

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



Институт Физико-технический
Направление подготовки (специальность) 03.03.02 Физика
Кафедра общей физики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
ОСАЖДЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЛЁНОК Si ₃ N ₄ С ПОМОЩЬЮ ПЛАЗМЫ МАГНЕТРОННОГО РАЗРЯДА

УДК 539.23:661.68.065:621.385.64:533.9

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б31	Петраков Юрий Вячеславович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
зав. лаб.	Юрьев Ю.Н.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Федорчук Ю.М.	доктор тех.наук		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОФ	Лидер А.М.	к.ф.-м.н., профессор		

Томск – 2017 г.

Планируемые результаты обучения
по основной образовательной программе высшего профессионального
образования, направление подготовки 03.03.02 Физика,
квалификация - бакалавр

Код результата	Результат обучения (компетенции выпускника)
<i>Общекультурные (универсальные) компетенции</i>	
Р1	Способен самостоятельно приобретать новые знания, использовать современные образовательные и информационные технологии, совершенствовать и развивать свой профессиональный уровень, поддерживать здоровый образ жизни
Р2	Способен к поиску, обработке и интерпретации с использованием современных информационных технологий данных, необходимых для формирования суждений по соответствующим социальным, научным и этическим проблемам как в коллективе, так и индивидуально (на родном и иностранном языке)
Р3	Способен 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 инженерной деятельности
<i>Профессиональные компетенции</i>	
Р4	Способен к овладению и применению базовых знаний в области естественных наук и математики для решения профессиональных задач, к усвоению основных педагогических моделей, форм и приемов педагогического воздействия на личность; закономерностей педагогического
Р5	Способен применить в проектах по тематике, заданной заинтересованными организациями, экспериментальные методы исследования конденсированного состояния вещества, методы анализа поверхности твердых тел и тонких пленок
Р6	Способен применить в проектах по тематике, заданной заинтересованными организациями, современную электронику в электрофизических и плазменных установках, а также учесть взаимодействие излучения и плазмы с веществом, современные достижения водородной энергетики и плазменных технологий

P7	Способен применить в проектах по тематике, заданной заинтересованными организациями, базовые естественнонаучные и математические знания при получении и исследовании наноматериалов
P8	Способен понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, к применению на практике полученных знаний при обработке, анализе и синтезе полученных физических данных в соответствии с профилем профессиональной деятельности
P9	Способен понимать и использовать на практике теоретические основы планирования и организации физических исследований, представлять результаты и применять на практике методы управления в сфере природопользования
P10	Способен формировать суждения о значении и последствиях своей профессиональной деятельности с учетом социальных, правовых, этических и природоохранных аспектов, при необходимости применить ресурсо- и энергосберегающие технологии

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



Институт Физико-технический
 Направление подготовки (специальность) 03.03.02 Физика
 Кафедра общей физики

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой
 _____ Лидер А.М.
 (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
ОБ31	Петракову Юрию Вячеславовичу

Тема работы:

Осаждение диэлектрических плёнок Si ₃ N ₄ с помощью плазмы магнетронного разряда
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <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>	<p>Объектом исследования являются диэлектрические плёнки нитрида кремния, полученные с помощью МРС, и режимы, обеспечивающие стехиометрический состав этих покрытий.</p>
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Обзор литературы по разделам: нитрид кремния, свойства и получение; физические способы получения барьерных покрытий; методы исследования свойств покрытий: ИК - спектроскопия, показатель преломления, морфология поверхности.</p> <p>Описание экспериментального оборудования, с помощью которого были получены и исследованы покрытия.</p> <p>Целью работы является определение параметров магнетронного осаждения, обеспечивающие получение стехиометрических плёнок Si₃N₄. В результате исследования были определены режимы нанесения диэлектрических покрытий Si₃N₄ с составом близким к стехиометрии. Было показано, что источник питания влияет на свойства получаемых покрытий.</p>
--	---

<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
--	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Литературный обзор	Юрьев Ю.Н., зав. лаб. каф. ВЭПТ ТПУ
Экспериментальная часть	Юрьев Ю.Н., зав. лаб. каф. ВЭПТ ТПУ
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Меньшикова Е.В., доцент каф. МЕН ФТИ ТПУ
Социальная ответственность	Федорчук Ю.М., профессор каф. ЭБЖ ИНК ТПУ
Иностранный язык	Кабрышева О.П., ст. преп. каф. ИЯ ФТИ ТПУ
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Свойства и получение плёнок нитрида кремния 2. Описание экспериментального оборудования и методик исследования свойств покрытий 3. Осаждение и исследование диэлектрических плёнок нитрида кремния 4. The deposition and study of dielectric films of silicon nitride

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
зав. лаб.	Юрьев Ю.Н.	К.Т.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б31	Петраков Юрий Вячеславович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа ОБ31	ФИО Петракову Юрию Вячеславовичу
----------------	-------------------------------------

Институт	ФТИ	Кафедра	ОФ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	03.03.02 Физика

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. <i>Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – <i>вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)</i> – <i>опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)</i> – <i>негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)</i> – <i>чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)</i> 	<p>В рабочей зоне располагается ионно-плазменная установка для нанесения тонкопленочных покрытий и ЭВМ для управления установкой.</p> <p>-возможные вредные факторы: метеоусловия, воздухообмен, выделение вредных паров в атмосферу, освещение, сильные шумы от насосов, воздействие электромагнитных полей от ЭВМ;</p> <p>- к опасным факторам можно отнести: соприкосновение с механическими подвижными частями, соприкосновение с термически опасными местами установки, вероятность поражения электрическим током, вероятность возникновения пожара и взрыва при неправильном обращении с баллонами;</p> <p>-возможные ЧС техногенного и социального характера такие как: поломка установки, электрическое и термическое воздействие на человека и т.д.</p>
<p>2. <i>Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</i></p>	<p>-электробезопасность;</p> <p>-пожаровзрывоопасность;</p> <p>-микроклимат;</p> <p>-обращение с газовыми баллонами;</p> <p>-действие высокой температуры и химических веществ.</p>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. <i>Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – <i>физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</i> – <i>действие фактора на организм человека;</i> – <i>приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</i> – <i>предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные</i> 	<p>-в процессе работы на человека могут действовать такие факторы как: микроклимат, освещение, выделение вредных паров в атмосферу из работающих насосов.</p> <p>-для обеспечения безопасности разработаны меры и нормы обеспечения безопасных условий работы согласно нормативным документам.</p> <p>-предлагаемые средства защиты: ограниченное</p>
--	---

защитные средства)	пребывание в помещении, проветривание помещения, использование средств защиты.
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности – 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)	- к механическим опасностям можно отнести подвижные части установки, которые отгорожены защитными барьерами; - термической опасностью является нагретые части диффузионного насоса, для защиты от которого применяются барьеры; - для электробезопасности применяют заземление; - для пожаровзрывобезопасности разработаны план помещения, развешаны огнетушители, действует система оповещения о пожаре.
3. Защита в чрезвычайных ситуациях: – 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	-возможные ЧС на объекте: поражение электрическим током, ожоги, пожар, поломка установки. -наиболее типичное ЧС – поражение электрическим током. -перед допуском к работе с установкой проводится экзаменовка по электробезопасности и первой помощи при поражении электрическим током.
4. Практическая часть:	- определение микроклимата в рабочем помещении для комфортной и безопасной для здоровья работы; -расчет воздухообмена помещения.
Перечень графического материала:	
<i>При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)</i>	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Федорчук Ю.М.	доктор тех.наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б31	Петраков Юрий Вячеславович		

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

Студенту:

Группа	ФИО
0Б31	Петракову Юрию Вячеславовичу

Институт	ФТИ	Кафедра	ЭФ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	03.03.02 Физика

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i></p> <p>2. <i>Определение возможных альтернатив проведения научных исследований</i></p>	<p>1. Потенциальные потребители результатов исследования</p> <p>2. Анализ конкурентных технических решений</p> <p>3. SWOT-анализ.</p>
<p>3. <i>Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски.</i></p>	<p>Формирование бюджета на научное исследование производится из энергетических затрат, затрат на сырье, зарплата работников лаборатории, затрат на исследование полученных образцов, различные социальные нужды, отчисления и непредвиденные обстоятельства.</p>
<p>4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности.</i></p>	<p>Определение ресурсоэффективности производится в сравнении с конкурентами в данной области. Определение эффективности происходит на основании расчета</p>

	интегрального показателя эффективности научного исследования, что связано с определением финансовой эффективности и ресурсоэффективности.
--	---

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)</i> 2. <i>Матрица SWOT</i> 3. <i>Оценка готовности проекта к коммерциализации</i> 4. <i>Календарный план-графики бюджет НИИ</i> 5. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ</i> 6. <i>Сравнительная эффективность разработки</i>
--

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Меньшикова Екатерина Валентиновна	к.ф.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б31	Петраков Юрий Вячеславович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 104 страницы текста, 16 рисунков, 21 таблиц, 41 литературных источников, 1 приложение на английском языке и 3 справочных приложения.

Ключевые слова: планарный магнетрон, магнетронная распылительная система (MPC), нитрид кремния (Si_3N_4), концентрация связей, показатель преломления, морфология покрытия, ИК-Фурье спектроскопия.

Объектом исследования являются диэлектрические плёнки нитрида кремния, полученные с помощью MPC, и режимы, обеспечивающие стехиометрический состав этих покрытий.

Целью работы является определение параметров магнетронного осаждения, обеспечивающие получение стехиометрических плёнок Si_3N_4 .

В процессе исследования проводились: получение покрытий с помощью MPC, определение толщины и скорости осаждения плёнок Si_3N_4 , изучение морфологии поверхности, определение показателя преломления и концентрации связей Si-N, влияние источника питания MPC на свойства покрытия нитрида кремния.

В результате исследования были определены режимы нанесения диэлектрических покрытий Si_3N_4 с составом близким к стехиометрии. Было показано, что источник питания влияет на свойства получаемых покрытий.

Область применения: диэлектрические слои тонкоплёночных МДМ-конденсаторов интегральных микросхем в микроэлектронной промышленности.

СОДЕРЖАНИЕ

I. СВОЙСТВА И ПОЛУЧЕНИЕ ПЛЁНОК НИТРИДА КРЕМНИЯ.....	17
1.1. Свойства тонких плёнок нитрида кремния.....	17
1.2. Способы получения тонких плёнок нитрида кремния.....	18
1.2.1. Химическое осаждение из газовой фазы.....	18
1.2.2. Атмосферное химическое парофазное осаждение.....	20
1.2.3. Стимулированное индуктивно-связанной плазмой химическое осаждение из газовой фазы.....	22
1.2.4. Магнетронное распыление.....	24
II. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И МЕТОДИК ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ.....	29
2.1 Экспериментальная установка.....	29
2.2 Определение постоянной преломления.....	35
2.3 Определение концентрации связей Si-N с помощью ИК-Фурье спектрометрии.....	35
2.4 Исследование морфологии покрытия.....	40
III. ОСАЖДЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЛЁНОК НИТРИДА КРЕМНИЯ.....	42
3.1 Исследование зависимости скорости осаждения от скорости потока азота в рабочую камеру.....	42
3.2 Исследование зависимости показателя преломления кремния от потока азота.....	43
3.3 Качественный и количественный анализы ИК-спектров плёнок нитрида кремния.....	45
3.4 Морфология поверхности.....	48

IV. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	50
4.1 Экологичность проекта.....	51
4.2 Определение параметров микроклимата рабочего помещения.....	51
4.3 Расчет освещенности рабочей зоны.....	52
4.4 Техногенная безопасность.....	56
4.4.1 Микроклимат.....	56
4.4.2 Повышенный уровень шума на рабочем месте.....	57
4.4.3 Повышенный уровень воздействия электромагнитного излучения, умственное перенапряжение и монотонность труда.....	58
4.4.4 Высокие температуры отдельных частей установки.....	60
4.4.5 Электробезопасность.....	60
4.4.6 Химическая безопасность.....	64
4.4.7 Сосуды, находящиеся под высоким давлением.....	65
4.5 Пожаро – взрывоопасность.....	66
4.6 Охрана окружающей среды.....	68
4.7 Особенности законодательного регулирования проектных решений	69
4.8 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	70
V. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	72
5.1. Предпроектный анализ.....	72
5.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	73
5.3. SWOT-анализ.....	75
5.4. План проекта.....	78
5.5 Бюджет научного исследования.....	82

5.6	Оценка сравнительной эффективности исследования.....	87
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	94
	Приложение А.....	99
	Приложение Б.....	113
	Приложение В.....	114
	Приложение Г.....	114

Введение

Актуальность темы исследования

Использование высокотемпературных процессов для синтеза диэлектрических слоёв, используемых в микроэлектронике, приводит к генерации и развитию структурных дефектов в полупроводниках, термической деформации подложек, перераспределению примесей в структурах. Это неизбежно снижает выход годных приборов. Исходя из этого, в настоящее время актуальной задачей является получение диэлектрических плёнок различного функционального назначения с помощью низкотемпературных методов.

Одним из таких материалов, широко применяемых в микроэлектронной промышленности, являются плёнки нитрида кремния, которые обладают превосходными свойствами:

- высокая диффузионная стойкость;
- хорошие изолирующие и диэлектрические свойства;
- повышенная химическая стойкость в агрессивных газовых средах;
- высокая термическая стабильность [1].

Описанные выше характеристики обеспечили широкое использование диэлектрических плёнок нитрида кремния в качестве пассивирующего покрытия, подзатворного диэлектрика в МДП-транзисторах, диэлектрического слоя в МДМ-конденсаторах, а также для образования масок при окислении и т.д. [1-3].

В настоящее время существует множество различных технологий осаждения плёнок нитрида кремния. Наибольшее распространение среди них получили так называемые плазмохимические методы. Однако, они обладают рядом недостатков: относительно высокая (до 300 градусов Цельсия) температура синтеза, а также использование вредных и опасных химических реагентов, которые требуют дорогостоящей системы контроля и утилизации отходов производства.

В этой связи, перспективным методом получения плёнок Si_3N_4 может стать использование магнетронных распылительных систем (MPC), которые позволяют получать покрытия без использования опасных реагентов в виде силана и аммиака, а также обеспечивают достижение высоких функциональных характеристик при значительных скоростях осаждения. Однако, свойства нитрида кремния, могут изменяться в широком диапазоне в зависимости от их состава и структуры, что требует предварительной отработки технологических режимов, обеспечивающих стехиометрию состава, отсутствие структурных дефектов, высокую диэлектрическую постоянную и т.д.

Таким образом, **целью работы** является определение параметров магнетронного осаждения, обеспечивающие получение стехиометрических плёнок Si_3N_4 .

Решаемые задачи:

- 1) определение скорости осаждения Si_3N_4 в зависимости от потока азота при использовании различных источников питания MPC;
- 2) измерение показателя преломления плёнок Si_3N_4 ;
- 3) измерение ИК-Фурье спектров покрытий и определение концентрации связей Si-N;

4) исследование морфологии поверхности плёнок с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ).

I. СВОЙСТВА И ПОЛУЧЕНИЕ ПЛЁНОК НИТРИДА КРЕМНИЯ

1.1. Свойства тонких плёнок нитрида кремния

Диэлектрические плёнки нитрида кремния обладают комплексом уникальных физических, химических и механических свойств. Данное соединение находит все более широкое применение в производстве полупроводниковых приборов и интегральных микросхем для защиты поверхности кремниевой, арсенид галлиевой подложек при проведении процессов локальной диффузии, локального окисления, локального травления, а также для защиты готовых структур от окружающей среды [3].

К основным характеристикам плёнок нитрида кремния, обеспечивающим повышенный интерес специалистов в области микроэлектроники, в первую очередь относятся следующие:

- высокая диффузионная стойкость по отношению к влаге, ионам щелочных металлов, а также диффундирующим элементам, широко применяемых в электронной технике;
- хорошие электроизолирующие и диэлектрические свойства (удельное пробивное напряжение 10^7 В/см, тангенс угла диэлектрических потерь составляет 1-10⁻¹⁰ и др.);
- повышенная химическая стойкость в агрессивных газовых и жидких средах (в том числе в условиях высоких температур), не исключая, однако проведения фотолитографических операций;
- химическая инертность по отношению к материалам (полупроводникам, диэлектрикам, металлам и т.д.), широко применяемым в технологии полупроводниковых приборов;

- высокая термическая стабильность.

Помимо этого, основными параметрами плёнок нитрида кремния, используемого в микроэлектронике, являются низкая механическая напряженность плёнки, высокая скорость жидкостного травления, высокое напряжение пробоя, однородность толщины.

Численные значения характеристик, предъявляемых к плёнкам нитрида кремния, представлены в таблице 1 [4].

Таблица 1. Свойства плёнки нитрида кремния.

Удельное сопротивление	$10^5 - 10^{19} \text{ } \Omega/\text{см}$
Напряжение пробоя	$1 - 6 \cdot 10^6 \text{ В/см}$
Показатель преломления	1,95 – 2,05
Механическая напряженность	-200 – 200 МПа
Однородность толщины	не должна превышать 4 %

1.2. Способы получения тонких плёнок нитрида кремния

Плёнки нитрида кремния можно получить как химическими, так и физическими способами, такими как плазмохимическое осаждение из газовой фазы и магнетронное распыление.

1.2.1. Химическое осаждение из газовой фазы

Осаждение из газовой фазы можно интерпретировать как конденсацию газообразных элементов или соединений с образованием твердотельных осадков.

При химическом осаждении из газовой фазы (ХОГФ) составы газовой фазы и осадка имеют существенное различие. Летучее соединение осаждаемого элемента подается к подложке, где подвергается термическому разложению, либо вступает в восстановительные реакции с парами других газов; при этом нелетучие продукты реакций осаждаются на поверхность подложки. Осадки образуются в результате большого количества химических реакций, которые протекают в газовой фазе вблизи поверхности подложки и на её поверхности, что усложняет процесс осаждения, но делает его гораздо более универсальным и гибким. Также процессы ХОГФ называют реактивным осаждением из газовой фазы [5].

ХОГФ — универсальный и энергетически экономичный метод формирования покрытий путем контролируемого осаждения вещества в виде отдельных атомов или молекул с целью получения плёнок с высокими характеристиками.

Система ХОГФ состоит из кварцевой трубки, помещенной в спиральный нагреватель при очень низком давлении около 0.1 Па. Трубку нагревают до желаемой температуры. Рабочий газ вводится в трубку при заданном давлении между 10 – 1000 Па. Рабочий газ состоит из газа носителя и химически активного газа, который будет реагировать с подложкой и создавать твердофазный материал на подложке. После поступления газа в трубу он распространяется около подложек, находящихся в трубе при той же температуре. Температура подложки является важным элементом и влияет на протекание реакций. Рабочий газ вступает в реакцию с подложками и образует твердофазный материал, а избыточный газ откачивается из трубки [6].

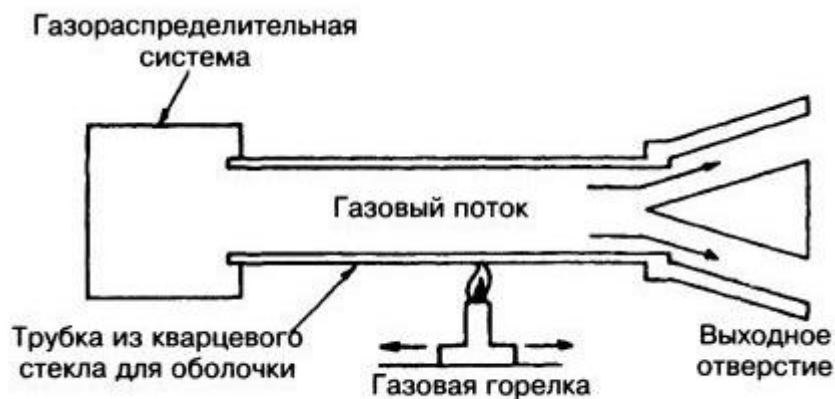
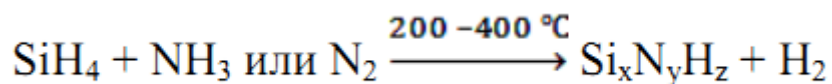


Рисунок 1 – ХОГФ процесс

Плёнки нитрида кремния осаждаются с помощью химического осаждения из газовой фазы при низком давлении с использованием силана и аммиака. Реакция образования представлена ниже:



1.2.2. Атмосферное химическое парофазное осаждение

Метод атмосферного химического парофазного осаждения (АХПО) известен своими высокими скоростями реакции и простотой конструкции. Поэтому, некоторые реакции могут быть произведены при атмосферном давлении [7].

Для осаждения диэлектрика более 400 нм используют высокие скорости осаждения свыше 100 нм/мин. Рисунок 2 демонстрирует простой пример АХПО реактора. Данная конструкция часто использовалась при осаждении слоя диоксида кремния как один из последних шагов в процессе интеграции схем. Потоки газов реагентов через центральную секцию

поступают в реактор и удерживаются с помощью потоков азота. Пластины из кассетных секций попадают на нагревающую дорожку. Газы вводятся с помощью газового душа над пластинами[8].

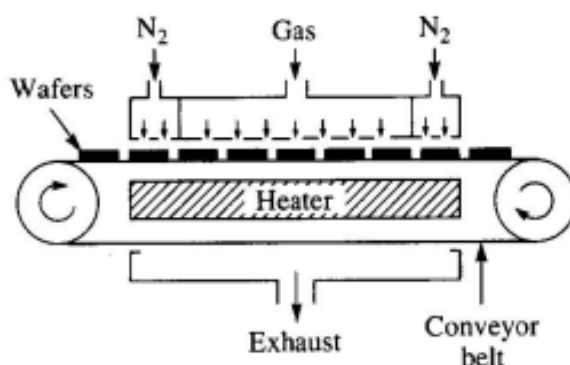


Рисунок 2 – АХПО реактор

Подложки могут непрерывно подаваться через систему. Пластины большого диаметра легче обрабатываются. Недостатком этого типа реактора является то, что требуется высокая скорость потока газа. Температура может варьироваться от 240 до 450 °С.

Основным недостатком АХПО, кроме низкой однородности, является формирование частиц. Это особенная проблема для этого вида реактора. Добавление достаточного количества азота или инертного газа позволяет контролировать формирование частиц в газовой фазе. Но есть также проблема с осаждением. Даже если скорость роста этих частиц является низкой, после нескольких пластин частицы станут достаточно большими, чтобы отслаиваться и попадать на поверхность пластины. Чтобы избежать проблем, газовый душ сегментирован таким образом, чтобы поддерживать реагенты газа разделёнными, пока они не введены в камеру [9].

1.2.3. Стимулированное индуктивно-связанной плазмой химическое осаждение из газовой фазы

Стимулированное индуктивно-связанной плазмой химическое осаждение из газовой фазы (ИСП-ХОГФ) является методом низкотемпературного осаждения Si_3N_4 плёнок, в котором индуктивная катушка создает высоко – плотную, большого диаметра плазму, в маленьком диапазоне давлений [10]. Главное преимущество ИСП-ХОГФ технологии по сравнению с PECVD технологией - это его низкая температура осаждения. Это преимущество привело к минимальным деградациям устройства при высоких температурах [11].

В статье [6], для осаждения Si_3N_4 плёнок использовалась система Plasmalab System 100 ICP 180 от Oxford Instruments Plasma Technology. Схематически она представлена на рисунке 3. Катушка соединена с ВЧ генератором на частоте 2 МГц и мощности 2.5 кВт. ВЧ ток, протекающий через катушку, генерирует ВЧ магнитный поток вдоль оси цилиндра. В то же самое время, этот магнитный поток индуцирует ВЧ электрическое поле внутри цилиндра. Индуцированное электрическое поле ускоряет электроны. Окончательно, эти ускоренные электроны создают высокоплотную плазму в индуктивной системе. Её мощностью контролируется диссоциация плазмы и плотность падающих ионов в камере. Нижний электрод отдельно питается от 13.56 МГц, 300 Вт генератора, который позволяет независимо контролировать напряжение смещения, то есть энергию столкновения ионов с образцом. В целях уменьшения плазмо-индуцированного урона во время процесса осаждения и уровня механической напряженности (стресса) в осаждаемых плёнках.

Образцы загружаются автоматически из откачанного загрузочного шлюза в реактор для поддержания хорошей стабильности вакуума в камере и, следовательно, отличную воспроизводимость результатов осаждения. Система имеет прецизионный контроль температуры подложки от $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, с использованием электрического нагревателя и жидкого азота. Широкий температурный диапазон важен для усовершенствованного плазмохимического процесса осаждения для различных материалов подложки.

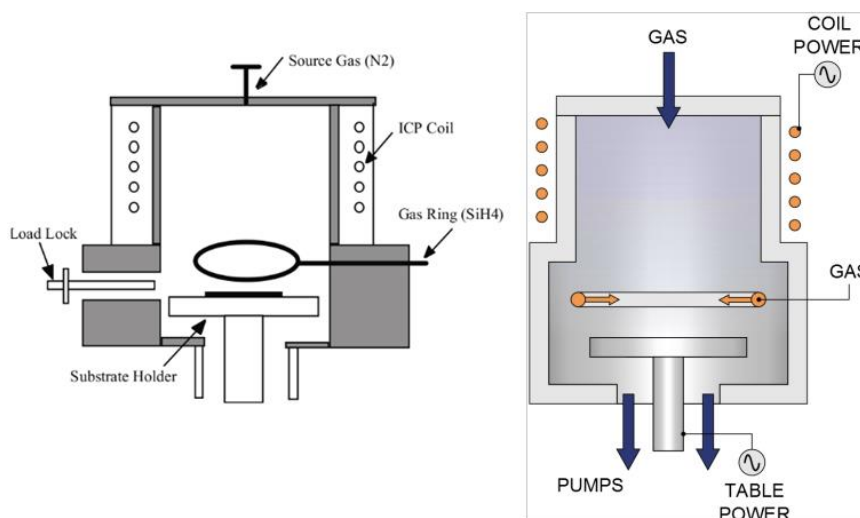


Рисунок 3 – Рабочая камера установки Plasmalab System 100 ИСП 180

Так как общее содержание водорода в нитриде кремния сильно влияет на свойства получаемой плёнки, замена аммиака (NH_3) азотом (N_2) уменьшит количество водорода в данных плёнках [12]. Высокочистый N_2 поступает в камеру через верх цилиндра, в то время как моносилан вводится в камеру осаждения через газовое распределительное кольцо, которое показано на рисунке 3. Скорость газового потока контролируется с помощью регулятора расхода газов с точностью 5% от установленного расхода. Автоматический контроллер давления контролирует давление (от 2 до 20 мТорр) [13].

1.2.4 Магнетронное распыление

Одним из наиболее эффективных физических методов нанесения плёнок является метод магнетронного нанесения материалов [14]. Этот метод является разновидностью ионно-плазменного осаждения. Распыление материала в этих системах происходит за счет бомбардировки поверхности мишени ионами рабочего газа. Скорость распыления в магнетронной системе в 50...100 раз выше по сравнению с обычным ионно-плазменным распылением. Это определяется высокой плотностью ионного тока на мишень, которая достигается за счет локализации плазмы у поверхности мишени с помощью сильного поперечного магнитного поля [15].

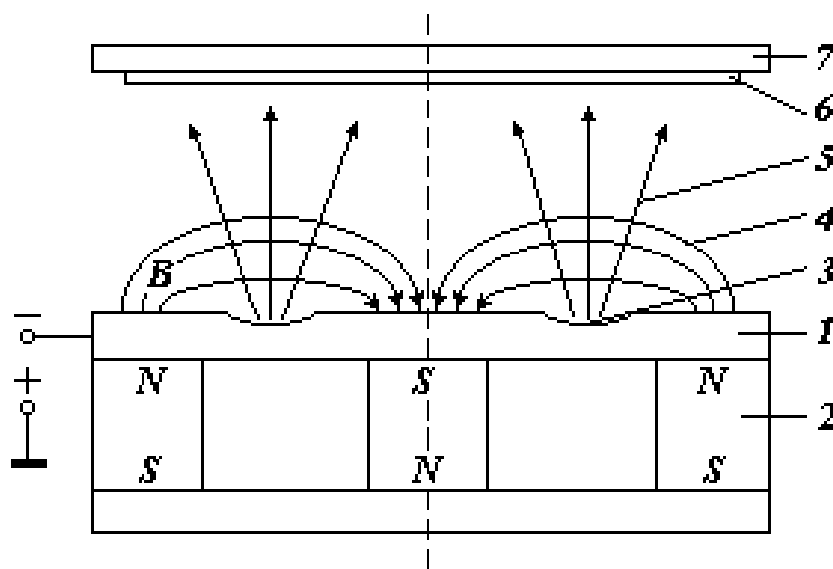


Рисунок 4 – Схема магнетронной системы распыления: 1 - мишень; 2 – магнитная система; 3 – зона распыления; 4 – магнитные силовые линии; 5 – поток распыляемого вещества; 6 – подложка; 7 – подложкодержатель.

Поверхность мишени, которая располагается между местами входа и выхода силовых линий магнитного поля, интенсивно распыляется и имеет

вид замкнутой дорожки, геометрия которой определяется формой полюсов магнитной системы. Создается аномальный тлеющий разряд и возникает неоднородное электрическое поле при наличии постоянного напряжения между стенками камеры и мишенью (отрицательный потенциал). Электроны под действием ионной бомбардировки вырываются с поверхности катода. Они начинают совершать сложное циклоидальное движение у поверхности мишени, захватываясь и удерживаясь магнитным полем [16].

Электроны под действием магнитного поля, возвращаясь на катод, который их отталкивает, находятся в ловушке. Внутри этой ловушки они циклируют пока не произойдет несколько столкновений с атомами газа, и электроны не потеряют энергию, полученную от электрического поля [17].

В отличие от других способов нанесения тонкоплёночных покрытий, способ магнетронного распыления позволяет достаточно тонко регулировать толщину металлического слоя, а значит, его сопротивление, что очень важно при создании структур с определенной проводимостью.

Осаждение плёнок химических соединений (оксидов, нитридов металлов и пр.) реализуется в смешанной газовой среде, содержащей смесь реакционного и рабочего газов. В таком случае, образование плёнок оксидов или нитридов металлов происходит за счет химической реакции между атомами распыляемой мишени и реакционной среды (O_2 , N_2). Использование реакционного газа для напыления плёнок оксидов и нитридов металлов при помощи магнетронов постоянного тока обуславливает крайне нестабильный процесс осаждения, что исключает возможность их использования для решения технологических задач. Причина нестабильности процесса осаждения заключается в протекании плазмохимических реакций не только на подложке, а также на поверхности мишени, стенках вакуумной камеры и

т.д. В связи с этим, возникает следующие проблемы реактивного магнетронного распыления:

- возникновение электрических пробоев и микродуг на поверхности мишени;

- проблема «исчезающего» анода;

- резкое снижение скорости распыления мишени [18].

Возникновение электрических пробоев и микродуг на поверхности мишени связано с образованием диэлектрической плёнки, что приводит к накапливанию избыточного положительного электрического заряда, который притягивает электроны из мишени и образует в диэлектрике сильное электрическое поле [16]. Образование сильного электрического поля в определенной области (катодного пятна) способствует коллективной эмиссии электронов, которые ионизируют вещество газовой среды и увеличивают проводимость данного промежутка. Образуется микродуга, в которой материал катода трансформируется из твердой фазы в плазму. При формировании катодного пятна вся энергия, подаваемая при помощи источника питания (ИП), концентрируется на этой площади. В результате происходит локальное расплавление материала катода, его эмиссия. В таком случае поток осаждаемых частиц содержит микрокапли и фракции частиц, что обуславливает получение дефектных плёнок.

Применение импульсного среднечастотного питания магнетрона позволяет устранить проблему возникновения электрических пробоев и микродуг на поверхности мишени [19]. Механизм устранения данной проблемы основан на исключении накапливания положительного электрического заряда вследствие того, что во время паузы распыления положительный заряд устраняется за счет привлечения электронов из

плазмы. Процесс компенсации положительного заряда из плазмы составляет порядка 0,4-1 мкс. В связи с этим актуально использование именно импульсных СЧ источников питания с рабочей частотой 10-350 кГц.

Проблема «исчезающего» анода также имеет место при реактивном магнетронном распылении из-за образования диэлектрической плёнки на аноде, вакуумных деталях, стенках камеры. Электроны из плазмы разряда оседают на поверхности запыленных деталей, тем самым формируя отрицательный потенциал. Проблема «исчезающего» анода негативно отражается на скорости распыления, возникает её неоднородность в пространстве и времени. Помимо этого, появляется электрическое поле у поверхности анода, что может привести к возникновению пробоя и, соответственно, загрязнению осаждаемой плёнки, дестабилизации реактивного процесса. Частично эта проблема решается при использовании СЧ источника питания, однако, подвижность ионов значительно ниже, чем у электронов, поэтому компенсация отрицательного заряда протекает менее эффективно, чем в случае компенсации положительного заряда на катоде.

Основными преимуществами метода являются низкие температуры подложки, достаточно высокие скорости осаждения, высокая плотность и хорошая однородность по толщине покрытий, долговременная устойчивость процесса и хорошая управляемость, что связано с более высокой энергией конденсирующихся частиц при магнетронном распылении и дополнительной активацией поверхности действием плазмы. Метод магнетронного распыления относительно дешёв и позволяет осаждать покрытия на подложки большой площади.

II. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И МЕТОДИК ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ

2.1 Экспериментальная установка

Работа осуществлялась на вакуумной ионно-плазменной установке, которая представлена на рисунке 5.

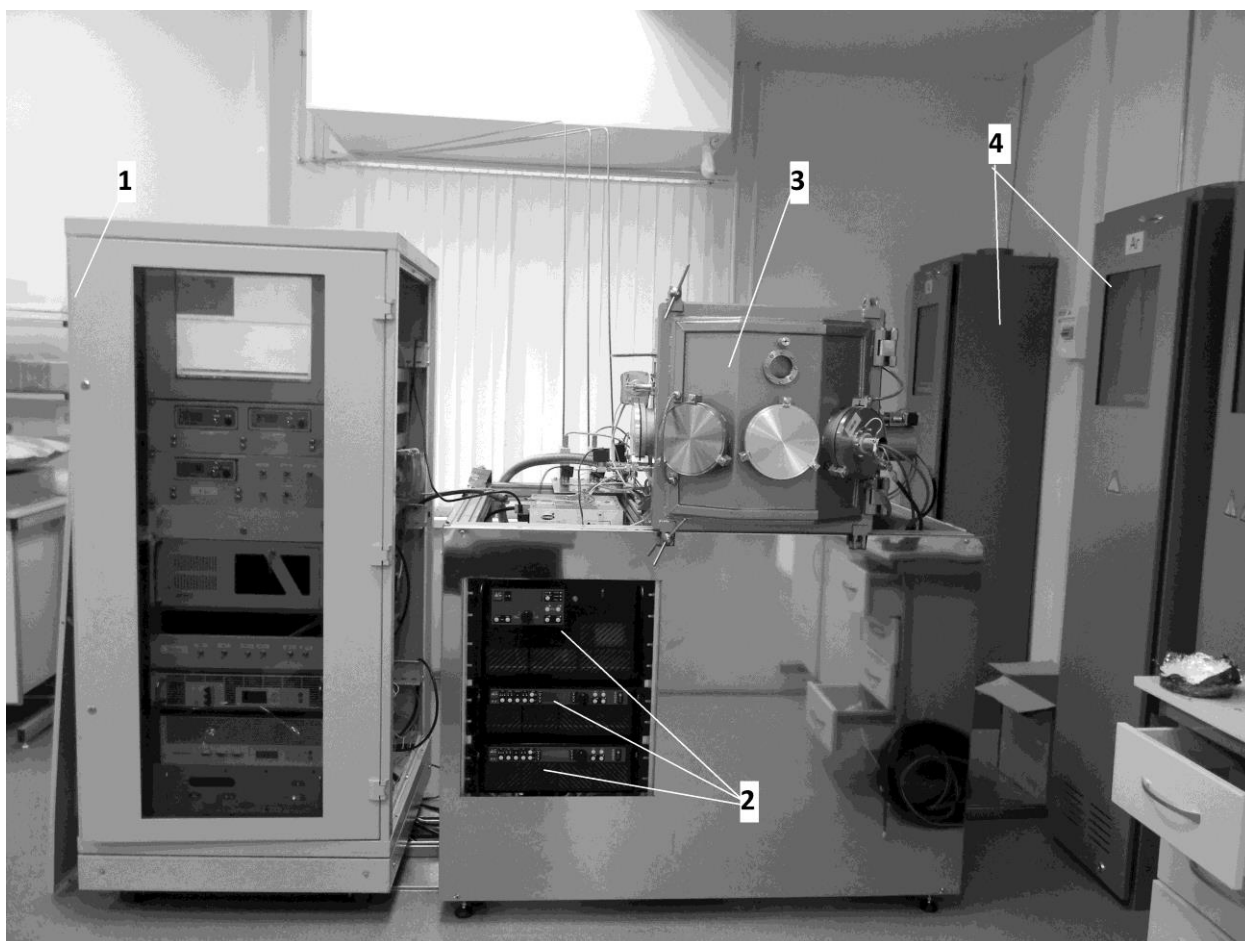


Рисунок 5 – Установка ионно-плазменного осаждения покрытий: 1 – система управления установкой, 2 – источники питания магнетрона, 3 – рабочая камера, 4 – система подачи газов.

Данная конструкция имеет два типа насосов: турбомолекулярный и спиральный. Вакуумная камера 3 представляет собой герметичное

коробчатое пространство (рисунок 6). Также к вакуумной камере подсоединены вакуумметр «Micro-Ion», расходомеры рабочих газов и пневматический вакуумный клапан для разгерметизации рабочей камеры. Слева от установки расположена система управления 1. Установка снабжена тремя различными блоками питания 2 магнетрона. Система подачи газов 4, расположенная справа, состоит из баллонов с рабочим и реактивными газами.

На рисунке 6 показан внутренний объём рабочей камеры 3 ионно-плазменной установки.

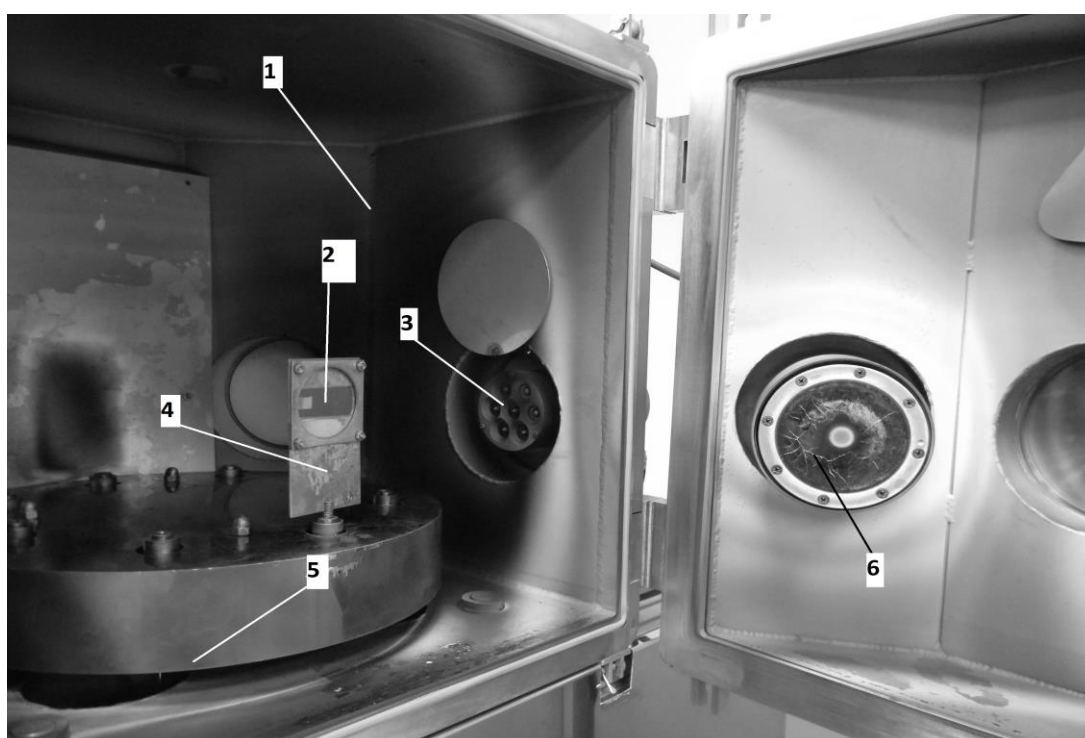


Рисунок 6 – Вакуумная ионно-плазменная установка: 1 – рабочая камера, 2 – МРС, 3 – ионный источник, 4 – стол, 5 – подложкодержатель, 6 – образец.

В правой боковой части находится ионный источник 3, который предназначен для очистки образцов. В нижней части основания камеры

располагается стол для фиксации образцов. Магнетронная распылительная система 2 с круглой мишенью расположена в двери вакуумной камеры.

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

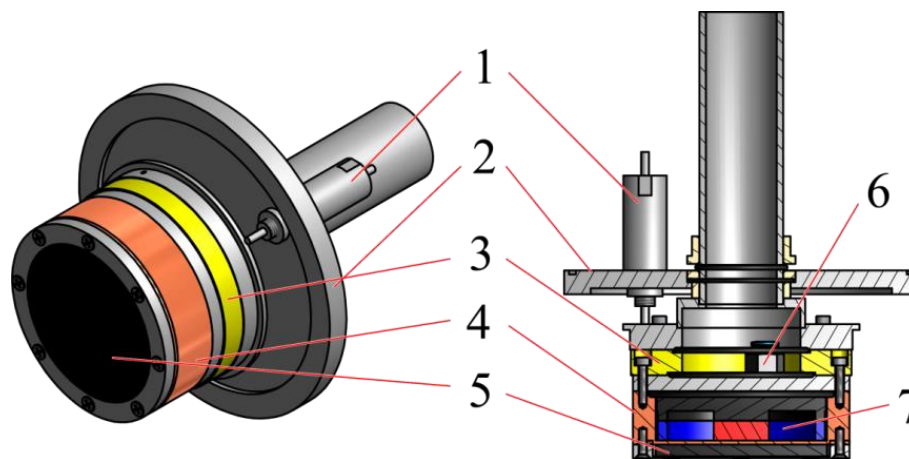


Рисунок 7 – Планарный магнетрон: 1 – напуск рабочего газа; 2 – фланец; 3 – диэлектрическая прокладка; 4 – медный корпус; 5 – кремниевая мишень; 6 – водяное охлаждение; 7 – магнитная система

При нанесении покрытий были использованы два блока питания магнетрона:

- униполярный источник напряжения APEL-M-10PDC, предназначенный для электропитания регулируемым напряжением постоянного и импульсного тока МРС мощностью до 10 кВт [20];

- униполярный источник тока MPS 3-5-9-600-PC для электропитания с регулируемым ограничением тока, напряжения и мощности до 5 кВт [21].

Оба источника работали в режиме стабилизации мощности, значение которого было 0,5 кВт. Основные параметры источников питания МРС приведены в таблице 2.

Таблица 2– Параметры источников питания магнетрона

Источник питания магнетрона	Униполярный источник питания APEL-M-10PDC	Униполярный источник питания MPS 3-5-9-600-PC
		
Максимальная выходная мощность	10кВт	5 кВт
Выходное напряжение	65÷650 В	600 В
Выходной средний ток	0,1-15,0 А	9 А
Выходная средняя мощности	0,1-10 кВт	5 кВт
Тип выходного напряжения	отрицательное, постоянное, импульсное униполярное	однополярное импульсное отрицательной полярности
Частота следования	1-100 кГц с шагом 1 кГц	132 кГц

импульса		
Коэффициент заполнения импульсов	10-80% или пауза 3 - 50 мкс	-
Режимы стабилизации	напряжение, ток, мощность	напряжение, ток, мощность

Методика эксперимента

При осаждении плёнок Si_3N_4 магнетронным распылением были использованы среднечастотные импульсные источники питания (100 кГц и 134 кГц) и источник питания на постоянном токе. Осаждение производилось в среде аргона и азота при постоянном значении давления аргона ($p(\text{Ar})=1,2 \cdot 10^{-1}$ Па). Поток азота изменялся в диапазоне от 4,5 до 10,5 см³/мин. В таблице 3 представлено соответствие номера образца режиму осаждения. Таблица 3 – Соотношения номера образцов со скоростью потока азота в камеру

Группа	1					2					3			
Номер образца	1.1	100	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	DC	2.3	2.4	3.1	3.2	134	3.4
Источник питания магнетрона	100 кГц					DC					134 кГц			
Q(N ₂), см ³ /мин	4,5	5,25	6	7,5	9	4,5	6	6,75	7,5	9	4,5	6	7,5	9
Q(Ar), см ³ /мин	18													

Материалом подложки были выбраны пластины высокоомного кремния. Давление остаточных газов в рабочих камерах установок не менее $5 \cdot 10^{-3}$ Па.

В таблице 4 представлены используемые параметры при напылении плёнок нитрида кремния.

Таблица 4 – Режимы осаждения плёнок Si_3N_4

Операция	Оборудование	Параметры осаждения
Ионная чистка	ионный источник с холловским дрейфом электронов	$U = 3000 \text{ В}, I = 0.5 \text{ А}, P_{\text{раб}} = 0,12 \text{ Па}$
Осаждение покрытия	МРС	Мощность $P=0,5 \text{ кВт}, p(\text{Ar})= 0,12 \text{ Па}$

Перед осаждением поверхность подложки подвергалась очистке пучком ионов при рабочих параметрах источника питания: $U=3000 \text{ В}$ и $I=0,5 \text{ А}, p_{\text{раб}} = 0,12 \text{ Па}$ в течение 20 минут.

2.2 Определение постоянной преломления

Спектральный эллисометр «Эллипс-1891» (рис. 8) предназначен для прецизионных измерений толщин наноразмерных плёнок, оптических параметров тонкоплёночных структур и спектральных зависимостей оптических констант поверхностей различных материалов (металлов, полупроводников, диэлектриков и др.), в том числе анизотропных и жидких. В основу комплекса положена быстродействующая статическая схема эллисометрических измерений.



Рисунок 8 – Общий вид эллисометра «Эллипс-1891»

Алгоритмы считывания сигналов и расчета рабочих параметров обеспечивают очень высокую чувствительность, необходимую для проведения измерений с высоким спектральным разрешением. Использование новой измерительной схемы обеспечивает быстрое сканирование всего спектра или отдельных участков спектра с повышенным спектральным разрешением в качестве источника света используется галогенная лампа, обеспечивающая спектральный диапазон 350-1000 нм.

2.3 Определение концентрации связей Si-N с помощью ИК-Фурье спектроскопии.

Эксперименты по измерению спектров пропускания проводились на Фурье - спектрометре «Инфралюм ФТ-801» (рисунок 9).

По принципу действия спектрометр «Инфралюм ФТ-801» относится к классу модуляционных спектральных приборов. В таких приборах разделение исследуемого излучения на спектральные составляющие производится не оптическими диспергирующими элементами (призмой, дифракционной решёткой и т.д.), а специальной модуляцией потока излучения оптическим подвижным элементом и дальнейшей электронно-математической обработкой сигнала оптического приемника, регистрирующего это промодулированное излучение – интерферограмму [22].



Рисунок 9 – Фурье-спектрометр «Инфралюм ФТ – 801»

В спектрометре «Инфралюм ФТ-801» в качестве модулятора используется двухлучевой сканирующий интерферометр «Двойной кошачий глаз» (ДКГ).

Оптическая схема спектрометра представлена на рисунке 10. Входная оптическая система 2 преобразует излучение, испускаемое источником ИК излучения 1, в сходящийся кольцевой пучок и фокусирует его на входном отверстии интерферометра 3, состоящего из сферических зеркал и подвижного светоделителя.

Светоделитель представляет собой пластину из селенида цинка со специальным покрытием, которое частично пропускает и частично отражает падающий свет. Каждый из пучков, пройдя ряд отражений, вновь попадает на светоделитель.

Здесь пучки интерферируют, снова попадают на зеркала, которые выполняют теперь роль собирающей оптической системы, и выходят через отверстия в центре зеркал из интерферометра [23].

Система зеркал 4 преобразует выходящий из интерферометра свет в параллельный пучок, который проходит через кюветное отделение 5 и, затем, параболическим зеркалом 6 собирается на фотоприемнике 7.

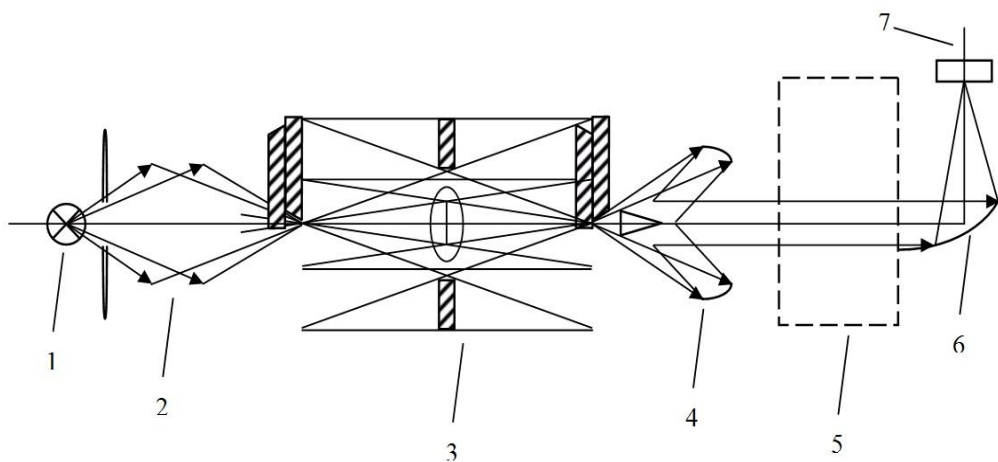


Рисунок 10 – Оптическая схема спектрометра: 1 – источник ИК излучения, 2 – входная оптическая система, 3 – интерферометр, 4 – система зеркал, 5 – кюветное отделение, 6 – параболическое зеркало, 7 – фотоприемник

Интерферограмма регистрируется в виде конечного числа значений сигнала, снимаемых с фотоприемника, преобразуемых аналого-цифровым преобразователем (АЦП) в цифровой код. Аналого-цифровое преобразование осуществляется через равные интервалы оптической разности хода [24].

Опорная шкала разности хода формируется в опорном канале, состоящем из гелий-неонового лазера, оптического тракта интерферометра, совмещенного с трактом ИК излучения, фотоприемника и формирователя импульсов, управляющих АЦП. Из АЦП цифровой код поступает в системный регистрирующий порт.

Монохроматическое излучение лазера с $\lambda_n = 632,8$ нм ($\nu_n = 15803$ см⁻¹) проходит тот же оптический путь, что и рабочее ИК излучение, и образует интерферограмму в виде синусоиды, регистрируемой специальным детектором. Сигнал этого детектора используется для генерации последовательности управляющих импульсов, следующих через интервалы, равные $\lambda_n/2$, которые обеспечивают значение шага дискретизации $\Delta x = 1/2\nu_n$ [25].

Зарегистрированная интерферограмма передается в цифровом виде в персональный компьютер, где над ней осуществляется обратное Фурье - преобразование. На компьютере установлена программа работы со спектрометром.

Количественное исследование Ик-Фурье спектров проводилось по методике, разработанной в [26]. В ней сказано, что для того, чтобы вычислить концентрацию связей какого-либо соединения, нужно проделать следующие этапы:

- Перевести значение интенсивности в коэффициент поглощения с помощью формулы Бугера [26]:

$$I = I_0 \cdot \exp(-\alpha \cdot d),$$

где I_0 - интенсивность падающего монохроматического излучения; I - интенсивность прошедшего монохроматического излучения; d - толщина поглощающего слоя; α - коэффициент поглощения, индивидуальная характеристика вещества для каждой длины волны.

- Из полученного спектра с зависимостью коэффициента поглощения от волнового числа построить аппроксимацию Лоренца для данного пика и посчитать значение площади под кривой для исследуемой связи [27].

- На основе литературных данных произвести поиск молекулярного коэффициента поглощения данной связи для дальнейшего расчёта коэффициента экстинкции (коэффициент поглощения).

- Получить значение отношения площади под кривой и коэффициента поглощения, которое будет являться концентрации исследуемой связи.

ИК-спектры пропускания снимались в следующем порядке: чтобы получить «чистый» спектр плёнки, необходимо из общего спектра вычесть спектр подложки. Вначале, ставилась пластина (подложка) без плёнки и снимался ее спектр, затем ставился образец и снимался его спектр. Полученные спектры автоматически вычитает компьютер и выводит уже готовый спектр плёнки Si_3N_4 .

Разложение пиков осуществлялось обратным Фурье-преобразованием, которое реализовано во многих программных продуктах. В данной работе использовался программный пакет Origin 8.1.

Первый шаг – проведение базовой линии, которая выравнивает спектр. Алгоритм построения следующий: в меню Tools, находится

инструмент *Baseline*, в котором можно в автоматическом либо в ручном режиме построить базовую линию.

Следующим этапом является пересчет коэффициента пропускания в коэффициент поглощения, так как в дальнейших расчетах используется только он

Если пики сливаются друг с другом, то необходимо провести их разделение. Для этого в меню *Analysis* выбираем инструмент *Non-linear Curve Fit > Fitting Wizard*. В открывшемся меню задается диапазон, в котором лежат «наложившиеся» пики. В следующем меню выбирается категория – спектроскопия, и функция распределения спектра– в данном случае спектры имеют лоренцево распределение. Далее указывается программе предположительное число пиков: 2, либо 3 в основном, по которым программа делает разложение. В результате получаем разложенные пики. [28].

Конечным этапом является расчет интегральной интенсивности пика – площадь под кривой, которая была рассчитана по методу левых прямоугольников.

2.4 Исследование морфологии покрытия

Морфология поверхности нитрида кремния были исследованы с помощью растрового электронного микроскопа (РЭМ) серии *Zeiss Supra 55* и блоком для электронно-лучевого экспонирования *RAITH150-TWO* производства *RAITH* (Германия) [29]. Данный электронно-лучевой литограф ультравысокого разрешения рассчитан на работу с пластинами и масками вплоть до 20 см (рис. 11).



Рисунок 11 – Электронно-лучевой литограф RAITH150-TWO [30].

Установка электронно-лучевой нанолитографии на основе автоэмиссионного растрового электронного микроскопа Raith 150 TWO предназначена как для электронной растровой микроскопии высокого разрешения (не хуже 2-5 нм), так и для проведения нанолитографии с размерами получаемых элементов не хуже 15-20 нм. В состав установки входят следующие основные блоки и узлы:

- электронно-оптическая колонна с электростатической системой отклонения луча;
- объективная линза, детектор вторичных электронов;
- камера образцов с системой загрузки и столиком;
- вакуумная система;
- системы обеспечения.

Основной принцип электронно-лучевой нанолитографии (ЭЛН) состоит в сканировании электронным лучом поверхности, покрытой специальным электронным резистом, чувствительным к облучению

электронами. Управляя движением луча, можно получать структуры на резисте любой заданной формы (топологии).

Преимуществами ЭЛН перед другими видами микроструктурирования заключаются в следующем - дифракционный предел не влияет на разрешение (<10 нм при энергии электронов 10-50 кЭв). Разрешение может достигать 5 нм. Отсутствие шаблонов (в отличие от проекционных методов) позволяет использовать неограниченное число различных форм структур и разнообразных материалов [31].

Недостатками ЭЛН являются низкая производительность из-за отсутствия параллелизма (на несколько порядков медленнее оптической литографии), а также влияние обратного и прямого рассеяние электронов на разрешение нанолитографа [32].

IV. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

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

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

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

При выполнении настоящей бакалаврской работы были использованы: ионно-плазменная установка для нанесения покрытий, персональная электронно-вычислительная машина, газовые баллоны со сжатым аргоном и азотом. Приведем анализ вредных и опасных производственных факторов, также комплекс защитных мероприятий.

4.1 Экологичность проекта

Эксплуатация напылительной установки не приводит к загрязнению окружающей атмосферы. Воздействие на гидросферу - отсутствует, так как

вода, используемая для охлаждения, не контактирует с источниками загрязнений. Работа системы насосов удовлетворяет номер предельно допустимых концентраций содержания химически опасных веществ в воздухе рабочей зоны, определенных в [33]. Твердые отходы, которые бы могли привести к загрязнению литосферы - отсутствуют.

При выполнении бакалаврской работы никакого ущерба окружающей среде не было нанесено.

4.2 Определение параметров микроклимата рабочего помещения

Работа на вакуумной установке относится к категории работ 2а – средней тяжести. Физические энергозатраты в данном случае составляют 175 – 232 Вт. Рабочая зона ограничивается высотой 2,2 м над уровнем пола, где находится рабочее место. Производится нормировка: температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха (СанПиН 2.2.4.548 – 96). Допустимые показатели микроклимата на рабочих местах в помещениях должны соответствовать величинам, приведенным в таблице 6.

Таблица 6 – Допустимые величины показателей микроклимата

Период года	Температура воздуха, °С	Отн.влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	16 – 24	15 – 75	0,1 – 0,3
Теплый	22,1 – 27		0,1 – 0,4

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 в приложении Б.

В любое время года температура на рабочем месте составляет 20 – 24°C, влажность воздуха приблизительно равна 50%, скорость воздуха находится в пределах 0,1 – 0,3 м/с.

4.3 Расчет освещенности рабочей зоны

Неправильное освещение наносит вред зрению работающих, может быть причиной таких заболеваний, как близорукость, спазм аккомодации, зрительное утомление и других болезней, понижает умственную и физическую работоспособность, увеличивает число ошибок в производственных процессах. Свет является естественным условием жизни человека. Достаточное освещение действует тонизирующее, улучшает протекание основных процессов высшей нервной деятельности, стимулирует обменные и иммунобиологические процессы, оказывает влияние на формирование суточного ритма физиологических функций человека. Плохое освещение приводит к снижению зрительных функций, развитию переутомления, снижению зрительной и общей работоспособности.

Существует три вида освещения: естественное – за счёт солнечного излучения, искусственное – за счёт источников искусственного света и совмещенное – освещение, включающее в себя как естественное, так и искусственное освещения.

Оценка освещенности рабочей зоны проводится в соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1.1340-03.

Недостаточная освещенность рабочего места уменьшает остроту зрения, а также вызывает утомление организма в целом, что приводит к снижению производительности труда и увеличению опасности заболеваний.

Поэтому с целью обеспечения требуемых норм освещенности необходимо произвести расчет искусственной освещенности.

В соответствии со СНиП 23-05-95 газоразрядные лампы, принято использовать в качестве основного источника света. Главными преимуществами подобных ламп в сравнении с лампами накаливания — это высокая светоотдача – 40–110 лм/Вт, более длительный срок эксплуатации (до 8000–12000 ч), получение светового потока с необходимым спектром излучения. Так же, люминесцентные лампы, рекомендованы для применения в производственных помещениях, обеспечивая необходимый уровень освещения, сохраняя зрение, снижая утомляемость, повышая работоспособность. С другой стороны, пульсацию светового потока, слепящее действие – все следует учесть при производственном процессе. С целью снижения коэффициента пульсации люминесцентных ламп их необходимо подключать в трехфазные электрические сети.

Метод коэффициента светового потока позволяет рассчитать общий равномерный световой поток искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности, учитывает световые потоки, отражённые от потолка и стен. Длина помещения $A = 5,3$ м, ширина $B = 4,7$ м, высота = 3,5 м. Высота рабочей поверхности над полом $h_p = 0,8$ м (приложение Г). В соответствии со СНиП 23-05-95 учитывая разряд зрительной работы, следует обеспечить освещенность не меньше чем $E=150$ лк.

Площадь помещения: $S = A \times B = 24,91$ м².

Данное помещение со средним выделением пыли, поэтому $K_z = 1,8$; состояние потолка – свежепобеленный, поэтому $\rho_n = 70$; состояние стен – побеленные бетонные стены, поэтому $\rho_c = 50$. Для люминесцентных ламп характерен коэффициент неравномерности $Z = 1,1$.

Для того чтобы обеспечить освещение комнаты, с выше указанными параметрами, выберем лампу белого света ЛБ, со световым потоком $\Phi_{ЛБ} = 2020$ Лм. Светильники, длина которого 925 мм, а ширина – 265 мм имеет две люминесцентные лампы типа ОДОР-2-30, мощность каждой такой лампы 30 Вт.

Оптимальное расположение светильников определяется интегральным критерием, то есть величиной λ , значение которой для нашего случая лежит в диапазоне 1,1–1,3. При минимальном значении $\lambda = 1,1$ и расстоянии светильников от перекрытия $h_c = 0,3$ м.

Определить высоту светильника над рабочей поверхностью можно по формуле: $h = H - h_{pn} - h_c = 2,4$ м.

Расстояние между соседними светильниками определяют по формуле:
 $L = \lambda \cdot h = 2,64$ м.

Число рядов светильников в помещении: $Nb = \frac{B}{L} = 1,74 = 2$.

Число светильников в ряду: $Na = \frac{A}{L} = 2,01 \approx 2$.

Помещение обладает практически квадратной формой, и оптимальное количество светильников будет равно $N=4$.

Расстояние от крайних светильников до стены определяется по формуле: $l = \frac{L}{3} = 0,88$ м.

Индекс помещения легко определить по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{h(A + B)} = \frac{5,3 \cdot 4,7}{2,4 \cdot (5,3 + 4,7)} = 1,04.$$

Коэффициент использования светового потока показывает какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ОДОР с люминесцентными лампами при $\rho_{II} = 70\%$, $\rho_C = 50\%$ и индексе помещения $i = 1,04$ равен $\eta = 0,42$.

Необходимый световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяем по формуле:

$$\Phi_n = \frac{E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z}{2 \cdot N \cdot \eta} = \frac{150 \cdot 5,3 \cdot 4,7 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{2 \cdot 4 \cdot 0,42} = 1835 \text{ лм.}$$

Делаем проверку для необходимого условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{ЛД} - \Phi_{II}}{\Phi_{ЛД}} \cdot 100\% \leq 20\%$$

$$\frac{\Phi_{ЛД} - \Phi_{II}}{\Phi_{ЛД}} \cdot 100\% = 9,16\%$$

Согласно полученным результатам анализа освещенности помещения, данная система освещения удовлетворяет нормативным требованиям.

Таблица 2 - Нормирование значения освещенности на рабочих местах производственных помещений при искусственном освещении, согласно СНиП 23-05-95

Характеристика зрительной работы	Наименьший размер объекта, мм	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта различения с фоном	Характеристика фона	Освещенность, лк		
					Комбинированное освещение	Общее освещение	
средняя точность (4 разряд зрительной работы)	0,5-1,0	а	Малый	Темный	750	300	
			Малый	Средний	500	200	
		б	Средний	Темный	500	200	
			в	Малый	Светлый	400	200
				Средний	Светлый	400	200
				Большой	Темный	400	200

		г	Средний	Светлый	300	150
			Большой	Светлый	300	150
			Большой	Средний	300	150

Средства нормализации освещения производственных помещений и рабочих мест включают: источники света; осветительные приборы; световые проемы; светозащитные устройства; светофильтры.

4.4 Техногенная безопасность

Эксперименты проводились на вакуумной установке кафедры водородной энергетики и плазменной технологии. При работе с данной установкой на сотрудников могут воздействовать следующие опасные и вредные факторы.

4.4.1 Микроклимат

При работе с установкой приходится проводить много времени в данном помещении. Микроклимат помещения играет большую роль в здоровье сотрудника. Метеоусловия производственных помещений определяются температурой воздуха, относительной влажностью, скоростью воздушного потока и температурой (излучением) окружающих поверхностей. Оптимальная температура при работе с установкой вакуумного нанесения не превышает 24°C. Оптимальные и допустимые параметры микроклимата с учетом интенсивности энергозатрат работающих, времени выполнения работы и периодов года нормируются в соответствии с санитарными нормами и правилами СанПиН 2.2.4.548-96 [33]. Нормальный тепловой режим можно обеспечить: технологическим оборудованием (выбором удобных технологических процессов, механическим и автоматическим снижением или повышением температуры); защитным оборудованием

(снижением воздействия избыточного конвенционного тепла и теплового излучения, соответствующим способом охраны работающих от его воздействия).

4.4.2 Повышенный уровень шума на рабочем месте

При работе механических и электромеханических изделий часто возникают шумы. Шумы, возникающие при работе экспериментальной установки связаны с вращением движущихся частей форвакуумного насоса.

Для оценивания шумовой обстановки допускается использовать числовую характеристику, называемую уровнем звука (измеряется в дБ).

В соответствии с ГОСТ 12.1.029-80 [34] 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 [35].

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

Согласно ГОСТ 12.1.003-83 в качестве средств коллективной защиты применяются следующие методы:

- изменение направленности излучения шума. Установка должна быть сориентирована так, чтобы максимум излучательного шума был направлен в противоположную сторону от рабочего места;
- рациональная планировка помещения позволяет увеличить расстояние до источника шума и уменьшить его воздействие на человека. Шумные помещения должны располагаться таким образом, чтобы их разделяло несколько других помещений или ограждение с хорошей звукоизоляцией;
- акустическая обработка помещения. Подразумевает облицовку части внутренних ограждающих поверхностей звукопоглощающими материалами или размещение штучных поглотителей (свободно подвешенных объемных тел различной формы);
- применение звукоизоляции. Звукоизоляция достигается созданием герметичной преграды на пути распространения воздушного шума в виде стен, экранов, кожухов, кабин.

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

4.4.3 Повышенный уровень воздействия электромагнитного излучения, умственное перенапряжение и монотонность труда

Управление установкой осуществляется с помощью ЭВМ. Дисплей ЭВМ являются источником электромагнитного излучения. 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.

При работе с персональной ЭВМ, необходимо, чтобы все видео дисплейные терминалы имели гигиенический сертификат, включающий, в том числе оценку визуальных параметров в соответствии с санитарными правилами и нормами СанПиН 2.2.2.542-96 [36, 37]. Безопасность при работе с ЭВМ может быть обеспечена за счет рационального размещения компьютеров в помещениях, правильной организации рабочего дня пользователей, а также за счет применения средств повышения контраста и защиты от бликов на экране, электромагнитных излучений и электростатического поля.

Основным источником неблагоприятных воздействий на организм является видеодисплейный терминал (ВДТ), который также называют дисплеем или монитором. Мощность экспозиционной дозы мелкого рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана и корпуса не должна превышать 1 МК /час (100 мК/час). При работе с дисплеем вначале появляется зрительное утомление, а затем могут возникнуть и другие функциональные нарушения: резь, жжение, ощущение «песка», «мушек» в глазах, временное ухудшение зрения, покраснение глаз

Для исключения воздействия электромагнитного излучения и снижения зрительного переутомления расстояние между глазами пользователя и экраном должно составлять 60-70 см (и не менее 50 см с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов).

Для защиты от электромагнитного и электростатического полей допускается применение экранных фильтров и других средств индивидуальной защиты, прошедших испытания в аккредитованных лабораториях и имеющих гигиенический сертификат.

Спектральные компьютерные очки рекомендуются для защиты от избыточных энергетических потоков видимого света, для улучшения качества изображения от дисплея (на сетчатке глаз) и для профилактики «компьютерного зрительного синдрома».

4.4.4 Высокие температуры отдельных частей установки

Прикосновение к стенкам камеры после проведения эксперимента может привести к поражениям кожного покрова – ожогам.

Температура отдельных частей установки не должна превышать 45 °С. Это достигается наличием водяного охлаждения нагреваемых частей установки. Также, для защиты от повышенной температуры поверхностей оборудования и движущихся механизмов, применяются защитные ограждения в соответствии с ГОСТ 12.2.062-81. Предпочтительно применение сплошных ограждений. Ограждения, изготовленные из сетки (25х25 мм.), должны иметь конструкцию, обеспечивающую постоянство формы и установленную жесткость. Сплошные ограждения - кожухи в электрических установках до 1000 В. Сетчатые ограждения применяются в установках напряжения до 1000 В и выше 1000 В [38].

4.4.5 Электробезопасность

Опасность поражения электрическим током зависит от таких факторов, как сырость, жара, едкие пары и газы, токопроводящая пыль. При

наличие данных факторов возникает возможность перехода напряжения на нетокопроводящие части электрооборудования (корпуса, станины, кожухи), с которыми работающий находится в контакте. В таких условиях также понижается электрическое сопротивление тела человека, дополнительно увеличивая опасность поражения током.

Рабочая среда (сырость, высокая температура, токопроводящая пыль, едкие пары и газы, токопроводящие полы и т.д.) могут оказывать в той или иной степени оказывать воздействие - усиливать или уменьшать опасность поражения током. При проектировании способов и средств защиты от поражения электрическим током руководствуются безопасными значениями тока при данной длительности и пути его прохождения через тело в соответствии с ГОСТ 12.1.038-82. При длительном воздействии допустимый безопасный ток принят в $0,1 \text{ A}$, $U < 36 \text{ В}$.

При проектировании способов и средств защиты от поражения электрическим током руководствуются безопасными значениями тока при данной длительности и пути его прохождения через тело в соответствии с ГОСТ 12.1.038-82. При длительном воздействии допустимый безопасный ток принят в $0,1 \text{ A}$, $U < 36 \text{ В}$.

Действующими правилами устройства электроустановок (ПУЭ) все помещения подразделены на следующие три класса:

I. Помещения без повышенной опасности: сухие, с нормальной температурой воздуха, с токонепроводящими полами.

II. Помещения с повышенной опасностью: сырые с относительной влажностью воздуха (длительной) более 75%; жаркие с температурой воздуха, длительно превышающей $+30^{\circ}\text{C}$; с полами из токопроводящих материалов; с большим количеством выделяющейся токопроводящей

технологической пыли, оседающей на проводах и проникающей внутрь электроустановок; с размещением электроустановок с металлическими корпусами, имеющих соединение с землей, металлоконструкций зданий и технологического оборудования, допускающих одновременное соприкосновение с ними.

III. Помещения особо опасные: особо сырые с относительной влажностью воздуха, близкой к 100%, химически активной средой, одновременным наличием двух и более условий, свойственных помещениям с повышенной опасностью.

В связи с наличием электроустановок с металлическим корпусом, связанным с землей данное лабораторное помещение классифицируется категорией II – повышенной опасности.

Использование высокого напряжения блока питания разряда (до 1 кВ, ток до 5 А) и напряжения сети 380\220 В, которое необходимо для питания электродвигателей форвакуумных насосов, электрических измерительных систем и других элементов установки, 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 [39, 40]. Самый опасный – переменный ток частотой 50–60 Гц.

В соответствии с инструкцией №22 по охране труда при работе с электроустановками лаборатории №23 НИИ ЯФ, ПУЭ для обеспечения

электробезопасности обслуживающего персонала необходимо предусмотреть:

- защитное заземление (преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением) всех металлических нетоковедущих частей электрооборудования $R_3 \leq 4 \text{ Ом}$;
- раздельное размещение аппаратуры с напряжением до 1000 В и свыше 1000 В;
- Использование зануления (преднамеренного электрического соединения с нулевым защитным проводником металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением).
- 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;
- использование предупредительных табличек.

В качестве средств индивидуальной защиты для электроустановок до 1кВ применяются как основные средства защиты:

- изолирующие штанги;
- изолирующие и электроизмерительные клещи, указатели напряжения;
- диэлектрические перчатки или изолированный инструмент.

В качестве дополнительных средств защиты применяются:

- диэлектрические галоши;
- диэлектрические ковры;
- изолирующие подставки и накладки;

- изолирующие колпаки.

Недоступность токоведущих частей для случайного прикосновения обеспечивается следующими способами: ограждением и расположением токоведущих частей на недосягаемой высоте или в недоступном месте, рабочая изоляция. Ограждения в виде корпусов, кожухов, оград выполняются сплошными и ли сетчатыми. Для доступа непосредственно к электрооборудованию или токоведущим частям последнего (при осмотре или ремонте) в ограждениях предусматриваются открывающиеся части: крышки, дверцы, двери и т.д. Эти части закрываются специальными запорами или снабжаются блокировками.

4.4.6 Химическая безопасность

Различают два вида источников загрязнения атмосферы: естественные и искусственные.

1. Естественное загрязнение окружающей среды происходит при извержении вулканов, выветривании горных пород, пыльных бурях, лесных пожаров, выносе морских солей.
2. Искусственное загрязнение окружающей среды характерно главным образом для городов и промышленных районов.

Насосы вакуумной установки работают в масле, а различные механические части требуют периодической обработки спиртом и смазки. В результате работы и обработки выделяются различные пары масла, ацетона и спирта.

Предельно допустимые концентрации содержания химически опасных веществ в воздухе рабочей зоны определены в ГОСТ 12.1.005-88. В

соответствии с санитарными нормами СН 245-71 предельно допустимые концентрации (ПДК) выявленных вредных веществ составляют:

- пары канифоли – 4 мг/м^3 , 3 класс опасности;
- пары этилового спирта – 200 мг/м^3 , 3 класс опасности;
- пары ацетона – 200 мг/м^3 , 3 класс опасности;
- пары бензина – 300 мг/м^3 , 4 класс опасности;

Вентиляция должна обеспечивать концентрацию выявленных вредных веществ не выше указанных значений [41]. Загазованность воздуха парами масла, ацетона, бензина и спирта устраняется наличием центробежного вентилятора.

В дополнение к общим защитным средствам применяются индивидуальные средства защиты. При работе с ядовитыми и загрязненными веществами, пользуются спецодеждой – халатами, фартуками и так далее. Дыхательные органы защищают изолирующими и фильтрующими приборами (ватно-марлевые повязки, респираторы, противогазы).

4.4.7 Сосуды, находящиеся под высоким давлением

Для получения экспериментальных образцов требуется газы аргон (Ar) и азот (N_2), которые находятся в баллонах под высоким давлением. Наполненные сжатым газом баллоны обладают большой энергией, и если в них образуются отверстия, то газ истекает из них с критической скоростью. Разрушение баллонов может явиться причиной взрыва, образовавшейся в нем взрывной среды.

Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, находящихся под высоким давлением описаны в ПБ10-115-96. Сосуд считается котлонадзорным, если его вместимость не превышает $0,025 \text{ м}^3$ (25 л)

независимо от давления и если он используется для научно-экспериментальных целей. Также котлонадзорными считаются сосуды и баллоны вместимостью не более 0,025 м³ (25 л), у которых произведение давления в МПа (кгс/см²) на вместимость в м³ (литрах) не превышает 0,02 (200), а также сосуды, работающие под давлением свыше 0,7 кгс/см² (без учета гидростатического давления), цистерны и бочки для перевозки сжиженных газов, давление паров которых при температуре до 50⁰С превышает 0,7 кгс/см²; сосуды, цистерны для хранения, перевозки сжиженных газов, жидкостей и сыпучих тел без давления, не опорожняемые под давлением газа свыше 0,7 кгс/см², баллоны, предназначенные для перевозки и хранения сжатых, сжиженных и растворенных газов с рабочим давлением свыше 0,7 кгс/см². Лабораторные сосуды имеют вместимость 0,040 м³ (40л) и используются в научных целях, поэтому считаются котлонадзорными.

При утечке газа из баллона возможно удушье, отравление, а также возгорание и взрыв, поэтому необходимо знать и неукоснительно соблюдать правила пользования газовыми приборами. К работе с баллонами допускается только персонал, обученный работе с сосудами высокого давления и редукторами.

4.5 Пожаро - взрывоопасность

Согласно нормам пожарной безопасности, в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д. Так как помещение лаборатории по степени пожароопасности относится к категории Д, так как в данном помещении содержатся негорючие

вещества и материалы в холодном состоянии.

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.

В качестве средств первичного пожаротушения предусмотрены порошковые огнетушители ОП-4, также пригодные для тушения электроустановок под напряжением до 1000В, а также для тушения пожаров и загораний нефтепродуктов, ЛВЖ и ГЖ, растворителей, твердых веществ.

К режимным мероприятиям относятся, установление правил организации работ, и соблюдение противопожарных мер. Эвакуация лаборатории осуществляется согласно плану пожарной эвакуации, представленному в приложении Б. Пунктиром, обозначен запасный выход с лаборатории.

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

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

4.6 Охрана окружающей среды

Лаборатория является не производственной, а значит отсутствует производственный мусор (в том числе и пожароопасный, и вредный для окружающей среды). Тем не менее могут быть приняты следующие меры по сохранению окружающей среды: сортировка мусора и последующая утилизация.

Отходы, содержащие гальванические элементы (например, батарейки) собирает на переработку компания «Батарейки, сдавайтесь!», у которой расположены точки сбора по всему городу.

Макулатура (черновики, отработанная бумага и т.п.) будет собираться в размерах более одного килограмма и утилизироваться по адресу 634024, г. Томск, ул. Трудовая, 11 компанией ООО «Пирс». Предварительно макулатура должна быть отчищена от посторонних предметов, таких как, например, скрепки.

Компания ООО «Экоорг» осуществляет утилизацию отработанных картриджей от принтеров практически всех компаний. Предварительная обработка картриджей бывших в употреблении не требуется.

ООО Научно-производственное предприятие «ЭКТОМ» осуществляет бесплатный сбор, обезвреживание и транспортировку опасных отходов отработанных люминесцентных ламп.

4.7 Особенности законодательного регулирования проектных решений

По данной теме рассматриваются законодательные и нормативные документы:

опасность поражения электрическим током:

- Инструкция №2-14 по охране труда при работе с электрооборудованием напряжением до 1000 В;
- ГОСТ 12.1.038-82 Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.
- ГОСТ 12.1.045-84 Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.

Опасность действия высокой температуры:

- ГОСТ 12.2.007.0-75 Изделия электротехнические. Общие требования безопасности.
- ГОСТ 30331.4-95 Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от тепловых воздействий.
- ГОСТ Р ИСО 6942-2007 Одежда для защиты от тепла и огня. Методы оценки материалов и пакетов материалов, подвергаемых воздействию источника теплового излучения.

Опасность поражения химическими веществами:

- ГОСТ Р ИСО 17491-4-2009 Одежда специальная для защиты от химических веществ.
- ГОСТ 12.0.004-90 ССБТ Организация обучения безопасности труда. Общие положения.

Опасность при работе с газовыми баллонами:

- инструкция №2-07 по охране труда при работе с баллонами, работающими под давлением.
- ГОСТ Р ИСО 11439-2010 Газовые баллоны. Баллоны высокого давления для хранения природного газа. Технические условия.

- ГОСТ Р 51982-2002 Регуляторы давления для газовых аппаратов с давлением на входе до 20 кПа. Общие технические требования и методы испытаний.

Микроклимат:

- ГОСТ 30494-96 Здания жилые и общественные помещения. Параметры микроклимата в помещении.
- ГОСТ 12.1.005 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
- СНиП 21-01-97 от 1998-01-01 Пожарная безопасность зданий и сооружений.

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.

4.8 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Лаборатория расположена в городе Томск с континентально-циклоническим климатом и природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т. д.), в данном городе отсутствуют.

Возможными ЧС на объекте в данном случае, могут быть сильные морозы и несанкционированное проникновение на рабочее место.

Для Сибири в зимнее время года характерны морозы и метели. В результате порывов ветра могут быть обрывы линий электропитания, из-за чего возможны перебои в электроснабжении; перегрузки, которые могут стать причиной пожара. Для предотвращения подобных ситуаций необходима организация системы аварийного электропитания, по возможности проведение линии электроснабжения под землей. Низкие

температуры могут привести к авариям систем теплоснабжения. В случае заморозки труб должны быть предусмотрены запасные газовые обогреватели с катализатором. Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась. Необходимо иметь суточный запас воды на складе, чтобы избежать обезвоживания персонала. В случае перебоев в расписании движения общественного транспорта должен быть предоставлен транспорт служебный.

Возможно несанкционированное проникновение на рабочее место. Угрозы могут быть как ложными, так и действительными, поэтому необходимы меры предосторожности по этому поводу. В качестве мер безопасности приняты следующие действия - установка системы видеонаблюдения и круглосуточной охраны, сохранение конфиденциальной информации о охранной системе. Для защиты от несанкционированного проникновения также должна быть введена пропускная система. Необходимо так же проводить информирование должностных лиц и тренировки по отработке действий на случай экстренной эвакуации. Помещение лаборатории закрывается на замок, ведется охрана вахтовым методом. В помещении установлена сигнализация.

V. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Покрyтия нитрида кремния представляют собой наноразмерную тонкопленочную структуру, которую используют в интегральных схемах. Основная функция такого рода покрытий – создание барьерного слоя, который предотвращает диффузию примесей. В связи с этим, актуальным становится исследование факторов, влияющих на свойства покрытий, для получения желаемых покрытий.

5.1. Предпроектный анализ

Настоящая работа посвящена исследованию свойств плёнок нитрида кремния и нахождения оптимального режима для получения стехиометрического состава при помощи магнетронной распылительной системы. На сегодняшний день произведено немало работ, целью которых является исследование факторов влияющих на свойства плёнок. Такими факторами могут быть режимы осаждения, конфигурации магнитного поля, электрического питания.

Область применения данной технологии: диэлектрические слои тонкоплёночных МДМ-конденсаторов интегральных микросхем в микроэлектронной промышленности.

5.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных решений целесообразно проводить при помощи оценочной карты, для этого были определены 2 конкурента на рынке.

В качестве объектов исследования были выбраны следующие: технология магнетронного осаждения (Бф); технология осаждения с помощью планарных магнетронных источников (K_1); технология химического осаждения (K_2).

Основные критерии следующие:

- относительно низкие затраты на производство;
- экологичность;
- безопасность;
- простота эксплуатации;
- повышенный срок эксплуатации;
- высокая функциональная мощность
- относительно низкая цена.

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

Расчет показателя конкурентоспособности производился по следующей формуле:

$$K = \sum_i B_i \cdot V_i, \quad (5.1)$$

где B_i – бал i -го показателя, V_i – вес показателя (в долях единицы).

Таблица 9 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		<i>Б_ф</i>	<i>Б_{к1}</i>	<i>Б_{к2}</i>	<i>К_ф</i>	<i>К_{к1}</i>	<i>К_{к2}</i>
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Экономичность	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
2. Экологичность	0,2	5	3	3	1	0,6	0,6
3. Надежность	0,07	5	4	3	0,35	0,28	0,21
4. Безопасность	0,15	5	3	3	0,75	0,45	0,45
5. Простота эксплуатации	0,1	5	3	3	0,5	0,3	0,3
Экономические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,07	5	4	3	0,35	0,28	0,21
2. Уровень проникновения на рынок	0,07	4	5	5	0,28	0,35	0,35
3. Затраты на технологию	0,07	5	4	4	0,35	0,28	0,28
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
5. Финансирование научной разработки	0,03	4	5	4	0,12	0,15	0,12
6. Срок выхода на рынок	0,04	5	4	4	0,2	0,16	0,16
Итого	1	53	44	40	4,9	3,75	3,48

Согласно вышеприведенному расчету видно, что предлагаемая нами технология осаждения покрытий нитрида кремния имеет более высокий показатель конкурентоспособности (4,9). Это обусловлено следующим рядом факторов: технология компактна и энергоэкономична, обладает высокой помехоустойчивостью, проста в эксплуатации и надежна. Что связано с принципом построения технологической линии, используемыми физическими принципами и наличием большого опыта по разработке технологий осаждения тонкопленочных структур. Суммарно это позволяет существенно снизить количество недостатков технологии и повысить число ее конкурентных преимуществ.

5.3. SWOT-анализ

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

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

Он проводится в несколько этапов.

1) Сильные стороны проекта.

Исходя из результатов исследования покрытий нитрида кремния, был сделан вывод, что данные покрытия могут быть использованы в качестве пассивирующих покрытий в интегральных микросхемах. Кроме того, они абсолютно безвредны, как и методика их получения (полностью экологична). Так же свойства данных покрытий ничуть не уступают аналогам.

2) Слабые стороны проекта.

К сожалению, данный проект находится на начальной стадии. Одним из важных минусов, замедляющих рост проекта, является отсутствие достаточной денежной поддержки со стороны университета и нехватка работников. Так же покрытия исследуются устаревшими методами, что ведет к неточности и редкой повторяемости нужного результата. Это затрудняет движение проекта в сторону коммерциализации. На данный момент конкуренты используют наиболее новую технику для получения и исследования данных покрытий.

3) Возможности.

При нехватке заграничного товара с повышенным ресурсом работы, наш товар смог бы удовлетворить спрос российского рынка при должном финансировании. Также, сейчас очень перспективными являются разработки, связанные с микротехнологией, что может повысить спрос на наш товар из-за его свойств.

4) Угрозы.

Опасным для нашего проекта является заполнение российского рынка товарами конкурирующих сторон и завоевание полного доверия потребителей. В связи с этим руководство может потерять интерес к развитию данного проекта и уменьшить финансирование. Так же одной из

угроз являются проблемы с техническим оборудованием, вывод, из строя которого останавливает процесс исследования.

Таблица 10 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Использование пленок в качестве пассивирующего покрытия;</p> <p>С2. Экологичность технологии и продукта;</p> <p>С3. Более простая методика получения;</p> <p>С4. Квалифицированный персонал;</p> <p>С5. Полная подготовка требуемого оборудования заказчику;</p> <p>С6. Соответствие заявленным свойствам продукта.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Проект находится на начальной стадии;</p> <p>Сл2. Отсутствие достаточной денежной поддержки;</p> <p>Сл3. Нехватка квалифицированных кадров по работе с научной разработкой у потенциальных потребителей;</p> <p>Сл4. Использование устаревшей техники для исследования;</p> <p>Сл5. Долгая доставка комплектующих установки при поломке оборудования.</p>
Возможности:		
В1. Замещение плазмохимической технологии на российском рынке;	<p>1. Продвижение НТИ на рынок</p> <p>2. При использовании научно-исследовательских достижений ТПУ можно улучшить качество продукции.</p> <p>3. Повышение экономичности и технологичности производства.</p>	<p>1. Поиск дополнительного финансирования в виде грантов и др.</p> <p>2. Повышение квалификации кадров у потенциальных потребителей</p> <p>3. Приобретение необходимого оборудования</p> <p>4. Сокращение поставок или смена поставщика</p>
В2. Возможность спроса на товар из-за стремления к инновациям с целью сохранения экологической обстановки;		
В3. Использование инновационной структуры ТПУ;		
Угрозы:		

У1. Отсутствие спроса на данный продукт;	1. Продвижение НТИ с целью создания спроса 2. Поиск дополнительного финансирования в виде грантов и др. 3. Сертификация и стандартизация продукта	1. Поиск дополнительного финансирования в виде грантов и др. 2. Повышение квалификации кадров у потенциальных потребителей 3. Приобретение необходимого оборудования 4. Сокращение поставок или смена поставщика 5. Продвижение НТИ с целью создания спроса
У2. Отсутствие интереса руководства к данному исследованию;		
У3. Уменьшение финансирования исследования;		
У4. Более современная научно-техническая база конкурентов;		
У5. Отсутствие оборудования для выполнения исследования.		

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

5.4. План проекта

Структура работ в рамках научного исследования

Для выполнения научных исследований сформирована рабочая группа, для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательных действий составлен перечень работ (таблица 11).

Таблица 11 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление технического задания	Руководитель

Выбор направления исследований	2	Изучение литературы	Студент
	3	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, Студент
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Подготовка установки к работе	Руководитель, Студент
	5	Подбор режимов нанесения покрытий	Студент
	6	Получение покрытий	Студент
	7	Исследование оптических свойств покрытий	Руководитель, Студент
	8	Исследование структуры покрытий	Руководитель, Студент
Обобщение и оценка результатов	9	Описание полученных результатов	Руководитель, Студент
Оформление отчета по НИР	10	Подготовка отчета о проделанной работе	Студент

Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается как:

$$t_{ож} = \frac{3t_{min} + 2t_{max}}{5},$$

где $t_{ож}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения работы в чел.-дн.;

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

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

Можно оценить продолжительность работ как:

$$T_p = \frac{t_{ож}}{Ч},$$

где T_p – продолжительность одной работы, раб. дн.;

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

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

Показатели трудоемкости можно найти в таблице 12.

Таблица 12 - Временные показатели проведения научного исследования (Р – руководитель; С – студент).

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}
	t_{min} , чел-дни	t_{max} , чел-дни	$t_{ож i}$, чел-дни		
Составление технического задания	1	11	5	Р, С	2
Изучение литературы	12	39	23	С	23
Подготовка установки к работе	3	16	8	Р, С	4
Календарное планирование работ по теме	3	12	7	Р, С	3

Подбор режимов нанесения покрытий	2	11	6	С	6
Получение покрытий	15	47	28	С	28
Исследование оптических свойств покрытий	3	12	7	Р, С	3
Исследование структуры покрытий	3	16	8	Р, С	4
Описание полученных результатов	3	12	7	Р, С	3
Подготовка отчета о проделанной работе	2	11	6	С	6

Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками T_{ki} , характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

$$T_{ki} = T_{pi} * k_{\text{кал}},$$

где $k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}},$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году, $T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году, $T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Исходя из таблицы 13 $k_{\text{кал}} = 1,22$.

Таблица 13 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

№ раб	Вид работ	Исполнители	$T_{ки}$, кал. дн.	Продолжительность													
				февр			март			апр			май				
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Составление технического задания	Р, С	3	■													
2	Изучение литературы	С	28	■	■	■											
3	Календарное планирование работ по теме	Р, С	5			■											
4	Подготовка установки к работе	Р, С	4			■											
5	Подбор режимов нанесения покрытий	С	7				■										
6	Получение покрытий	С	34					■	■	■							
7	Исследование оптических свойств покрытий	Р, С	4											■			
8	Исследование структуры покрытий	Р, С	5											■			
9	Описание полученных результатов	Р, С	4													■	
10	Подготовка отчета о проделанной работе	С	7														■
Р, С	■	С	■	Р – руководитель, С – Студент													

5.5 Бюджет научного исследования

Расчет сметы затрат необходим для определения себестоимости НТИ. В плановую себестоимость НТИ включаются все затраты, связанные с ее выполнением, независимо от источника их финансирования. Смета затрат

является основным документом, на относительно которого производят планирование и учет затрат на выполнение НИИ.

Для формирования бюджета научного исследования необходимо затраты представить по статьям расходов.

Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты:

Расчет стоимости материальных затрат производился по действующим прейскурантам (табл. 14). В стоимость материальных затрат включены транспортно-заготовительные расходы.

Таблица 14 - Сырье и материалы

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Кремниевый катод	BT1-0	1	10185	10185
Баллоны	Ar, 99,9%	1	6000	6000
Баллоны	N ₂ , 99,9%	1	6000	6000
Всего за материалы				22185
Транспортно-заготовительные расходы (3 – 5%)				1200
Итого по статье				23385

Специальное оборудование для научных работ

В данную статью включены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения экспериментальных работ. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам и по договорным ценам (табл. 15). Затраты по доставке и монтажу заложены в цену оборудования.

Таблица 15 - Расчет затрат по статье «Специальное оборудование для научных работ»

№	Наименование оборудования	Кол-во	Цена за ед. оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость, тыс. руб.
1	Эллипсометр «Эллипс-1891»	1	250	250
2	ИК-Фурье спектрометр «Инфралюм –ФТ 801»	1	150	150
Итого по статье				400

Первоначальную стоимость установки для нанесения покрытий можно оценить в 400000 руб, а срок полезного использования 5 лет, тогда годовая сумма амортизационных отчислений – $A_{\text{год}} = \frac{400000 \cdot 5}{100\%} = 20000$ руб.

В рамках данного исследования установка использовалась в течение 30 дней, поэтому сумма амортизации составит:

$$A = \frac{20000}{12} = 1666 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата исполнителей темы

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, включая премии, доплаты:

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}$$

где $Z_{\text{осн}}$ - основная заработная плата; $Z_{\text{доп}}$ - дополнительная заработная плата.

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

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} * T_p$$

где $Z_{\text{осн}}$ - основная заработная плата одного работника; T_p - продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.; $Z_{\text{дн}}$ - среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} * M}{F_{\text{д}}}$$

где $Z_{\text{м}}$ - месячный должностной оклад работника, руб. (окладом студента выступает стипендия, 1800 руб.); M - количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

$F_{\text{д}}$ - действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн. (таблица 17).

Месячный должностной оклад

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} * (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) * k_{\text{р}}$$

где $Z_{\text{б}}$ - базовый оклад, руб; $k_{\text{р}}$ - районный коэффициент, равный для Томска 1,3; $k_{\text{пр}}$ - премиальный коэффициент, равный 0,3; $k_{\text{д}}$ - коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2.

Таблица 16 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни	52	52

- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
- невыходы по болезни	-	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251

Таблица 17 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{б}$, руб.	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$Z_{м}$, руб.	$Z_{дн}$, руб.	$T_{р}$, раб.дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	28 924	0,3	0,2	1,3	37 601	1 557	19	29 583
Студент	1 800	-	-	1,3	2 340	90	82	7 380
Итого $Z_{осн}$								36 963

Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} * (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,271 * 36963 \text{ руб.} = 10017 \text{ руб.}$$

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

Накладные расходы

В качестве накладных расходов выступают расходы на электроэнергию. Учитывая, что тариф составляет 5,8 руб./(кВт*ч), мощность оборудования (персональный компьютер, источника питания для установки) равна 0,9 кВт и 0,5 кВт соответственно. Трудозатраты – 606 ч для ПК; 241 ч

для установки. Таким образом, накладные расходы: $5,8*234*0,9=1221$ руб;
 $5,8*241*0,5=699$ руб; $1221+699=1920$ руб.

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в табл. 18.

Таблица 18 - Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Сырьё и материалы	23385
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	400000
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	36963
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей	0
5. Отчисления во внебюджетные фонды	10017
6. Накладные расходы	1920
7. Бюджет затрат НИИ	944570

5.6 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основании расчета интегрального показателя эффективности научного исследования, что связано с определением финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Его определение основано на двух средневзвешенных величинах – финансовая эффективность и ресурсоэффективность. Другими словами, нам следует определить, насколько эффективна разработка, проведенная в данной работе, и есть ли пути повышения эффективности для ее улучшения.

Интегральный финансовый показатель разработки следующий:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_p}{\Phi_{max}}, \quad (5.2)$$

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получим в ходе оценки затрат двух конкурентных решений, которые мы анализировали в п. 5.2.

В качестве объектов сравнения были выбраны следующие: технология осаждения с помощью планарных магнетронных источников (B_1), технология химического осаждения (B_2).

Таблица 19 - Интегральный финансовый показатель разработок

№	B	B₁	B₂
Φ_{pi}	141635	140387	311970
I_{Φ}^p	0,454	0,45	1

Таким образом, наиболее экономичное техническое решение – технология осаждения с помощью планарных магнетронных источников (B_1), которая уступает по ряду других характеристик (см. табл. 9).

Следующий параметр оценки сравнительной эффективности исследования – интегральный показатель ресурсоэффективности для текущего проекта и аналогов – определим по следующим формулам:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a \text{ и } I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p, \quad (5.3)$$

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

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы, пример которой приведен ниже.

Таблица 20 - Сравнительная характеристика вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерий	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
Экономичность	0,2	5	3	4
Экологичность	0,2	5	5	4
Безопасность	0,3	3	3	2
Простота эксплуатации	0,3	4	4	2
Итого	1	17	15	12
Интегральный показатель ресурсоэффективности		4,1	3,7	2,8

Интегральный показатель эффективности разработки и аналогов определяется на основании подсчитанных интегральных показателя ресурсоэффективности и финансового показателя по формулам:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_\phi^p}, \quad I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_\phi^a}, \quad (5.4)$$

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

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^a}, \quad (5.5)$$

где $\mathcal{E}_{ср}$ – сравнительная эффективность проекта; $I_{финр}^p$ – интегральный показатель эффективности разработки; $I_{финр}^a$ – интегральный показатель эффективности аналога.

Расчет сравнительной эффективности проекта представлен в таблице 21.

Таблица 21 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Аналог 1	Аналог 2	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель	0,45	1	0,454
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности	3,7	2,8	4,1

3	Интегральный показатель эффективности	8,2	2,8	9
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,1	3,2	

Анализируя сравнительную эффективность всех вариантов исполнения, можно сказать, что текущая разработка – наиболее эффективна. Финансовые затраты проекта незначительно выше, чем для аналога 1, однако по показателю ресурсоэффективности она значительно его превосходит.

Вывод по главе 5

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

Проанализирован целевой рынок и произведено сегментирование потенциальных покупателей разрабатываемых технологий или готового продукта. Также проведен SWOT-анализ и составлена итоговая матрица SWOT-анализа. Приведен план проекта и рассчитан бюджет научного исследования, плановая себестоимость НИИ которого составляет 944570 руб.

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

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения работы были исследованы различные режимы осаждения плёнок Si_3N_4 с помощью МРС. Были измерены скорости осаждения покрытия, показатель преломления, концентрация связей Si-N и проведено исследование морфологии поверхности.

Было установлено, что скорость осаждения плёнок Si_3N_4 зависит от скорости потока азота в камеру: увеличение потока N_2 приводит к уменьшению скорости. Источник питания оказывает существенное влияние на скорость нанесения покрытий.

Увеличение потока N_2 в рабочую камеру приводит к уменьшению показателя преломления с 2,7 до 1,7. При потоках 5,25 см³/мин (100 кГц), 6,75 см³/мин (DC) и 7,5 см³/мин (134 кГц) показатель преломления соответствует стехиометрическому Si_3N_4 ($n = 1,95 - 2,01$).

Количественный анализ ИК-спектров показал, что концентрация связей Si-N у образцов при определённых значениях потоков азота, различных в зависимости от типа источника питания МРС, на 2 порядка выше. Эти результаты согласуются с измерениями показателя преломления покрытий. Это может свидетельствовать о составе плёнок близком к стехиометрическому.

Изучение морфологии поверхности покрытий выявило, что все образцы имеют равномерную структуру с размером зерна 20-50 нм. Осаждение плёнок нитрида кремния в импульсном режиме позволяет исключить проблему капельной фракции, характерную для постоянного тока.

Таким образом, установлено, что в зависимости от используемого источника питания, существуют определенные соотношения потоков аргона

и азота, которые обеспечивают осаждение плёнок Si_3N_4 состава близкого к стехиометрическому. Однако, при использовании источника питания с постоянным током, на покрытии образуется большое количество капельной фракции, которая существенно снижает его функциональные характеристики. Поэтому, более предпочтительно применять импульсные источники питания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковалгин А.Ю. Исследование процессов плазмохимического осаждения пленок нитрида кремния: дис. ... канд. техн. наук: – СПб., 1995. – 237 с.
2. Remote plasma-enhanced chemical vapour deposition of silicon nitride at atmospheric pressure. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.seas.ucla.edu/prosurf/Publications/paper83-PSST.pdf> (дата обращения: 20.03.2017).
3. Silicon nitride deposited by inductively coupled plasma using dichlorosilane and ammonia [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.researchgate.net/publication/228864159_Silicon_nitride_deposited_by_inductively_coupled_plasma_using_dichlorosilane_and_ammonia (дата обращения: 22.04.2017)
4. Characterisation of the silicon nitride thin films deposited by plasma magnetron / A. Batan, A. Franquet, J. Vereecken and F. Reniers // The 12th European Conference on Applications of Surface and Interface Analysis. – Brussels, Belgium, 2008. – Vol. 40, Iss. 3–4. – P. 754–757
5. Cost effective low stress SiN for mems. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.spts.com/banners/cost-effective-low-stress-sin-for-mems> (дата обращения: 22.03.2017)
6. Low-pressure CVD and Plasma Enhanced CVD. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.ece.umd.edu/class/enee416/GroupActivities/LP_CVD-PECVD.pdf (дата обращения: 23.03.2017)
7. Silicon nitride films deposited by atmospheric pressure chemical vapor deposition. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.researchgate>

.net/publication/228546128_Remote_plasma-enhanced_chemical_vapour_deposition_of_silicon_nitride_at_atmospheric_pressure (дата обращения: 26.03.2017)

8. High rate deposition of silicon nitride films by APCVD. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.products.cvdequipment.com/applications/siliconnitrides/> (дата обращения: 26.03.2017)

9. X. Lin, D. Endisch, X. Chen, A. Kaloyeros, Center for Advanced Thin Film Technology and Physics Department. Silicon nitride films deposited by atmospheric pressure chemical vapor deposition. Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 495, 1998, pp. 107-112.

10. Dr. Owain Thomas. Inductively coupled plasma chemical vapor deposition (ICP-CVD). Oxford Instruments Plasma Technology Ltd, 2010, pp. 14

11. H. Zhou, C. Sim, A. Glidle. C. Hodson, R. Kinsey, C. D. W. Wilkinson. Properties of Silicon Nitride by Room-Temperature Inductively Coupled Plasma Deposition. Plasma deposition of thin film, 2004, pp. 77-86.

12. Сыркин В.Г. CVD-метод. Химическое парофазное осаждение, М., Наука, 2000.

13. P. Temple-Boyer, C. Rossi, E. Saint-Etienne, E. Scheid. Residual stress in low pressure chemical vapor deposition SiN_x films deposited from silane and ammonia. J. Vac. Sci. Technol. A, Vol. 16, No.4, Jul/Aug 1998.

14. Bräuer G. Large area glass coatings // Surface and Coatings Technology, 1999. - v. 112. - p. 358-365.

15. Gläser H.J. History of the Development and Industrial Production of Low Thermal Emissivity Coatings for High Heat Insulating Glass Units // Applied Optics, 2008. - v. 47. - p. 193-199.

16. Суханов А. Б., Чудинов Б. М. Низкоэмиссионное покрытие, нанесенное на прозрачную подложку: патент Росс. Федерации № 2190692 С1 от 13.03.2001, опубликован 10.10.2002.
17. Берлин Е.В., Сейдман Л.А. Получение тонких пленок реактивным магнетронным распылением. М.: Техносфера, 2014. - 256 с.
18. Scholl R., Belkind A., Zhao Z. // Anod Problems in Pulsed Power Reactive Sputtering of Dielectrics // 42th Annual Techn. Conf. Proc. 1999 of Soc. of Vac. Coaters, p. 169-175.
19. Carter D. and all. Parameter Optimization in Pulsed DC Reactive Sputter Deposition of Aluminum Oxide // 45th Annual Techn. Conf. Proc. 2002 of Soc. of Vac. Coaters, p.570-577.
20. Руководство пользователя для источника электропитания магнетронной распылительной системы APEL-M-10PDC-800-1. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://apelvac.com /f/37/92/APEL-M-10PDC-800-1.pdf](http://apelvac.com/f/37/92/APEL-M-10PDC-800-1.pdf) (дата обращения: 22.04.2017)
21. ООО «Интеллектуальные промышленные системы»: блоки питания магнетронов DC magnetron power supplies. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ips.tomsk.ru/archives/124> (дата обращения: 22.04.2017)
22. Смит А. Прикладная ИК - спектроскопия/ Под ред. Мальцева А.А.; Пер. с англ. - М.: Мир, 1982. - 328 с.
23. Казицына Л.А., Куплетская Н.Б. Применение УФ-, ИК- и ЯМР - спектроскопии в органической химии. - М.: Высш. школа, 1971. - 264 с.
24. Исакова О.П., Тарасевич Ю.Ю., Юзюк Ю.И. Обработка и визуализация данных физических экспериментов с помощью пакета Origin. Анализ и обработка спектров. Учебно-методическое пособие. – Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, 2007.- 76 с.

25. Бойчинова Е.С., Брынзова Е.Д., Зорин Б.Я., Мохов А.А., Смирнова В.И., Тимофеева В.Н. Инфракрасная спектроскопия. - Л.: ЛТИ, 1989. - 58 с.
26. Кутков И.В. Исследование пленок Si_xN_y методами ИК-спектроскопии и эллипсометрии, Научная сессия ТУСУР – 2012: Материалы Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 16–18 мая 2012г. – Томск: В-Спектр, 2012: В 65 частях. – Ч. 2. – с. 138-141.
27. Крылов А.С., Втюрин А.Н., Герасимова Ю.В. Обработка данных инфракрасной Фурье спектроскопии. Методическое пособие. Препринт № 832 Ф. Красноярск, Институт физики СО РАН, 2005. – 48 стр
28. Белый В. И., Васильева Л. Л., Грищенко В. А. и др. Нитрид кремния в электронике. – Новосибирск: Наука, 1982. – 200с.
29. Raith nanofabrication [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.raith.com/products/raith150-two.html>, свободный. (дата обращения: 2.05.2017)
30. W. Zhou. Scanning Microscopy for Nanotechnology / W. Zhou, Z. L. Wang // Springer – 2006. 522 p.
31. М. М. Криштал. Руководство по работе с программным обеспечением SmartSEM / М. М. Криштал, И. С. Ясников, В. И. Полуин и др. // 2007. – Vol. 05.03.
32. Сканирующая электронная микроскопия и рентгено-спектральный микроанализ в примерах практического применения // М.: Техносфера – 2009. – 207 С.
33. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений

34. ГОСТ 12.1.029-80. Средства и методы защиты от шума, 1980. - 4 с.
35. ГОСТ 12.4.026-76. Система стандартов безопасности труда. Цвета сигнальные и знаки безопасности, 1996. - 33 с.
36. Григорьев Ю. Г. и др. Персональный компьютер: физические факторы, воздействие на пользователя //Радиационная биология. Радиоэкология.-М.: Наука. – 2001. – Т. 41. – №. 2. – С. 195-206.
37. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы, 2003. - 56 с.
38. ГОСТ 12.2.062-81. Оборудование производственное. Ограждения защитные. - М.: Стандартиформ, 2008. - 4 с.
39. ГОСТ 12.2.085-82. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. - М.: Стандартиформ, 2007. - 15 с.
40. ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. - М.: Стандартиформ, 2000. - 7 с.
41. ГОСТ 12.1. 005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. - М.: Изд-во стандартов. – 1991.

Приложение А

Раздел 1 СВОЙСТВА И ПОЛУЧЕНИЕ ПЛЁНОК НИТРИДА КРЕМНИЯ

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б31	Петраков Юрий Вячеславович		

Консультант кафедры ОФ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедрой общей физики	Лидер Андрей Маркович	к.ф.-м.н.		

Консультант – лингвист кафедры иностраннных языков:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель кафедры иностранных языков	Кабрышева Оксана Павловна			

I. PROPERTIES AND METHODS FOR PRODUCING SILICON NITRIDE FILMS

1.1. Properties of thin silicon nitride films

Dielectric silicon nitride films have a complex of unique physical, chemical and mechanical properties. This compound is increasingly used in the manufacture of semiconductor devices and integrated microcircuits to protect the surface of silicon, gallium arsenide substrates during local diffusion, local oxidation, local etching, and also to protect the finished structures from the environment [3].

The main characteristics of silicon nitride films, providing an increased interest of specialists in the field of microelectronics, primarily include the following:

- high diffusion resistance with respect to moisture, alkali metal ions, as well as diffusing elements widely used in electronic engineering;
- good electrical insulating and dielectric properties (specific breakdown voltage of 107 V / cm, tangent of the dielectric loss angle is 1-10⁻⁴, etc.);
- Increased chemical resistance in aggressive gas and liquid media (including high temperature conditions), but it does not exclude, however, the conduct of photolithographic operations;
- chemical inertness in relation to materials (semiconductors, dielectrics, metals, etc.), widely used in the technology of semiconductor devices;
- high thermal stability.

In addition, the main parameters of silicon nitride films used in microelectronics are low mechanical film tension, high rate of liquid etching, high breakdown voltage, uniform thickness.

The numerical values of the characteristics required for silicon nitride films are presented in Table 1 [4].

Table 1. Properties of the silicon nitride film.

Resistivity	$10^5 - 10^{19} \Omega/\text{cm}$
Breakdown Voltage	$1 - 6 \cdot 10^6 \text{ V/cm}$
Refractive index	1,95 – 2,05
Mechanical tension	-200 – 200 MPa
Uniformity of thickness	< 4 %

1.2. Methods for obtaining thin silicon nitride films

Films of silicon nitride can be obtained both chemically and physically, such as plasma-chemical deposition from the gas phase and magnetron sputtering.

1.2.1. Chemical vapor deposition

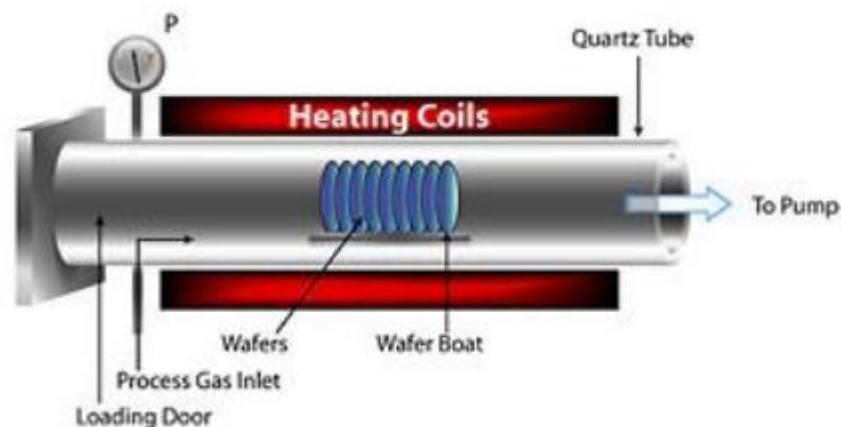
The deposition from the gas phase can be interpreted as the condensation of gaseous elements or compounds with the formation of solid precipitates.

When chemical deposition from the gas phase (CVD), the compositions of the gas phase and the precipitate have a significant difference. The volatile compound of the deposited element is supplied to a substrate where it undergoes thermal decomposition, or enters a reducing reaction with vapors of other gases; While nonvolatile reaction products are deposited on the surface of the substrate. Precipitation results from a large number of chemical reactions that occur in the gas phase near the surface of the substrate and on its surface, which complicates

the deposition process, but makes it much more versatile and flexible. Also, CVD processes are called reactive deposition from the gas phase [5].

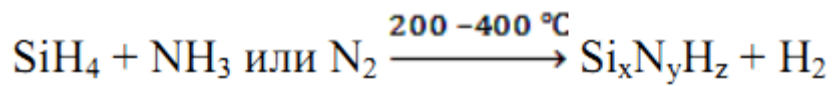
PVD is a universal and energy-efficient method of coating formation by controlled deposition of a substance in the form of individual atoms or molecules in order to obtain films with high characteristics.

The CVD system consists of a quartz tube placed in a spiral heater at a very low pressure of about 0.1 Pa. The tube is heated to the desired temperature. The working gas is introduced into the tube at a preset pressure between 10 - 1000 Pa. The working gas consists of a carrier gas and a reactive gas that will react with the substrate and create a solid phase material on the substrate. After gas enters the tube, it spreads around the substrates in the tube at the same temperature. The substrate temperature is an important element and affects the course of the reactions. The working gas reacts with the substrates and forms a solid phase material, and the excess gas is evacuated from the tube [6].



Picture 1 – CVD process

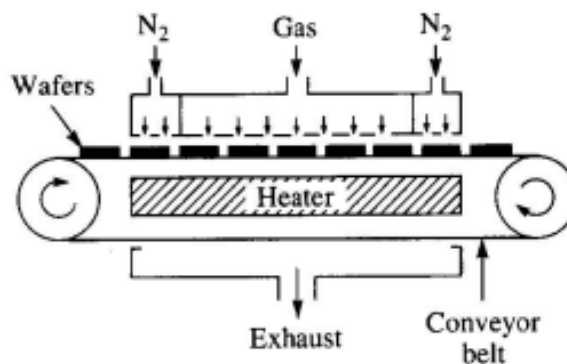
Films of silicon nitride are deposited by chemical deposition from the gas phase at low pressure using silane and ammonia. The reaction of obtaining is presented:



1.2.2. Atmospheric chemical vapor deposition

The method of atmospheric chemical vapor deposition (ACVD) is known for its high reaction rates and simplicity of design. Therefore, some reactions can be made at atmospheric pressure [7].

For deposition of a dielectric more than 400 nm, high deposition rates of more than 100 nm / min are used. Figure 2 shows a simple example of an ACVD reactor. This design was often used to precipitate a silicon dioxide layer as one of the last steps in the integration of circuits. Reagent gas flows through the central section enter the reactor and are held by nitrogen streams. Plates from the cassette sections fall on the heating track. Gases are introduced by means of a gas shower over the plates [8]



Picture 2 – ACVD process

The substrates can be continuously fed through the system. Plates of large diameter are easier to handle. A disadvantage of this type of reactor is that a high gas flow rate is required. The temperature can vary from 240 to 450 ° C.

The main disadvantage of ACVD, apart from its low homogeneity, is the formation of particles. This is a special problem for this type of reactor. Addition of a sufficient amount of nitrogen or an inert gas makes it possible to control the formation of particles in the gas phase. But there is also a problem with precipitation. Even if the growth rate of these particles is low, after several plates, the particles will become large enough to peel off and get on the surface of the plate. To avoid problems, the gas shower is segmented in such a way as to maintain the gas reagents separated until they are introduced into the chamber [9].

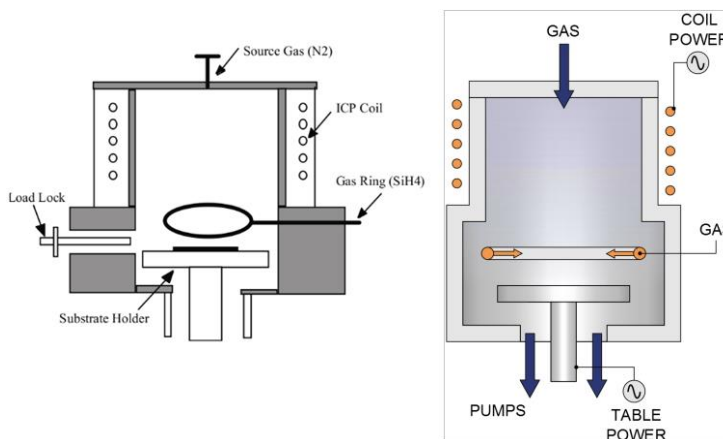
1.2.3. Stimulated by inductively coupled plasma, chemical vapor deposition

Stimulated by inductively coupled plasma, chemical vapor deposition (ICP-CVD) is a method of low-temperature deposition of Si_3N_4 films in which an inductive coil creates a high-density, large-diameter plasma in a small pressure range [10]. The main advantage of ICP-CVD technology in comparison with PECVD technology is its low deposition temperature. This advantage led to minimal degradation of the device at high temperatures [11].

In the paper [6], the Plasmalab System 100 ICP 180 system from Oxford Instruments Plasma Technology was used to deposit the Si_3N_4 films. Schematically it is presented in Figure 3. The coil is connected to an RF generator at a frequency of 2 MHz and a power of 2.5 kW. The RF current flowing through the coil generates an HF magnetic flux along the axis of the cylinder. At the same time, this magnetic flux induces the HF electric field inside the cylinder. The induced electric field accelerates the electrons. Finally, these accelerated electrons create a high-density plasma in an inductive system. Its power controls the dissociation of the

plasma and the density of the incident ions in the chamber. The bottom electrode is separately powered by a 13.56 MHz, 300 watts generator that allows you to independently monitor the bias voltage, that is, the collision energy of ions with the sample. In order to reduce the plasma-induced damage during the deposition process and the level of mechanical tension (stress) in the deposited films.

Samples are loaded automatically from the pumped loading lock to the reactor to maintain good vacuum stability in the chamber and, therefore, excellent reproducibility of the deposition results. The system has a precise control of the substrate temperature from -150 oC to 200 oC, using an electric heater and liquid nitrogen. A wide temperature range is important for an improved plasmachemical deposition process for various substrate materials.



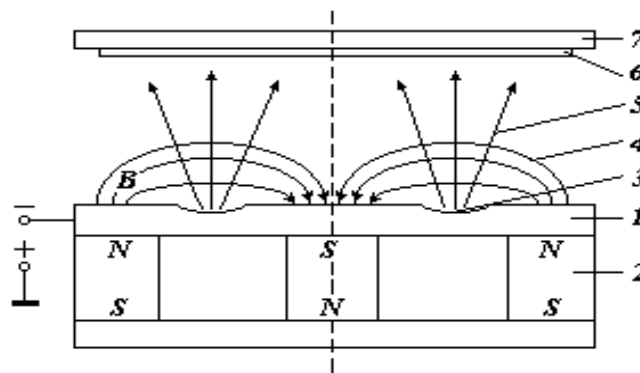
Picture 3 - Plasmalab System 100 ICP 180

Since the total content of hydrogen in silicon nitride greatly affects the properties of the resulting film, replacing ammonia (NH_3) with nitrogen (N_2) will reduce the amount of hydrogen in these films [12]. High-purity N_2 enters the chamber through the top of the cylinder, while the monosilane is introduced into the deposition chamber through the gas distribution ring, which is shown in Figure 3. The gas flow rate is controlled with a gas flow regulator with an accuracy of 5%

of the set flow rate. The automatic pressure controller monitors the pressure (from 2 to 20 mTorr) [13].

1.2.3. Magnetron Sputtering

One of the most effective physical methods for depositing films is the method of magnetron deposition of materials [14]. This method is a kind of ion-plasma deposition. Sputtering of the material in these systems is due to the bombardment of the surface of the target by ions of the working gas. Sputtering speed in the magnetron system is 50-100 times higher than in conventional ion-plasma sputtering. This is determined by the high density of the ion current on the target, which is achieved by localizing the plasma at the target surface with the help of a strong transverse magnetic field [15].



Picture 4 - Scheme of the magnetron sputtering system: 1 - target; 2 - magnetic system; 3 - spray area; 4 - magnetic lines of force; 5 - flow of the sprayed substance; 6 - substrate; 7 - substrate holder.

The surface of the target, which is located between the entrance and exit points of the magnetic field lines, is intensely atomized and has the form of a closed path, the geometry of which is determined by the shape of the poles of the magnetic system. An anomalous glow discharge is created and an inhomogeneous

electric field arises in the presence of a constant voltage between the walls of the chamber and the target (negative potential). Electrons under the action of ion bombardment escape from the surface of the cathode. They begin to make a complex cycloidal motion at the surface of the target, being captured and retained by a magnetic field [16].

The electrons under the action of a magnetic field, returning to the cathode, which repels them, are trapped. Within this trap, they cycle until several collisions with the gas atoms occur, and the electrons do not lose the energy received from the electric field [17].

Unlike other methods of depositing thin-film coatings, the method of magnetron sputtering allows to fine-tune the thickness of the metal layer, and hence its resistance, which is very important for creating structures with a certain conductivity.

Precipitation of films of chemical compounds (oxides, metal nitrides, etc.) is realized in a mixed gas medium containing a mixture of reaction and working gases. In such a case, the formation of films of metal oxides or nitrides occurs due to a chemical reaction between the atoms of the sputtered target and the reaction medium (O_2 , N_2). The use of reaction gas for the deposition of films of metal oxides and nitrides with the help of direct current magnetrons causes an extremely unstable deposition process, which excludes the possibility of using them for solving technological problems. The reason for the instability of the deposition process is the flow of plasma-chemical reactions not only on the substrate, but also on the target surface, the walls of the vacuum chamber, etc. In this connection, the following problems arise in reactive magnetron sputtering:

- appearance of electrical breakdowns and micro-arcs on the surface of the target;

- problem of the "disappearing" anode;
- a sharp decrease in the sputtering rate of the target [18].

The occurrence of electrical breakdowns and micro-arcs on the surface of the target is associated with the formation of a dielectric film, which leads to the accumulation of an excess positive electric discharge, which attracts electrons from the target and forms a strong electric field in the dielectric [16]. The formation of a strong electric field in a certain region (cathode spot) promotes collective emission of electrons, which ionize the substance of the gaseous medium and increase the conductivity of the given gap. A micro-arc is formed in which the cathode material is transformed from the solid phase into plasma. When the cathode spot is formed, all the energy supplied by the power source is concentrated on this area. As a result, local melting of the cathode material and its emission occur. In this case, the flow of deposited particles contains microdrops and particle fractions, which causes the formation of defective films.

The use of a pulsed medium-frequency magnetron supply can eliminate the problem of the occurrence of electrical breakdowns and micro-arcs on the target surface [19]. The mechanism for eliminating this problem is based on the exclusion of the accumulation of a positive electric charge due to the fact that during the pause of the sputtering the positive charge is eliminated by drawing electrons from the plasma. The process of compensation of the positive charge from the plasma is of the order of 0.4-1 μ s. In connection with this, it is actual to use exactly pulsed MF power supplies with an operating frequency of 10-350 kHz.

The problem of a "vanishing" anode also occurs in reactive magnetron sputtering due to the formation of a dielectric film on the anode, vacuum parts, and chamber walls. Electrons from the discharge plasma settle on the surface of dusty parts, thereby forming a negative potential. The problem of the "vanishing" anode

negatively affects the spraying speed, its heterogeneity in space and time arises. In addition, an electric field appears at the surface of the anode, which can lead to breakdown and, accordingly, contamination of the deposited film, destabilization of the reactive process. Part of this problem is solved with the use of a midrange power supply, however, the mobility of ions is much lower than that of ions, so the compensation of the negative charge is less effective than in the case of positive charge compensation at the cathode.

The main advantages of the method are low substrate temperatures, high deposition rates, high density and good uniformity in coating thickness, long-term process stability and good controllability, which is associated with a higher energy of the condensing particles during magnetron sputtering and additional surface activation by the action of plasma. The method of magnetron sputtering is relatively cheap and allows deposition of coatings on substrates of a large area.

REFERENCES

1. Kovalgin A.Yu. Investigation of the processes of plasma-chemical deposition of silicon nitride films: dis. ... cand. of Engin. Sciences: - St. Petersburg, 1995. - 237 c.
2. Remote plasma-enhanced chemical vapour deposition of silicon nitride at atmospheric pressure. Retrieved March 20, 2017, from web site: <http://www.seas.ucla.edu/prosurf/Publications/paper83-PSST.pdf>
3. Silicon nitride deposited by inductively coupled plasma using dichlorosilane and ammonia. Retrieved April 22, 2017, from web site: http://www.researchgate.net/publication/228864159_Silicon_nitride_deposited_by_inductively_coupled_plasma_using_dichlorosilane_and_ammonia
4. Characterisation of the silicon nitride thin films deposited by plasma magnetron / A. Batan, A. Franquet, J. Vereecken and F. Reniers // The 12th European Conference on Applications of Surface and Interface Analysis. – Brussels, Belgium, 2008. – Vol. 40, Iss. 3–4. – P. 754–757
5. Cost effective low stress SiN for mems. Retrieved March 2, 2017, from web site: <http://www.spts.com/banners/cost-effective-low-stress-sin-for-mems>
6. Low-pressure CVD and Plasma Enhanced CVD. Retrieved March 23, 2017, from web site: <http://www.ece.umd.edu/class/enee416/GroupActivities/LPCVD-PECVD.pdf>
7. Silicon nitride films deposited by atmospheric pressure chemical vapour deposition. Retrieved March 26, 2017, from web site: http://www.researchgate.net/publication/228546128_Remote_plasma-enhanced_chemical_vapour_deposition_of_silicon_nitride_at_atmospheric_pressure

8. High rate deposition of silicon nitride films by APCVD. Retrieved March 26, 2017, from web site: <http://www.products.cvdequipment.com/applications/siliconnitrides/>
9. X. Lin, D. Endisch, X. Chen, A. Kaloyeros, Center for Advanced Thin Film Technology and Physics Department. Silicon nitride films deposited by atmospheric pressure chemical vapor deposition. *Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 495*, 1998, pp. 107-112.
10. Dr. Owain Thomas. Inductively coupled plasma chemical vapor deposition (ICP-CVD). Oxford Instruments Plasma Technology Ltd, 2010, pp. 14
11. H. Zhou, C. Sim, A. Glidle, C. Hodson, R. Kinsey, C. D. W. Wilkinson. Properties of Silicon Nitride by Room-Temperature Inductively Coupled Plasma Deposition. *Plasma deposition of thin film*, 2004, pp. 77-86.
12. Syrkin V.G. CVD method. *Chemical vapor deposition*, M., Science, 2000.
13. P. Temple-Boyer, C. Rossi, E. Saint-Etienne, E. Scheid. Residual stress in low pressure chemical vapor deposition SiN_x films deposited from silane and ammonia. *J. Vac. Sci. Technol. A*, Vol. 16, No.4, Jul/Aug 1998.
14. Bräuer G. Large area glass coatings // *Surface and Coatings Technology*, 1999. - v. 112. - p. 358-365.
15. Gläser H.J. History of the Development and Industrial Production of Low Thermal Emissivity Coatings for High Heat Insulating Glass Units // *Applied Optics*, 2008. - v. 47. - p. 193-199.
16. Sukhanov A. B., Chudinov B. M. Low-emissive coating deposited on a transparent substrate: the patent Russian Federation No. 2190692 C1 of 13.03.2001, published in 10.10.2002.

17. Berlin E.V., Seidman L.A. Production of thin films by reactive magnetron sputtering. M.: Technosphere, 2014. - 256 p.

18. Scholl R., Belkind A., Zhao Z. // Anod Problems in Pulsed Power Reactive Sputtering of Dielectrics // 42th Annual Techn. Conf. Proc. 1999 of Soc. of Vac. Coaters, p. 169-175.

19. Carter D. and all. Parameter Optimization in Pulsed DC Reactive Sputter Deposition of Aluminum Oxide // 45th Annual Techn. Conf. Proc. 2002 of Soc. of Vac. Coaters, p.570-577.

Приложение Б

(справочное)

План эвакуации в случае пожара

ПРИ ПОЖАРЕ ЗВОНИТЕ 01
Внимание!
Для вызова "01" с телефонов сотовых операторов необходимо набрать: Билайн, МегаФон, МТС – "010"

ПЛАН ЭВАКУАЦИИ

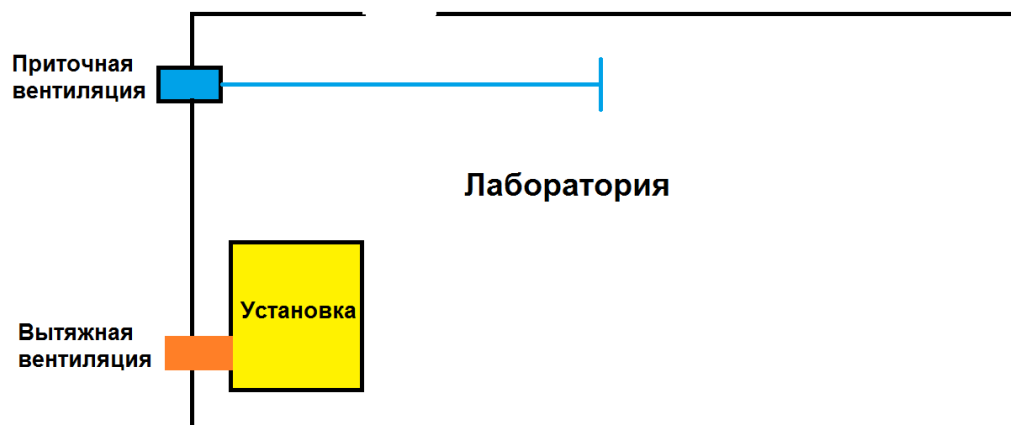
из помещений главного корпуса ТПУ,
пр. Ленина, 30 - второй этаж

ДЕЙСТВИЯ ПРИ ПОЖАРЕ	УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ	ДЕЙСТВИЯ ПРИ АВАРИИ
Сохранять спокойствие!		Сохранять спокойствие!
1 Сообщить по телефону: 01 <ul style="list-style-type: none"> - адрес - место возникновения пожара - свою фамилию 	<ul style="list-style-type: none"> Направление движения к эвакуационному выходу Путь к основному эвакуационному выходу Путь к запасному эвакуационному выходу Кнопка включения средств и систем пожарной автоматики Аптечка первой медицинской помощи Эвакуационный выход Телефон Вы находитесь здесь! 	<ul style="list-style-type: none"> - адрес - что случилось, имеются ли пострадавшие - свою фамилию
2 Эвакуировать людей <ul style="list-style-type: none"> - ориентироваться по знакам направления движения - взять с собой пострадавших 	<ul style="list-style-type: none"> Пожарный кран Огнетушитель Электроцит 	2 Локализовать аварию <ul style="list-style-type: none"> - предотвратить развитие аварии - обозначить место аварии - использовать средства защиты
3 По возможности принять меры по тушению пожара <ul style="list-style-type: none"> - использовать средства противопожарной защиты - обесточить помещение пожара 		3 Эвакуировать людей <ul style="list-style-type: none"> - оказать помощь пострадавшим - ориентироваться по знакам - взять с собой пострадавших

Приложение В

(справочное)

Упрощенная схема приточной и вытяжной вентиляции помещения



Приложение Г

(справочное)

План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

