и электрические свойства делают DLC покрытия привлекательным материалом для применения в медицине. Имплантированный насос человеческого сердца может считаться прорывом биомедицинского применения, где покрытие DLC используется на крови соприкасающихся поверхностях, ключевом компоненте устройства [10].

Гидрогенизированный аморфный углерод

Покрытия аморфными углерода с содержанием связанного водорода называют гидрогенизированными пленками (a-C:H). Эти покрытия

представляют собой материал, оптические и механические свойства которого можно изменять в больших пределах в процессе осаждения, что открывает широкие возможности применения этих пленок в различных устройствах, включая оптические. Сочетание прозрачности в ИК области спектра с механической прочностью у пленок a-C:H с показателем преломления близким алмазу (~ 2) позволяет использовать их в оптических элементах лазеров, инфракрасной технике и других устройствах как защитные и просветляющие покрытия. Тонкие пленки a-C:H, поглощающие в видимой области спектра, применяются для осуществления оптической развязки между записывающим и считывающим светом в оптических жидкокристаллических модуляторах света отражательного типа [5].

Тетраэдральный аморфный углерод

Самым твердым является тетраэдрический аморфный углерод (ta-C). Например, покрытие ta-C толщиной всего 2 мкм увеличивает сопротивление обычной нержавеющей стали от абразивного износа, изменяя срок её службы в таком режиме работы от одной недели до 85 лет. Такой ta-C можно рассматривать как «чистую» форму DLC, поскольку он состоит только из атомов углерода, связанных с sp^3 . Этот тип материала соответствует плотному аморфному материалу, состоящему из неупорядоченных sp^3 -связей, связанному сильными связями, аналогичными тем, которые существуют в неупорядоченном алмазе с предположительно подобной твердостью алмаза. Тетраэдрические аморфные углероды представляют наибольший интерес для многих применений, особенно для электрохимических и антикоррозионных целей [11].

Тетраэдральный гидрогенизированный аморфный углерод

Пленки с высокой долей атомов sp^3 – гибридного углерода (порядка 70 %) и содержанием водорода 20 – 30 % называют пленками аморфного гидрогенизированного тетраэдрального углерода (ta-C:H). Такой материал обладает высокими значениями твердости и модуля Юнга. Оптическая ширина запрещенной зоны данных покрытий порядка 2,5 эВ [12].

Используются в качестве защитных инертных покрытий от коррозии металлов и химического воздействия агрессивной среды, в качестве прозрачных защитных покрытий оптики, в качестве прочных и термостойких изолирующих покрытий в электротехнике и электронике и в качестве твердых износостойких покрытий [13].

1.3. Способы получения a-C:H:SiO_x покрытий

Для получения a-C:H:SiO_x покрытий используют метод плазмохимического осаждения на постоянном токе, высокочастотного плазмохимического осаждения, метод с использованием ионного источника Кауфмана и дугового разряда.

Плазмохимический метод осаждения на постоянном токе (DC PECVD)

В качестве прекурсоров используются соединения, имеющее достаточно высокое давление паров при невысоких температурах (100–400 °С; хлориды металлов, металлоорганические комплексные соединения). Большинство прекурсоров–реагентов для этого процесса поставляются только в жидкой фазе при комнатной температуре. Их нужно нагреть до своей температуры испарения и доставить до реактора при помощи газа–носителя. Если известно давление паров жидкого прекурсора, то его парциальное давление легко найти и контролировать при помощи скорости и объема потока газа–носителя [14]. Важным условием получения качественных покрытий таким методом является точность контроля скорости газовых потоков и интенсивности испарения прекурсоров [15]. В процессе осаждения подложка помещается в реактор, куда подаются пары прекурсора, которые, вступают в реакцию и разлагаются на поверхности или вблизи поверхности нагретой подложки, при этом на поверхности подложки в виде тонкой пленки осаждается необходимое вещество. Как правило, в ходе процесса образуется побочный газообразный продукт химических реакций, удаляемый из реактора с потоком газа [14].

Вместо тепловой энергии пары реагента активируются быстрыми электронами. Химически активный газ вступает в химическое взаимодействие, образует летучее теплочувствительное соединение. При соприкосновении этого газа с поверхностью, нагретой до более высокой температуры, чем испаряемый материал ($T_2 > T_1$), происходит разложение этого химического соединения и осаждение чистого материала [16].

Преимущества такого метода – комбинация низкого давления в реакторе и низких температур дает лучшую однородность по толщине пленки; хорошие скорости осаждения; хорошее покрытие ступенек; реактор можно использовать в других процессах.

Недостатки: нужно контролировать большее количество переменных процесса по сравнению с другими процессами; стоимость процесса больше из-за требования иметь большее количество элементов; загрязнение осаждаемых пленок частичками реакций и химическое. Другой недостаток – сильное взаимодействие плазмы с растущей пленкой. Высокая скорость осаждения требует тщательной отладки реакционной установки [18].

В [17] представлен анализ молекулярной структуры и состава пленок a-C:H:SiO_x, синтезированных с использованием метода DC PECVD. Исследования были сосредоточены на трибологических, структурных, химических и поверхностных свойствах пленок в зависимости от различных параметров осаждения. Характеристики покрытий представлены в таблице 2.

Таблица 2. Свойства a-C:H:SiO_x покрытий в зависимости от параметров осаждения

Содержание Si, (ат.%)	Твердость, Н (ГПа)	Остаточные напряжения, (ГПа)	Энергия Тауца, эВ	I _D /I _G
5	17,00	1,00	1,25	0,98
9	12,00	0,70	1,30	0,63
13	11,80	0,90	1,55	0,68
17	9,00	0,75	3,45	0,37
22	10,00	0,60	3,10	0,45

С увеличением концентрации Si происходит снижение твердости. Это связано с заменой C-C связи на силоксановые. В пленках SiO_x присутствует в виде цепных силоксанов и циклосилоксанов, которые связаны с алмазоподобной углеродной сетью посредством связей O-Si-C₂. Для пленок с концентрацией Si до 13 ат.% энергия Тауца медленно возрастает. Для более высоких концентраций Si энергия Тауца достигает примерно 3,45 эВ. Анализ фона фотолюминесценции в спектре комбинационного рассеяния показал два структурных режима. Во-первых, для 13% < Si, a-C:H:SiO_x образуется в виде одной фазы с силоксаном через O-Si-C₂ связи. Во-вторых, для пленок с Si>13%, силоксановые связи DLC-сетей и SiO_x-осадок образуются одновременно в виде сегрегированных фаз. Смеси 0-4% SiO_x наилучшим образом соответствовали оптическим данным для пленок, содержащих до 13 ат.% Si. Для пленок с концентрацией Si >13 ат.% смеси с 20-25% SiO_x были необходимы для получения наилучших результатов для эллипсометрических данных. Эти результаты дополнительно доказывали существование сегрегированных фаз в a-C:H:SiO_x пленках, содержащих Si > 13%.

Метод высокочастотного плазмохимического осаждения (RF PECVD)

Основой высокочастотной (ВЧ) генерации разряда является частотно-модулированное постоянное напряжение в слое пространственного разряда у ВЧ электрода. Суть метода состоит в разложении кремний-углеродных жидкостей в плазме тлеющего разряда до образования активных компонент с дальнейшим их осаждением на подложке [19]. ВЧ плазма играет роль виртуального анода, а слой пространственного заряда похож на область катодного падения в разряде с постоянным током. В системе с ВЧ полым катодом подложки окружены слоем пространственного заряда, который инициирует ионную бомбардировку покрытия в процессе его напыления. Достоинством этого метода является возможность нанесения АПП на диэлектрические подложки, т.к. заряд не скапливается на их поверхности. ВЧ разряд широко используется в промышленности, но до сих пор существует

проблема нанесения покрытий на подложки большой площади с высокой однородностью толщины покрытий [18].

В [20, 21] подробно описано влияние параметров осаждения на механические и трибологические свойства $a\text{-C:H:SiO}_x$ пленок, синтезированных методом RF PACVD. Характеристики полученных пленок объединены в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристики $a\text{-C:H:SiO}_x$ покрытий

Напряжение смещения, (В)	Твердость, Н (ГПа)	Модуль Юнга, Е (ГПа)	Остаточные напряжения, (ГПа)	sp^2 , (%)	sp^3 , (%)
200	13,84	95	1,86	64,1	17,4
400	18,34	131	2,33	69,8	18,9
600	16,47	137	1,55	65,2	26,0
800	13,94	93	0,92	67,10	22,70

С увеличением отрицательного потенциала смещения наблюдались более низкие концентрации Si и O, а также различные отношения концентрации Si/O. Для всех отрицательных потенциалов смещения наблюдалась повышенная концентрация кремния и связей Si-C, повышаясь с увеличением доли прекурсора в рабочей камере. Кислородсодержащая плазма, особенно при высоких отрицательных напряжениях смещения, может участвовать в поверхностном травлении sp^2 гибридного углерода. Это может отразиться на увеличении содержания sp^3 гибридного углерода и в то же время может быть причиной отсутствия осадков SiO_x , которые при высоких отрицательных потенциалах смещения могут быть просто вытравлены.

Разнообразие свойств покрытий $a\text{-C:H:SiO}_x$, формируемых в широком диапазоне параметров процесса, позволяет создавать структуру, фазовый и химический состав изготовленных пленок по широкому спектру применения.

Метод с использованием ионного источника Кауфмана

Осаждение покрытий также возможно и нанесением на подложку продуктов плазмохимических реакций в углеводородной плазме, образуемой с помощью ионного пучка, генерируемого автономным ионным источником. Этот метод привлекает тем, что ионные пучки более энергетичны, а многие ионные источники позволяют независимо контролировать траекторию ионов, энергию и их плотность [18]. Возможно нанесение покрытий с помощью протяженного ионного источника с замкнутым дрейфом электронов. Работа ионного источника состоит из подачи газа в зазор между электродами и положительного потенциала на анод. Магнитное поле заставляет электроны совершать замкнутое дрейфовое движение в ускоряющем канале, тем самым многократно ионизировать рабочий газ и формировать плазму. Ускоряющий канал представляет собой зазор, образованный внутренней и внешней частями катода. В плазме происходит разложение кремний–углеродного газа на ионы и активные частицы, которые затем осаждаются и формируют покрытие на подложке.

В работе [22] было исследовано влияние рабочего газа и ионного пучка на структуру и свойства пленок $a\text{-C:H:SiO}_x$ (таб. 4), нанесенных с использованием источника с замкнутым дрейфом ионного пучка.

Таблица 4 – Свойства осажденных пленок

Энергия ионного пучка, (эВ)	Рабочий газ	Твердость, Н (ГПа)	Коэффициент отражения	Энергия Тауца, (эВ)
800	He	10,80	2,00	2,23
500	He	12,80	2,01	2,45
500	H ₂	11,90	1,87	2,75
300	He	5,80	1,95	2,38

Осаждение $a\text{-C:H:SiO}_x$ плёнок в [22] происходило при использовании разного рабочего газа – He и H₂. Было определено, что свойства покрытий зависят от газа–носителя. Наибольшая твердость 12,8 ГПа и 11,9 ГПа, а также энергия запрещенной зоны (Тауца) 2,45 эВ и 2,75 эВ наблюдались для пленок,

образованных при энергии ионного пучка 500 эВ с рабочим газом He и H₂, соответственно. Из полученных был сделан вывод, что при такой энергии в пленке присутствует самое большое количество sp³-кластеров, так как sp³-кластеры ответственны за механические свойства покрытий, а ширина запрещенной зоны линейно возрастала с плотностью ионного пучка.

2. Описание экспериментального оборудования и методик исследования свойств покрытий

2.1. Описание экспериментального оборудования и методики нанесения а–С:Н:SiO_x покрытий

В данной работе, осаждение а–С:Н:SiO_x пленок производилось из плазмы несамостоятельного дугового разряда с накаливаемым катодом с прикладываемым к подложке импульсного биполярного напряжения смещения. В качестве рабочего прекурсора использовалась кремнийорганическая жидкость – полифенилметилсилоксан (ПФМС). На рис.3 представлена блок–схема установки, с помощью которой производилось осаждение.

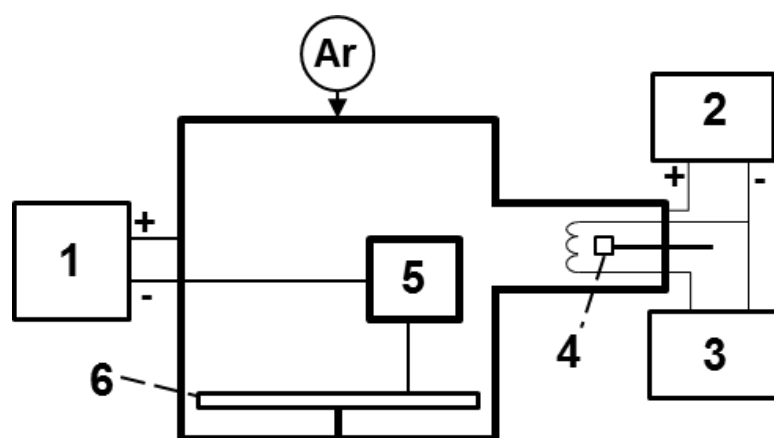


Рисунок 3 – Схема экспериментальной установки: 1 – источник питания ВЧ–смещения; 2 – источник питания разряда; 3 – источник питания накала; 4 – источник ПФМС; 5 – держатель образца; 6 – вращающийся стол

Формирование плазмы происходит за счёт ионизации рабочего газа посредством термоэлектронной эмиссии. Основным источником электронов является разогретый катод. Источник паровой фазы нагревается до температуры порядка 500 °С и затем в него непрерывно подается ПФМС, где происходит его переход из жидкой в паровую фазу, а на выходе формируется направленный поток паров. Ионизированные молекулы приобретают положительный заряд. На подложке, в качестве напряжения смещения подается отрицательный заряд. В получившейся разности потенциалов

положительно заряженные молекулы ПФМС ускоряются в направлении подложки, и имея некоторую энергию внедряются в саму поверхность подложки, формируя покрытие.

2.2. Измерение пропускной способности покрытия тонких плёнок

Спектрофотометр СФ–2000 предназначен для измерения спектральных коэффициентов направленного пропускания пленок в видимом спектре. Принцип действия спектрофотометра основан на измерении отношения двух световых потоков: прошедшего через подложку и падающего на неё.

Оптическая схема спектрофотометра (рис. 4) представляет собой два независимых оптических канала измерения – полихроматора с вогнутой дифракционной решеткой, многоэлементным приемником излучения и источником излучения. Значение выходного сигнала элемента приемника зависит от светового потока и времени экспозиции элемента приемника [23].

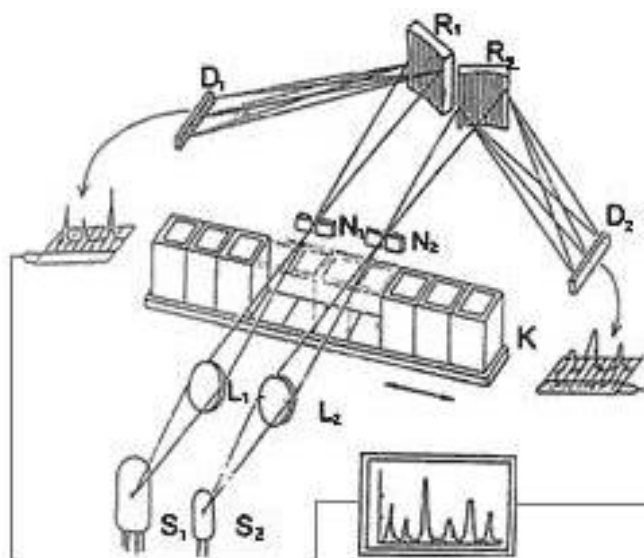


Рисунок 4 – Оптическая схема спектрофотометра: S_{1-2} – источники излучения; L_{1-2} – фокусирующая оптика; K – кюветная линейка; N_{1-2} – спектральные щели; R_{1-2} – вогнутые дифракционные решетки; D_{1-2} – детекторы излучения

Обработка данных и управление спектрофотометром осуществляется ЭВМ типа IBM PC. Измерения проводились путем помещения образцов в кюветы и пропускания через них луча света. Вывод результатов измерений производился на монитор компьютера.

Для измерения пропускной способности покрытий в инфракрасном спектре использовался спектрометр Nicolet 5700. В основе метода лежит Фурье–преобразование интерферограммы двух пучков исследуемого излучения с переменной оптической разностью хода этих пучков, связанное с тем, что излучению каждой длины волны λ соответствует определенная кривая, получаемая с помощью интерферометра Майкельсона (рис. 5) при перемещении подвижного зеркала.

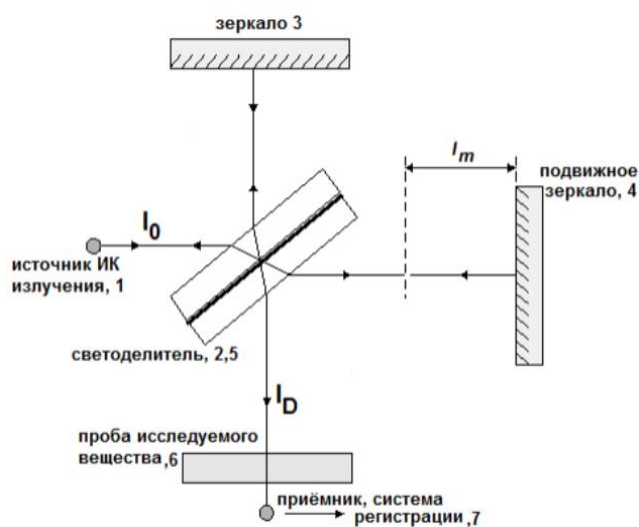


Рисунок 5 – Оптическая схема интерферометра Майкельсона

Идущее от источника ИК–излучение разделяется полупрозрачным светоделителем на два когерентных пучка. Один из них направляется к неподвижному плоскому зеркалу и отражается от него на светоделитель, другой пучок идет к подвижному зеркалу и также возвращается, где на светоделителе они соединяются. Эти два когерентных пучка интерферируют между собой и вследствие этого могут либо усиливать, либо ослаблять друг друга. В результате получается интерферограмма – график зависимости интенсивности зарегистрированного излучения от разности хода пучков. Она содержит всю спектральную информацию о падающем на детектор пучке. Далее интерферограмма пересчитывается путём преобразований Фурье [24]. Измерения производились путем помещения образца в держатель и пропусканием через них пучка света. Полученные результаты были обработаны в программе спектрометра и выведены на экран.

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

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

4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

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

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

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определённый товар или услуга.

Осаждение $a-C:H:SiO_x$ покрытий позволяет продлить срок службы промышленных и медицинских механизмов, а также повысить пропускную способность материала подложки.

Потенциальными потребителями готовой продукции являются различные промышленные предприятия, космическая и медицинская отрасль, машиностроение и др.

4.1.2. Анализ конкурентных технических решений

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

В качестве объектов сравнения с $a-C:H:SiO_x$ покрытиями (B_{ϕ}) были выбраны покрытия аморфного ($a-C$) углерода (B_{k1}) и покрытия аморфного гидрогенизированного ($a-C:H$) углерода (B_{k2}).

Основные технические критерии следующие:

1. Оптические свойства покрытий – высокая прозрачность в видимом и ИК–спектре.

2. Простота метода осаждения.

3. Адгезионная прочность покрытий.

4. Устойчивость к износу.

5. Безопасность в осаждении покрытий.

Для проведения анализа конкурентоспособности разработки будет использоваться оценочная карта, приведенная в таблице 6.

Таблица 6 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес оценки	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. Оптические свойства покрытий	0,21	5	2	2	1,05	0,42	0,42
2. Простота осаждения	0,14	5	5	5	0,70	0,70	0,70
3. Адгезионная прочность покрытий	0,11	5	4	3	0,55	0,44	0,33
4. Устойчивость к износу	0,10	5	4	4	0,50	0,40	0,40
5. Безопасность в осаждении покрытий	0,11	5	5	5	0,55	0,55	0,55
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность покрытий	0,06	4	4	5	0,24	0,24	0,30
2. Стоимость материалов	0,08	4	4	4	0,32	0,32	0,32
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0,07	5	5	4	0,35	0,35	0,28
4. Область применения покрытий	0,04	5	5	5	0,20	0,20	0,20
5. Финансирование научной разработки	0,06	3	4	4	0,18	0,24	0,24
6. Срок выхода на рынок общего пользования	0,02	3	5	5	0,06	0,10	0,10
Итого	1				4,70	3,96	3,84

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а

5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$K = \sum B_i \cdot B_i$, где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл i -го показателя.

Итогом данного анализа является заметное преимущество а–С:SiO_x покрытий над продуктами конкурентов. Преимущества имеются как в технических критериях оценки, так и в экономических. Представленные а–С:H:SiO_x покрытия имеют большой интерес в области технических наук и поэтому данной разработке необходимо уделять больше внимания.

4.1.3. SWOT–анализ

SWOT – представляет собой комплексный анализ научно–исследовательского проекта. SWOT–анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта. После того как сформулированы четыре области SWOT переходят к реализации второго этапа. Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно–исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Интерактивная матрица (таб. 7) помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. 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 «–». В рамках третьего этапа должна быть составлена итоговая матрица SWOT–анализа, которая приводится в бакалаврской работе (табл. 8).

Таблица 7 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	0	–	+	–
	B2	+	+	+	–	–
	B3	+	+	+	+	–
Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	+	+	+	0	–
	У2	+	0	0	–	–
	У3	–	+	–	–	+
Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	–	–	+	0	–
	B2	+	0	+	0	–
	B3	–	–	–	+	+
Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	+	+	+	+	+
	B2	+	0	–	–	+
	B3	–	–	+	–	–

Таблица 8 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Эффективность технологии. 2. Высокие технические характеристики. 3. Более простой метод получения покрытий в сравнении с остальными. 4. Квалифицированный персонал. 5. Наличие бюджетного финансирования. 	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой. 2. Отсутствие компании, которая может наладить крупномасштабное производство. 3. Низкое финансирование; 4. Слабая маркетинговая политика. 5. Сильные конкуренты.
<p>Возможности:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ и ИСЭ РАН. 2. Модернизация материалов хозяйственных товаров, повышение срока службы. 3. Технология может стать передовой из-за низкой стоимости и высокой эффективности. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Улучшение характеристик инструмента с использованием покрытия при малых финансовых затратах. 2. Придание материалам дополнительных свойств при низкой стоимости и эффективности технологии модернизации являются основополагающими для продвижения продукции и повышении его качества. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Увеличение характеристик материала 2. Низкая стоимость и высокая эффективность технологии позволит привлечь к себе большое внимание потенциальных потребителей и увести их от конкурентов

<p>Угрозы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Отсутствие спроса на новые технологии производства. 2. Разработка конкурентами альтернативных технологий. 3. Несвоевременное финансовое обеспечение из бюджета государства. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Изготовленный продукт, имеет основополагающие сильные стороны, для предотвращения угроз. 2. Высокое качество готового продукта и квалифицированные сотрудники позволят поддерживать спрос на технологию. 3. Эффективность технологии и опытный персонал позволят вести разработки в целях улучшения продукта, что предотвратит развитие альтернативных технологий. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Устранение слабой маркетинговой политики поможет решить проблему с поиском потребителей. 2. Повышение технологического пакета позволит решить проблему с поиском потребителей и созданием альтернативных технологий. 3. Привлечение финансовых средств позволит модернизировать и усовершенствовать методику получения и контроля покрытий.
--	---	--

Данные покрытия находятся в стадии разработки и технических исследований. SWOT – анализ показал, что данные покрытия имеют ряд преимуществ и недостатков, которые на данный момент на практике не устранены, но в теории уже есть возможности устранения этих проблем. Также имеются хорошие возможности и сильные стороны проекта, которые в дальнейшем могут быть реализованы и в процессии реализации все негативные стороны проекта будут сведены к минимуму.

4.2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

4.2.1. Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

Для выполнения исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей, таблица 9.

Таблица 9 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Руководитель, студент
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Руководитель, студент
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Студент
	6	Выбор оптимальных параметров для расчёта	Руководитель, студент
	7	Разработка методик для осаждения покрытий	Руководитель, студент
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка правильности полученных результатов	Студент
	9	Обработка полученных результатов	Студент
Оформление отчета по НИР	10	Составление пояснительной записки	Руководитель, студент

4.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ

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 $t_{ожi}$ используется следующая формула: $t_{ожi} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}$, где $t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.–дн.; $t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка), чел.–дн.; $t_{\max i}$ –

максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка), 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 %. $T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}$, где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.; $Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

4.2.3. Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ, таблица 5. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой: $T_{ki} = T_{pi}k_{кал}$, где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях; $k_{кал}$ – коэффициент календарности, T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{247} = 1,47, \text{ где } T_{кал} - \text{ количество календарных дней в}$$

году; $T_{вых}$ – количество выходных дней в году; $T_{пр}$ – количество праздничных дней в году. Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} необходимо округлить до целого числа. Все рассчитанные значения необходимо свести в таблицу 10.

Таблица 10 – Временные показатели проведения научного исследования (Р – научный руководитель; С – студент)

Название работы	Трудоёмкость работ			Исполнители			
	t_{\min} , чел-дни	t_{\max} , чел-дни	$t_{\text{ож}}i$, чел-дни	Длительность в раб. днях, T_{pi}		Длительность работ в календ. днях, T_{ki}	
				Р	С	Р	С
1. Составление и утверждение технического задания	1	3	2	2	–	3	–
2. Выбор направления исследований	1	2	2	1	1	1	1
3. Подбор и изучение материалов по теме	8	12	10	5	5	8	8
4. Календарное планирование работ по теме	2	6	4	4	–	6	–
5. Проведение теоретических расчетов и обоснований	2	5	4	–	4	–	6
6. Выбор оптимальных параметров для расчёта	1	3	2	1	1	1	1
7. Разработка методик для осаждения покрытий	6	12	8	4	4	6	6
8. Оценка правильности полученных результатов	2	7	4	–	4	–	6
9. Обработка полученных результатов	9	16	12	–	12	–	18
10. Составление пояснительной записки	7	12	9	5	5	8	8
Итого				22	36	33	54

На основе таблицы 7 строится календарный график–план. График строится для максимального по длительности выполнения работ в рамках научно–исследовательского проекта (таб. 11) с разбивкой по месяцам и декадам за период времени дипломирования.

Таблица 11 – Календарный план–график проведения НИОКР по теме

№	Вид работ	Т _{к.} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ											
			февраль		март		апрель		май		июнь			
			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
1	Составление и утверждение технического задания	3	■											
2	Выбор направления исследования проводимых в рамках ВКР	1	■											
3	Подбор и изучение материалов по теме	8		■										
4	Календарное планирование работ по теме	6			■									
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	6				■								
6	Выбор оптимальных параметров для расчёта	1					■							
7	Разработка методик для осаждения углеродных покрытий	6					■							
8	Оценка правильности полученных результатов	6						■						
9	Обработка полученных результатов	18							■	■	■	■	■	■
10	Составление пояснительной записки	8											■	■

■ – студент, ■ – руководитель, ■ – совместно.

4.3. Бюджет научно–технического исследования (НТИ)

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

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;

- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

4.3.1. Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расxi}$, где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования; $N_{расxi}$ – 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 и т.д.); k_T – коэффициент, учитывающий транспортно–заготовительные расходы (в пределах 15–25% от стоимости материалов).

Значения цен на материальные ресурсы могут быть установлены по данным, размещенным на соответствующих сайтах в Интернете предприятиями–изготовителями (либо организациями–поставщиками).

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 12.

Отсутствие в таблице разделения на источники финансирования говорит о том, что источник один. Источник финансов в данной работе – ИСЭ СО РАН.

Таблица 12 – Материальные затраты

Наименование	Ед. изм.	Кол–во	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Зм), руб.
Вольфрамовая нить	шт.	6	40,00	288,00
ПФМС	шт.	2	3000,00	7200,00
Фольга	м ²	4	32,00	153,60
Магнетик	шт.	2	10,00	24,00
Итого				7665,6

Из затрат на материальные ресурсы, включаемых в себестоимость продукции, исключается стоимость возвратных отходов.

Под возвратными отходами производства понимаются остатки сырья, материалов и других видов материальных ресурсов, образовавшиеся в процессе производства научно–технической продукции, утратившие

полностью или частично потребительские качества исходного ресурса и в силу этого используемые с повышенными затратами (понижением выхода продукции) или вовсе не используемые по прямому назначению.

4.3.2. Расчет затрат на электроэнергию

Этот вид расходов включает в себя стоимость электроэнергии для эксплуатации оборудования и затраты на электричество, затрачиваемое на освещение. Затраты на электроэнергию при работе оборудования для технологического целей рассчитываются по формуле: $\mathcal{E}_{об} = P_{об} \cdot \mathcal{C} \cdot t_{об}$, где $\mathcal{E}_{об}$ – затраты на электроэнергию, потребляемую оборудованием, руб.; $P_{об}$ – мощность, которая потребляется оборудованием, кВт; \mathcal{C} – тарифная цена за 1 кВт·час (стоимость составляет 5,8 руб.); $t_{об}$ – время работы оборудования, час. Затраты на электроэнергию приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Затраты на электроэнергию

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{об}$, час	Потребляемая мощность $P_{об}$, кВт	Затраты $\mathcal{E}_{об}$, руб.
Компьютер	160	0,3	278,40
Установка плазмохимического осаждения	130	5,5	4147,00
Спектрофотометр СФ–2000	24	3,3	459,36
ИК–Фурье спектрометр Nicolet – 5700	48	3,5	974,40
Итого			5580,76

4.3.3. Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно–измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Затраты на амортизацию оборудования рассчитываются по формуле: $Z_{об} = (\mathcal{C}_{об} \cdot F_{ф}) / (F_{н} \cdot F_{сс})$, где $\mathcal{C}_{об}$ – цена оборудования, р.; $F_{н}$ – номинальный фонд времени (247 рабочих дней ~ 2000 часов), ч.; $F_{сс}$ – срок службы оборудования, год; $F_{ф}$ – фактическое время

занятости оборудования в НИР, ч. Вычисленная амортизация оборудования представлена в таблице 14.

Таблица 14 – Затраты на амортизацию оборудования

№	Наименование оборудования	Ц, р.	F _{сс} , год	F _ф , ч.	Зоб, р.
1	Спектрофотометр СФ–2000	192000,00	10	24	460,80
2	ИК–Фурье спектрометр Nicolet – 5700	2280295,00	14	48	7207,57
3	Установка плазмохимического осаждения	1280000,00	10	130	8320,00
Итого:					15988,37

4.3.4. 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: $Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}$, где $Z_{осн}$ – основная заработная плата; $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12–20 % от $Z_{осн}$).

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя (лаборанта, студента) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле: $Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p$, где T_p – продолжительность работ, выполняемых научно–техническим работником, раб. дн.; $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Для руководителя: $Z_{осн} = 1406 \cdot 22 = 30932,00$ рублей.

Для студента: $Z_{осн} = 969 \cdot 36 = 34884,00$ рублей.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле: $Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}$, где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5–дневная неделя; $F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно–технического персонала, раб. дн. (таблица 15).

Месячный должностной оклад работника: $Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}}(1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}})k_{\text{р}}$, где $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.; $k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{\text{тс}}$); $k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15–20 % от $Z_{\text{тс}}$); $k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).
 Месячная зарплата руководителя – 28000 руб., месячная зарплата студента – 19292 руб. Тогда, для руководителя: $Z_{\text{дн}} = \frac{28000 \cdot 11,2}{223} = 1406$ рублей; для студента: $Z_{\text{дн}} = \frac{19292 \cdot 11,2}{223} = 969$ рублей.

Таблица 15 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней – выходные и – праздничные дни	118	118
Потери рабочего времени – отпуск – невыходы по болезни	24 –	24 –
Действительный годовой фонд раб. времени	223	223

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 16.

Таблица 16 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{м}}$, руб	$Z_{\text{дн}}$, руб.	$T_{\text{р}}$, раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб.	$Z_{\text{зп}}$, руб.
Руководитель	28000,00	1406,00	22	30932,00	37118,40
Студент	19292,00	969,00	36	34884,00	41860,80

4.3.5. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления (таб. 17) 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: $Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп})$, где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.). На 2014 г. размер страховых взносов равен 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212–ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%. $k_{внеб} = k_{пф} + k_c + k_{пн}$, где $k_{пф}$ – коэф. отчисления в пенсионный фонд; k_c – коэф. отчисления страховых взносов; $k_{пн}$ – коэф. отчисления в подоходный налог. Итого $k_{внеб} = 0,271$.

Таблица 17 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Руководитель	Студент
Основная заработная плата, руб.	30932,00	34884,00
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
Сумма отчислений	8382,60	9453,60
Итого	17836,20	

4.3.6. Накладные расходы

Накладные расходы) учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов (таб. 18).

Таблица 18 – Результаты расчета накладных расходов

№	Затраты	Сумма, руб.
1	Электричество	5580,76
2	Амортизация оборудования	15988,37
Итого		21569,13

4.3.7. Формирование бюджета затрат НИП

В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группировались по статьям, представленным в таблице 19.

Таблица 19 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НИИ	7665,60
2. Затраты по основной заработной плате	65816,00
3. Затраты по дополнительной заработной плате	13163,20
4. Отчисления во внебюджетные фонды	17836,20
5. Накладные расходы	21569,13
Итого плановая себестоимость НИИ	126050,13

При планировании научно–исследовательской работы был произведен подсчет бюджета исследования. В процессе формирования бюджета были использованы группировки по материальным затратам (7665,60 руб.), затратам по основной заработной плате исполнителей тем (658164,00 руб.), затратам по дополнительной заработной плате (13163,20 руб.), отчислениям во внебюджетные фонды (17836,20 руб.) и накладным расходам (21569,13 руб.). Всего бюджет составил 126050,13 руб.

5. Социальная ответственность

5.1. Анализ опасных и вредных производственных факторов

Под опасным производственным фактором понимается фактор, воздействие которого на работника может привести к его травме (высота, огонь, электрический ток, движущиеся предметы, взрыв). Вредным производственным фактором является фактор, воздействие которого на работника может привести к его заболеванию (неблагоприятный микроклимат, повышенный уровень шума, вибрации, плохое освещение, неблагоприятный состав воздуха).

При работе на установке ННВ–6 и ПЭВМ на сотрудников могут воздействовать опасные и вредные факторы, приведенные в таблице 21.

Таблица 21. Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	ФАКТОРЫ ГОСТ 12.0.003–74 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа на установке ННВ–6 ИСЭ СО РАН	Шум; высокое напряжение; электромагнитное излучение; повышенное содержание вредных паров и аэрозолей в воздухе рабочей зоны (бензина, этилового спирта и т.д.); повышенная температура деталей после осаждения.	—	НПАОП 28.51–.1.38–91 правила безопасности труда при вакуумном ионно–плазменном осаждении покрытий
	—	Электрический ток	ГОСТ Р 12.1.019–80 ССБТ электробезопасность
Работа на ПЭВМ	Воздействие радиации (ВЧ, УВЧ, СВЧ и т.д.)	—	СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 «Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы»
	—	Пожарная безопасность	Пожаро– и взрывобезопасность промышленных объектов. ГОСТ Р12.1.004–91 ССБТ Пожарная безопасность

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

На инженера, работающего на установке ННВ–6 и ПЭВМ, воздействуют следующие факторы:

1. физические: температура и влажность воздуха, шум, статическое электричество, вредные химические вещества, освещённость. Воздействие электромагнитного излучения было сведено к минимуму, так как при работе на ПЭВМ использовался жидкокристаллический монитор;

2. психофизиологические: физические перегрузки (статические, динамические), нервно–психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

5.2. Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на установке ННВ–6 и ПЭВМ

5.2.1. 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 на рабочем месте ответственным лицом.

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

К работе на установке ННВ–6 допускаются лица не моложе 18 лет, не имеющих медицинских противопоказаний, прошедших вводный инструктаж и инструктаж по безопасности труда на рабочем месте. К самостоятельной

работе допускаются работники после специального обучения и проверки знаний правил электробезопасности, приобретенных навыков и безопасных способов выполнения работы с данной установкой, ознакомленные с инструкцией по эксплуатации прибора и имеющие не менее II группы по электробезопасности.

Повторная проверка знаний норм и правил электробезопасности, правил безопасной работы с химическими веществами проводится с работниками не реже 1 раза в 12 месяцев, повторный инструктаж на рабочем месте – не реже 1 раза в 3 месяца.

Проведение всех видов инструктажа должно оформляться в Журнале регистрации инструктажа установленного образца, с обязательными подписями получившего и проводившего инструктаж, с указанием даты проведения инструктажа, наименования и номеров инструкции на виды работ, по которым проводится инструктаж.

При введении в эксплуатацию нового оборудования сотрудники, которые будут работать на нем, должны пройти внеплановый инструктаж по правилам эксплуатации и безопасной работе на данном оборудовании.

5.2.2. Технические мероприятия

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства, как показано на рисунке 12.

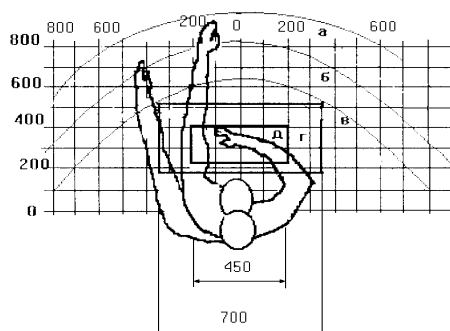


Рисунок 12 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости: а – зона максимальной досягаемости рук; б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в – зона легкой досягаемости ладони; г – оптимальное пространство для грубой ручной работы; д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

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

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

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

5.2.3. Условия безопасной работы

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

Микроклимат

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата приведены в таблице 22.

Таблица 22 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

Период года	Температура, °С		Относительная		Скорость движения	
	оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая
Холодный и переходный	21–23	20–24	45–30	60	0,15	0,20
Тёплый	23–25	20–28	60–30	65	0,20	0,30

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 данном случае, микроклимат в помещении поддерживается: в холодный период года – системой центрального водяного отопления, в теплый период года – системой кондиционирования воздуха. Схема приточно–вытяжной вентиляции показана на рисунке 13.

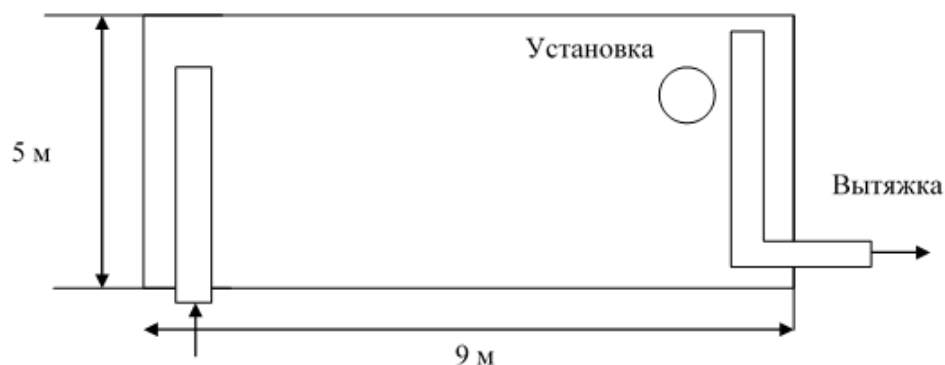


Рисунок 13 – Упрощенная схема вентиляции помещения

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.

Производственный шум

Производственным шумом называется шум на рабочих местах, на участках или на территориях предприятий, который возникает во время производственного процесса. 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.

В соответствии с ГОСТ 12.1.029–80 допустимый уровень шума при работе, требующей сосредоточенности, работе с повышенными требованиями к процессам наблюдения и дистанционного управления производственными циклами на рабочих местах в помещениях лабораторий с шумным оборудованием, составляет 75 дБ. Следовательно, средства и методы защиты от шума должны обеспечивать уровень шума на рабочем месте не выше 75 дБ. Зоны с уровнем звука 80 дБ должны быть обозначены знаками безопасности согласно ГОСТ 12.4.026–76.

Снижение шума, воздействующего на человека на рабочих местах до значений, не превышающих допустимые, достигается применением средств и методов коллективной защиты, применением средств индивидуальной защиты.

Методы и средства коллективной защиты в зависимости от способа реализации подразделяются на строительно–акустические, архитектурно–планировочные и организационно – технические и включают в себя:

- изменение направленности излучения шума;
- рациональную планировку предприятий и производственных помещений;
- применение звукоизоляции (плиты минераловатные).

Работающих в шумоопасных зонах, администрация снабжает средствами индивидуальной защиты, которыми являются специальные наушники, вкладыши в ушную раковину, противозумовые каски, защитное действие которых основано на изоляции и поглощения звука.

Электромагнитные поля

Дисплей ЭВМ является источником электромагнитного излучения.

Напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

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

- в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц – 2,5 В/м.
- Плотность магнитного потока должна быть не более:
- в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц – 250 нТл;
- в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц – 25 нТл.

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

Так же управление установкой характеризуется монотонностью работы и умственным перенапряжением. Нервно–психические перегрузки приводят к переутомляемости, снижению внимания и могут привести к ухудшению здоровья человека. При регулярной непрерывной работе с компьютером могут возникать заболевания органов зрения, сердечно–сосудистой системы и желудочно–кишечного тракта.

Освещенность

Из светотехнических величин важнейшее значение для гигиенического нормирования, расчета и контроля производственного освещения имеют световой поток, освещенность рабочих поверхностей и коэффициент естественной освещенности. Световым потоком называется поток энергии электромагнитного излучения в видимой части спектра (при длине волны 380...760 нм), оцениваемый глазом по световому ощущению. За единицу светового потока принят люмен (лм) – поток, излучаемый точечным источником света силой 1 кандела (кд), помещенным в вершину телесного угла 1 стерadian (ср). Кандела (в переводе «свеча») – одна из основных физических единиц в системе СИ.

Длина помещения $a=9000\text{мм}$, ширина $b=5000\text{мм}$. Выбираем лампу дневного света ЛД, световой поток которой равен $\Phi_{\text{лд}} = 3750 \text{ Лм}$ при мощности 65 Вт. Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОД–2–40. Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 1230 мм, ширина – 266 мм.

План расположения светильников в помещении приведен на рисунке 14.

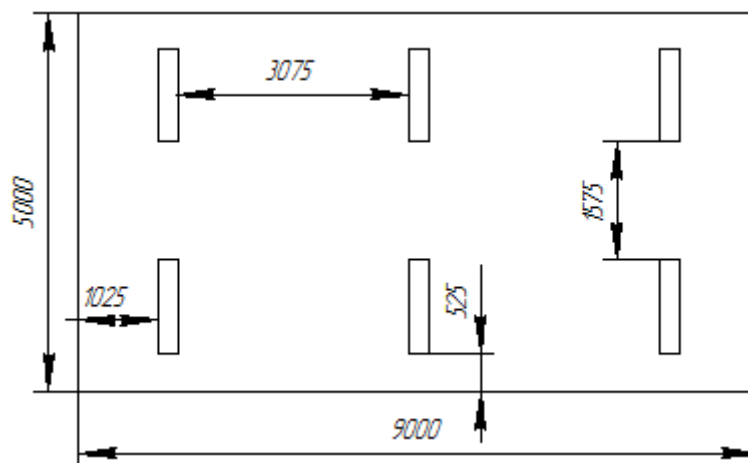


Рисунок 14 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина λ , которая для люминесцентных светильников без защитной решётки типов ОД = 1,4. Принимаем $\lambda=1,4$.

Высота помещения: $H = 3600\text{мм}$. Расстояние светильников от перекрытия: $h_c = 400\text{мм}$. Высота светильника над полом, высота подвеса: $h_{п}=H - h_c = 3600 - 400 = 3200\text{ мм}$. Высота рабочей поверхности над полом: $h_{рп} = 1000\text{мм}$. Расчетная высота, высота светильника над рабочей поверхностью: $h=h_p - h_{рп}=3200 - 1000 = 2200\text{ мм}$

Для двухламповых светильников ОД при одиночной установке или при непрерывных рядах из одиночных светильников в соответствии с требованиями наименьшая допустимая высота подвеса над полом составляет 3,5 м. Рассчитанная величина $h = 2200\text{ мм}$ не соответствует требованиям.

Люминесцентные светильники при равномерном расположении обычно располагаются рядами. Основным критерием оптимального расположения светильников является величина $L = \lambda h$ – самое выгодное расстояние между осветительными приборами, уменьшение которого удорожает устройство и обслуживание освещения, а чрезмерное увеличение ведёт к резкой неравномерности освещённости.

Расстояние L между светильниками определяется как: $L=\lambda \cdot h=1,4 \cdot 2,2=3,08(\text{м})$. Расстояние от крайних светильников до стены:

$l=L/3=2,42/3=1,02$ (м). Количество рядов светильников определим по формуле: по длине $N_A=A/L=9/3,08 \approx 3$, по ширине $N_B=B/L=5/3,08 \approx 2$. Общее число светильников $N= N_A \cdot N_B = 6$, где A , B – длина и ширина помещения, L – расстояние между светильниками.

Для произведения расчёта общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности используется метод коэффициента светового потока, который учитывает световой поток, отражённый от потолка и стен. Световой поток лампы накаливания или группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$\Phi=(E_n \cdot S \cdot K_z \cdot Z / N \cdot n \cdot \eta) \cdot 100$ (лм), где нормируемая освещенность (по СНиП 23–05–95): $E_n = 300$ Лк; площадь освещаемого освещения: $S = 45$ м²; коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, наличие в атмосфере дыма, пыли: $K_z = 1,5$ (помещение с малым выделением пыли); коэффициент неравномерности освещения: $Z=1,1$ (для люминесцентных ламп); N – число ламп в светильнике (шт); n – число светильников (шт); η – коэффициент использования светового потока (%).

Находим индекс помещения $i= S/h(A+B)=45/(2,2 \cdot 14) \approx 1,5$. Тогда коэффициент использования светового потока определяется как $\eta = 0,52$.

Тогда число ламп в помещении $N=(E_n \cdot S \cdot K_z \cdot Z / \Phi_{\text{лм}} \cdot \eta) \cdot 100 = (300 \cdot 45 \cdot 1,5 \cdot 1,1 / 3750 \cdot 52) \cdot 100=11,42$. Расчет искусственного освещения показал, что нужно 12 ламп для освещения, т.е. 6 светильников ОД–2–40.

Для планирования расположения светильников нужно рассчитать расстояние между светильниками и расстояние от светильника до края помещения. Расстояние между светильниками по длине помещения L_a определяется по формуле: $2 \cdot L_a + 3 \cdot 266 + 2 \cdot L_a / 3 = 9000$ мм. Получено $L_a=3075,75$ мм, и $L_a/3=1025,25$ мм. Аналогично расстояние между светильниками по ширине помещения $L_b=1575,75$ мм, и $L_b/3=525,25$ мм.

Проверочный расчет осуществляется по формуле: $-10\% < \frac{\Phi_{\text{расч}} - \Phi_{\text{ламп}}}{\Phi_{\text{расч}}} \cdot 100\% <$

20% . Итоговое значение: $\frac{\Phi_{\text{расч}} - \Phi_{\text{ламп}}}{\Phi_{\text{расч}}} \cdot 100\% = \frac{3570 - 3750}{3570} \cdot 100\% = -5\%$. Данное

значение входит в промежуток $-10\% < -5\% < 20\%$, что означает правильность расчетов.

Промышленная санитария

В работе по осаждению а-С:Н:SiO_x покрытий используется прекурсор ПФМС. Это кремнийорганическая жидкость с химической формулой (CH₃)₃SiO(CH₃C₆H₅SiO)₃Si(CH₃)₃. По степени воздействия на организм человека вредные вещества подразделяются на четыре класса опасности: 1 – вещества чрезвычайно опасные; 2 – вещества высокоопасные; 3 – вещества умеренно опасные; 4 – вещества малоопасные. Используемое в работе вещество ПФМС является безопасным, таким образом имеет класс опасности 4 и не требует специальных средств защиты. Предельно допустимая концентрация (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны – более 10 мг/м³.

5.3. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды

5.3.1. Электробезопасность

Электробезопасность – это система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Помещения по электробезопасности подразделяются на 3 группы:

1. Помещение без повышенной опасности (сухое, хорошо отапливаемое, помещение с токонепроводящими полами, с температурой 18–20°, с влажностью 40–50%).

2. Помещение с повышенной опасностью (где имеется один из следующих признаков: повышенная температура, влажность 70–80%, токопроводящие полы, металлическая пыль, наличие заземления, большого количества оборудования).

3. Помещения особо опасные, в которых имеется наличие двух признаков из второй группы или имеются в помещении едкие или ядовитые взрывоопасные вещества.

Описываемое помещение имеет тип электробезопасности 1 – без повышенной опасности.

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

Характер и последствия поражения зависят от величины, частоты и пути прохождения тока; продолжительности воздействия.

При работе на ПЭВМ существует опасность электропоражения в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта электрических приборов;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- при коротком замыкании.

Работа на установке ННВ–6 предполагает использование высокого напряжения блока питания (до 15 кВ) и напряжения сети 380\220 В, которое может привести к поражению электрическим током. Источником поражения электрическим током могут быть незащищенные и неизолированные электропровода, поврежденные электродвигатели, открытые коммутаторы, не заземленное оборудование и др.

Проходя через живые ткани, электрический ток оказывает термическое, электролитическое и биологическое воздействия. Это приводит к различным нарушениям в организме, вызывая как местное поражение тканей и органов, так и общее поражение организма. Самый опасный – переменный ток частотой 50 – 60 Гц.

Согласно ГОСТ 12.1.019. ССБТ, электробезопасность должна обеспечиваться конструкцией электроустановок, техническими способами и средствами защиты. Электроустановки и их части выполнены таким образом, чтобы работающие не подвергались опасным и вредным воздействиям электрического тока и электромагнитных полей, и соответствовать требованиям электробезопасности.

Электрозщитные средства – это переносимые и перевозимые изделия, служащие для защиты людей, работающих с электроустановками, от поражения электрическим током, от воздействия электрической дуги. Эти средства должны обеспечивать высокую степень защиты и удобство при эксплуатации. Их выбирают с учетом требований безопасности для данного вида работ. В первую очередь безопасность обеспечивается применением средств коллективной защиты, а затем, если она не может быть обеспечена, применяют средства индивидуальной защиты.

К средствам коллективной защиты от поражения электрическим током относятся: оградительные устройства, которые могут быть стационарными и переносимыми. Ограждения могут быть сблокированы с устройствами, отключающими рабочее напряжение при снятии; изолирующие устройства и покрытия; устройства защитного заземления, зануления и защитного отключения; устройства дистанционного управления; предохранительные устройства и др.

Также индивидуальные защитные средства подразделяются на основные и дополнительные. К основным защитным изолирующим средствам относятся изолирующие штанги, изолирующие клещи и электроизмерительные указатели напряжения, диэлектрические перчатки, слесарно–монтажный

инструмент с изолирующими рукоятками. К дополнительным изолирующим защитным средствам относятся средства, которые дополняют основные, а также могут служить для защиты от напряжения прикосновения и шагового напряжения. Дополнительными защитными средствами служат диэлектрические галоши, диэлектрические коврики, изолирующие подставки.

Для обеспечения электробезопасности обслуживающего персонала необходимо предусмотреть:

- защитное заземление всех металлических нетоковедущих частей электрооборудования $R_3 \leq 4$ Ом, безопасное значение напряжения до 36В, а тока – 0,1 А;
- раздельное размещение аппаратуры с напряжением до 1000 В и выше;
- ограждение электронного источника, исключающее возможность прикосновения к токоведущим частям;
- полное ограждение от прикосновения к аппаратуре с напряжением выше 1000 В;
- отключение всех источников питания установки общим рубильником.

5.3.2. Пожарная и взрывная безопасность

По пожарной и взрывопожарной опасности помещения независимо от их функционального назначения подразделяются на следующие категории:

- 1) повышенная взрывопожароопасность (А);
- 2) взрывопожароопасность (Б);
- 3) пожароопасность (В1 – В4);
- 4) умеренная пожароопасность (Г);
- 5) пониженная пожароопасность (Д).

Помещение, в котором выполняется данная работа, по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В3, т.е. горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых они находятся, не относятся к

категории А или Б. Помещение, в котором находится установка, находится на первом этаже и оснащено аварийными выходами, обеспечено средствами пожаротушения, сигнализацией оповещения пожара. На рисунке 15 представлен план эвакуации лаборатории 01, где находится установка «ННВ–6». По плану видны основные эвакуационные выходы и огнетушители.

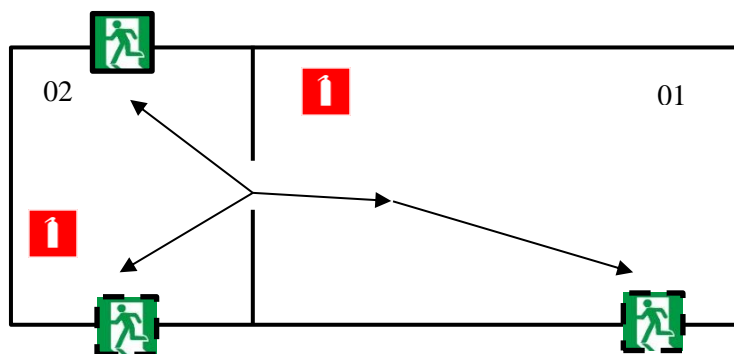


Рисунок 15 – План эвакуации рабочих помещений

Назначения и виды огнетушителей можно понять, расшифровав пиктограммы на наклейке. Общая пиктограмма выглядит следующим образом: X (y) – P (t) – Z – S, где:

X – это марка огнетушителя, например, ОУ, ОП, и т.д.;

y – это вид струи (относится только к водным и воздушно–пенным огнетушителям);

P – это масса заряда внутри баллона в кг;

t – принцип создания давления внутри корпуса, например (з) – закачной;

Z – это классы пожара, с которыми может справиться данная марка устройства;

S – дополнительные сведения об огнетушителе.

В зависимости от класса возможного возгорания огнетушители делятся на предотвращающие разные классы пожара:

- класс А – возгорание твердых горючих веществ;
- класс В – возгорание жидких горючих веществ;
- класс С – возгорание газообразных горючих веществ;
- класс Д – возгорание металлов и веществ, в состав которые они входят;

- класс Е – возгорание электроустановок, которые находятся под напряжением.

В лаборатории расположены огнетушители порошковые ОП–4(з)–АВСЕ (огнетушитель порошковый закачной с массой огнетушащего вещества 4кг, предназначенный для тушения твердых, жидких и газообразных веществ и электроустановок до 1000 вольт).

Возможные причины загорания:

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

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

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

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

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

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

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

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

Сообщить руководству (дежурному);

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

Принять меры по ликвидации аварии в соответствии с инструкцией.

5.4. Чрезвычайные ситуации

Чрезвычайная ситуация – обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Рассмотрим две наиболее типичных чрезвычайных ситуации, которые могут произойти в здании, где была разработана бакалаврская работа.

Первый случай: остановка производства в результате сильных морозов.

Меры по предупреждению ЧС:

1. Повышение устойчивости системы электроснабжения. В первую очередь целесообразно заменить воздушные линии электропередач на кабельные (подземные) сети, использовать резервные сети для запитки потребителей, предусмотреть автономные резервные источники электропитания объекта (передвижные электрогенераторы).

2. Обеспечение устойчивости теплоснабжения за счет запасных автономных источников теплоснабжения, кольцевания системы, заглубления теплотрасс.

3. Обеспечение устойчивости систем водоснабжения (устройство дублирования водопитания, кольцевание системы, заглубление водопроводов, обустройство резервных емкостей и водохранилищ, очистка воды от вредных веществ и т.п.).

4. Обеспечение устойчивости системы водоотведения. Повышение устойчивости системы канализации достигается созданием резервной сети труб, по которым может отводиться загрязненная вода при аварии основной сети.

5. Обеспечение устойчивости транспорта заключается в организованном сборе и развозе рабочих на служебном транспорте. В случае аварии на дороге доставка рабочих осуществляется по объездным маршрутам.

Второй случай: проникновение посторонних лиц. Для обеспечения безопасности работника и предотвращения проникновения посторонних лиц на предприятие следует использовать ряд мер безопасности:

1. Организовать контрольно–пропускной пункт.
2. Нанять охрану для обхода здания.
3. Установить системы видеонаблюдения в производственных цехах, а также на всех входах и выходах из здания.
4. Установить оповещающие системы безопасности при несанкционированном проникновении на предприятие в нерабочее время.

5.5. Перечень нормативных документов

Опасность поражения электрическим током:

1. ГОСТ 12.1.019. ССБТ «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты». Настоящий стандарт относится к группе стандартов, регламентирующих требования электробезопасности электроустановок производственного и бытового назначения на стадиях проектирования, изготовления, монтажа, наладки, испытаний и эксплуатации.
2. ГОСТ 12.1.045–84. ССБТ «Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля». Настоящий стандарт распространяется на электростатические поля, создаваемые при эксплуатации электроустановок высокого напряжения постоянного тока и электризации диэлектрических материалов и устанавливает допустимые уровни напряженности электростатических полей на рабочих местах персонала, а также общие требования к проведению контроля и средствам защиты.

Микроклимат:

1. ГОСТ 12.1.005 ССБТ. «Общие санитарно–гигиенические требования к воздуху рабочей зоны». Настоящий стандарт распространяется на воздух рабочей зоны предприятий народного хозяйства. Стандарт устанавливает общие санитарно–гигиенические требования к показателям микроклимата и допустимому содержанию вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

Требования к допустимому содержанию вредных веществ в воздухе рабочей зоны распространяются на рабочие места независимо от их расположения.

2. СанПиН 2.2.4.548–96. «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений». Настоящие санитарные правила предназначены для предотвращения неблагоприятного воздействия микроклимата рабочих мест, производственных помещений на самочувствие, функциональное состояние, работоспособность и здоровье человека.

3. ГОСТ 30494–2011. «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях». Настоящий стандарт устанавливает параметры микроклимата обслуживаемой зоны помещений жилых (в том числе общежитий), детских дошкольных учреждений, общественных, административных и бытовых зданий, а также качества воздуха в обслуживаемой зоне указанных помещений и устанавливает общие требования к оптимальным и допустимым показателям микроклимата и качеству воздуха.

Шум:

1. ГОСТ 12.1.003 – 83 ССБТ. «Шум. Общие требования безопасности». Стандарт устанавливает классификацию шума, характеристики и допустимые уровни шума на рабочих местах, общие требования к защите от шума на рабочих местах, шумовым характеристикам машин, механизмов, средств транспорта и другого оборудования и измерениям шума.

2. ГОСТ 12.4.026–76 ССБТ «Цвета сигнальные и знаки безопасности». Настоящий стандарт распространяется на сигнальные цвета и знаки безопасности для всех отраслей народного хозяйства и устанавливает назначение, характеристики и порядок применения сигнальных цветов, а также форму, размеры, цвета и порядок применения знаков безопасности.

3. СНиП П–12–77. «Защита от шума». Настоящие нормы и правила должны соблюдаться при проектировании защиты от шума для обеспечения допустимых уровней звукового давления и уровней звука в помещениях на рабочих местах в производственных и вспомогательных зданиях и на площадках промышленных предприятий, в помещениях жилых и общественных зданий, а также на селитебной территории городов и других поселений.

Пожарная безопасность:

1. ГОСТ 12.1.004–91 ССБТ «Пожарная безопасность. Общие требования». Настоящий стандарт устанавливает общие требования пожарной безопасности к объектам защиты различного назначения на всех стадиях их жизненного цикла: исследование, разработка нормативных документов, конструирование, проектирование, изготовление, строительство, выполнение услуг (работ), испытание, закупка продукции по импорту, продажа продукции (в том числе на экспорт), хранение, транспортирование, установка, монтаж, наладка, техническое обслуживание, ремонт (реконструкция), эксплуатация (применение) и утилизация.

Заключение

В результате исследований, проведенных в рамках выполнения ВКР, были исследованы зависимости пропускной способности, ширины запрещенной зоны, края поглощения и энергии Урбаха от параметров осаждения, в частности от рабочего давления аргона и амплитуды отрицательного биполярного напряжения смещения.

- 1) Установлено, что при увеличении p_{Ar} происходит увеличение энергии Урбаха с 547 до 634 мэВ, что свидетельствует о разупорядоченности структуры. Также при изменении данного параметра интегральная прозрачность в видимом диапазоне длин волн 380–780 нм почти не меняется и составляет $> 85\%$.
- 2) При повышении U_{bias} интегральная прозрачность в видимом диапазоне длин волн 380–780 нм и ширина запрещенной зоны снижаются с 87 до 69% и с 2.6 до 2.3 эВ, соответственно, а критическая длина волны и энергия Урбаха увеличиваются с 477 до 537 нм и с 547 до 730 мэВ, соответственно.
- 3) Осаждение а–С:Н:SiO_x плёнки обеспечивает повышение прозрачности кремния в диапазоне 3–5 мкм с 50% до 90 % при толщине покрытия 450 ± 30 нм и параметрах осаждения $U_{bias}=500$ В, $p_{Ar} = 0.1$ Па, $B = 3$ Гс

Таким образом, получены а–С:Н:SiO_x плёнки с высокими оптическими параметрами, которые могут использоваться в качестве защитных просветляющих покрытий для оптических приборов.

Список литературы

1. Yuto S. Tanaka Diamond-like carbon films. – New York: NOVA Science, 2011.
2. Lettington A.H. / Applications of diamond-like carbon thin films // Phil. Trans. Roy. Soc. London. – 1993. – V. 342, 287 – 296.
3. Robertson J. Deposition of diamond-like carbon. // Phil. Trans. Roy. Soc. London. – 1993. – V. 342, 277 – 286.
4. Лобанов М. Л., Защитные покрытия: учебное пособие / М. Л. Лобанов, Н. И. Кардолина, Н. Г. Россина, А. С. Юровских; [науч. ред. Ю. Г. Эйсмондт]. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 200 с.
5. Коншина Е.А. Аморфный гидрогенизированный углерод и его применение в оптических устройствах - Санкт-Петербург: СПбГУ ИТМО, 2010. - 94 с.
6. Хомченко Г.П. Химия для поступающих в вузы [Текст]: учеб. пособие / Г. П. Хомченко. - М.: Высш. шк., 1985. - 367 с.
7. Kržan, B. Tribological behavior of tungsten-doped DLC coating under oil lubrication. Tribology International, 2009. 42 (2): 229–235.
8. Evtukh, A.A. Silicon doped diamond-like carbon films as a coating for improvement of electron field emission. Proceedings of the 14th International Vacuum Microelectronics Conference, 2001: 295.
9. Robertson J. Diamond-like amorphous carbon // Materials Science and Engineering. – 2002. – 37. – P.129-281.
10. S. Neuville, New Application Perspective for Tetrahedral Amorphous Carbon Coatings QScience Connect 2014:8.
11. McKenzie D. R. Tetrahedral bonding in amorphous carbon // Rep. Prog. Phys. – 1996. – 59(12). – P.1611-1664.
12. Тарала В. А. Физические принципы осаждения из газовой фазы аморфных, нанокристаллических и микрокристаллических пленок алмазоподобного углерода и карбида кремния: автореф. дис. д-ра физ.-мат. наук: 01.04.07/ Тарала Виталий Алексеевич; Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова. - Нальчик, 2013. - 39 с.: ил.- Библиогр.: с. 35-39.

13. Свечников Н. Ю. Углеродородные пленки в термоядерных установках: структура и свойства: автореферат дис. доктора физико-математических наук: 01.04.07 / Свечников Николай Юрьевич; Нац. исслед. центр "Курчатовский институт". - Москва, 2017. - 40 с.
14. Гусев А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. – М.: Наука-Физматлит, 2007. – 416 с.
15. Криосистемы. Оборудование для микро и наноэлектроники [Электронный ресурс]: сайт компании производителя — Электрон. текстовые дан. – Москва, 2015. – Режим доступа: <http://www.cryosystems-mve.ru/lm/equipment/t-o/cvd/>
16. Третьяков А.Ф., Тарасенко Л.В. Материаловедение и технология обработки материалов – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 541 с
17. Randeniya, L.; Bendavid, A.; Martin, P. J.; Amin, M. S.; Preston, E. W. Molecular structure of SiO_x-incorporated diamond-like carbon films; evidence for phase segregation. *Diamond and Related Materials*. 2009; 18(9):1167-1173
18. Кривобоков В.П. Плазменные покрытия (методы и оборудование): учебное пособие / В.П. Кривобоков, Н.С. Сочугов, А.А. Соловьёв. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 104 с.
19. Афанасьев В. П. Тонкопленочные солнечные элементы на основе кремния / Е. И. Теруков, А. А. Шерченков. – 2-е изд. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011. 168 с.
20. Batory D., Jędrzejczak A., Kaczorowski W., Szymanski W., Kolodziejczyk L., Clara M., Niedzielski P.: Influence of the process parameters on the characteristics of silicon incorporated a-C:H:SiO_x coatings. *Surf. Coat. Tech.* 271 (2015) 112–118
21. Batory D., Jędrzejczak A., Szymanski W., Niedzielski P., Fijałkowski M., Louda P., Kotela I., Hromádka M., Musil J. Mechanical characterization of a-C:H:SiO_x coatings synthesized using radio-frequency plasma-assisted chemical vapor deposition method. *Thin Solid Films* 590 (2015) 299–305

22. Tamuleviciene A. Carrier gas and ion beam parameter effects on the structure and properties of a-C:H/SiO_x films deposited employing closed drift ion beam source / Nucl Instrum Methods Phys Res B. – 2012, 116–120
23. Спектрофотометр СФ–2000. Руководство по эксплуатации
24. Юраков Ю.А. Исследование пористого кремния методом инфракрасной спектроскопии / Ю.А. Юраков, А.С. Леньшин, П.В. Середин. – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2014. – 13 с. – 13 с.
25. Позняк А.А., В.А. Полубок, Стрелюхин А.В. Методическое пособие по курсу «Физико-химические основы микроэлектроники, конструирования и технологии РЭС И ЭВС». – Мн.: БГУИР, 2002, – 47 с.
26. Федорова В.Н. Медицинская и биологическая физика. Курс лекций с задачами: учеб. пособие / В.Н. Федорова, Е.В. Фаустов. - 2008. - 592 с.
27. Nordell B.J., Karki S., Nguyen T.D. et al / The influence of hydrogen on the chemical, mechanical, optical/electronic, and electrical transport properties of amorphous hydrogenated boron carbide // Journal of Applied Physics. – 2015. – V. 118. – P. 035703-1 – 0.35703-16.
28. Васин А.В Анализ края фундаментального поглощения в пленках аморфного гидрогенизированного углерода. А.В. Васин, Л.А. Матвеева, А.М. Куцай. Письма в ЖТФ, Vol: 25, No: 24, 1999.
29. Ahmed Sk.F., Banerjee D., Chattopadhyay / The influence of fluorine doping on the optical properties of diamond-like carbon films // Vacuum. – 2010. – V. 84. – P. 837-842.
30. Джалилов Н.З. Поглощение и спектры оптических параметров в аморфных твердых растворах системы Se–S / Н.З. Джалилов, Г.М. Дамиров //Физика и техника полупроводников. – Киев, 2011, том 45, вып. 4. – 83 – 87.
31. Hassanien A.S. and Alaa A. Akl / Influence of composition on optical and dispersion parameters of thermally evaporated non-crystalline Cd₅₀S_{50-x}Se_x thin films //Journal of Alloys and Compounds. – 2015. – V. 648. – P. 280-290.

32. Ikhmayies S.J., Ahmad-Bitar R.N. / A study of the optical bandgap energy and Urbach tail of spray-deposited CdS: In thin films // Journal of Materials Research and Technology. – 2013. – V. 2(3). – P. 221-227.
33. Manal Abdel-Baki, Fathy A. Abdel-Wahab, and Fouad El-Diasty / One-photon band gap engineering of borate glass doped with ZnO for photonics applications // Journal of Applied Physics. – 2012. – V. 111. – P. 073506-1 – 073506-10.
34. Khan S.A., Al-Hazmi F.S., Al-Heniti S., Faidah A.S., Al-Ghamdi A.A. / Effect of cadmium addition on the optical constants of thermally evaporated amorphous Se–S–Cd thin films // Current Applied Physics. – 2010. – V. 10. – P. 145-152.
35. Chaudhari J.B., Deshpande N.G., Gudage Y.G., Ghosh A., Huse V.B., Sharma R. / Studies on growth and characterization of ternary CdS_{1-x}Se_x alloy thin films deposited by chemical bath deposition technique // Appl. Surf. Sci. – 2008. – V. 254. – P. 6810-6816.
36. Abdel-latif A.Y., Mahfoz Kotb H., Hafiz M.M., Dabban M.A. / Influence of heat treatment on the structural, optical and electrical properties of Cd₂₀Sn₁₀Se₇₀ thin films // Materials Science in Semiconductor Processing. – 2015. – V. 30. – P. 502-512.
37. Физика гидрогенизированного аморфного кремния: Вып. II / Под. ред. Дж. Джоунопулуса, Дж. Люковски. М.: Мир, 1988. 447 с. 27.
38. Меден, Шо. М. Физика и применение аморфных полупроводников. М.: Мир, 1991. 669 с.
39. Аморфный кремний и родственные материалы / Под ред. Х. Фрицше. М.: Мир, 1991. 544 с.
40. Неупорядоченные полупроводники / А. А. Айвазов, Б. Г. Будагян, С. П. Вихров, А. И. Попов. М.: Высш. шк., 1995. 352 с.
41. Мотт Н., Дэвис Э. Электронные процессы в некристаллических веществах: В 2 т. М.: Мир, 1982. 662 с.
42. Кононюк А. Е. Основы фундаментальной теории искусственного интеллекта. - 2017.