



Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки – 14.03.02 Ядерные физика и технологии
Научно-образовательный центр Б.П. Вейнберга

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы			
Технология металлизации медью керамических подложек AlN			

УДК 621.793:669.3.056.99:621.385.64

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A95	Шихов Даниил Сергеевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ Б.П. Вейнберга	Сиделёв Дмитрий Владимирович	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН ШБИП	Гасанов Магеррам Али оглы	д.экон.наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Передерин Юрий Владимирович	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОЯТЦ ИЯТШ	Селиваникова Ольга Валерьевна			

Компетенции выпускников ООП «Ядерные физика и технологии» по направлению 14.03.02
Ядерные физика и технологии,
специализация «Пучковые и плазменные технологии»
(2019 года приёма)

Код компетенции	Наименование компетенции
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
ОПК(У)-1	Способен использовать базовые знания естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования
ОПК(У)-2	Способен осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, предоставлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий
ОПК(У)-3	Способен использовать в профессиональной деятельности современные информационные системы, анализировать возникающие при этом опасности и угрозы, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны
ПК(У)-1	Готов принимать участие в теоретических исследованиях в различных областях физики, связанных с современными высокотехнологическими способами энергетического воздействия на материалы, основанными на использовании радиационных и плазменных потоков, разрабатывать адекватные физические и математические модели изучаемых процессов
ПК(У)-2	Способен участвовать в экспериментальных исследованиях в различных областях физики, связанных с воздействием плазмы и пучков заряженных частиц на вещество, самостоятельно осваивать современную физическую аналитическую и технологическую аппаратуру, применять современные методы исследования свойств материалов и различных структур, проводить стандартные и сертификационные испытания технологических процессов, оборудования и изделий.
ПК(У)-3	Способен осуществлять самостоятельный поиск, изучение и использование научно-технической информации по тематике исследования, применять современные компьютерные технологии и информационные ресурсы в своей предметной области
ПК(У)-4	Способен проектировать плазменно-пучковые технологические процессы и оборудование для применения в научных исследованиях и промышленности
ПК(У)-5	Готов к участию в производственно-технологической деятельности, связанной с применением плазменных и пучковых технологий для обработки материалов и

Код компетенции	Наименование компетенции
	синтеза новых материалов (в том числе нанесению функциональных покрытий), определению основных параметров технологических процессов, анализу физических и механических свойств изделий и материалов.
ПК(У)-6	Способен применять современные цифровые технологии и пакеты прикладных программ для расчета технологических параметров, обосновывать принятие конкретного технического решения при разработке технологических процессов.
ПК(У)-7	Способен к контролю за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования.



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки – 14.03.02 Ядерные физика и технологии
Научно-образовательный центр Б.П. Вейнберга

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ 03.10.2022 г. Селиваникова О.В.
(Подпись) (Дата)

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

Обучающийся:

Группа	ФИО
0A95	Шихов Даниил Сергеевич

Тема работы:

Технология металлизации медью керамических подложек AlN	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№34-109/с от 03.02.2023 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	15.06.2023 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объектом исследования является технологический процесс получения металлизированных медью керамических подложек из AlN, предмет исследования – параметры получения металлизированной медью керамических подложек из AlN.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Анализ литературных источников по методам металлизации медью керамических подложек; поиск условий пайки керамики с медью; раздел «Финансовый менеджмент, ресурс эффективность и ресурсосбережение»; раздел «Социальная ответственность».

Перечень графического материала	<ol style="list-style-type: none"> 1. Титульный лист. 2. Актуальность работы. 3. Цель работы. 4. Металлизированная керамика. 5. Метод прямого соединения медью. 6. Общая схема эксперимента. 7. Этап 3 (детально): пайка через тройную эвтектику Cu-O-Al. 8. Используемое оборудование. 9. Исследование шероховатости поверхности. 10. Определение режимов металлизации. Ч.1. 11. Анализ образца. 12. Определение режимов металлизации. Ч.2. 13. Металлизация с использованием покрытий. 14. Исследование на адгезионную прочность. 15. Заключение.
--	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Гасанов М.А., д.экон.наук, профессор отделения социально-гуманитарных наук
Социальная ответственность	Передерин Ю.В., к.т.н., доцент отделения ядерно-топливного цикла

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	03.10.2022 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ Б.П. Вейнберга	Сиделёв Дмитрий Владимирович	к.т.н.		03.10.2022 г.

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A95	Шихов Даниил Сергеевич		03.10.2022 г.

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

Студенту:

Группа	ФИО
0A95	Шихов Даниил Сергеевич

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	НОЦ Б.П. Вейнберга
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Оклад руководителя – 30000 руб. Оклад инженера – 15000 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Дополнительная заработная плата 15%; Накладные расходы 16%; Районный коэффициент 1,3%.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30,2 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Определение потенциального потребителя результатов исследования, SWOT-анализ разработанной стратегии
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Определение структуры работы. Расчет трудоемкости выполнения работ. Подсчет бюджета исследования
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Оценка показателей финансовой эффективности, ресурсоэффективности и эффективности исполнения проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	13.03.2023
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор ОСГН	Гасанов Магеррам Али оглы	Д.э.н.		13.03.2023

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A95	Шихов Даниил Сергеевич		13.03.2023

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Обучающемуся:

Группа	ФИО
0А95	Шихов Даниил Сергеевич

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	НОЦ Б.П. Вейнберга
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения: – вредных проявлений факторов производственной среды; – опасных проявлений факторов производственной среды; – чрезвычайных ситуаций.	Научно-технической базой для проведения исследования стала лаборатория № 101 научного парка ТПУ. При выполнении бакалаврской работы были использованы: экспериментальная установка для проведения процессов нанесения покрытий CuO и Cu на поверхность AlN, электронно-вычислительная машина, газовые баллоны со сжатым аргоном и кислородом
2. Перечень законодательных и нормативных документов по теме	– электробезопасность; – пожаровзрывобезопасность; – требования по обращению с газовыми баллонами; – требования безопасности при работе на вакуумной установке.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:	– действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности:	– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)
3. Защита в чрезвычайных ситуациях:	– перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;

	<ul style="list-style-type: none"> – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	<ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	13.03.2023 г.
--	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	Передерин Юрий Владимирович	к.т.н		13.03.2023 г.

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А95	Шихов Даниил Сергеевич		13.03.2023 г.

Реферат

Выпускная квалификационная работа включает в себя 118 страниц, 32 рисунка, 30 таблиц, 61 формулу, 42 источника литературы.

Ключевые слова: металлизированная керамика, нитрид алюминия, медь, пайка, прямое соединение медью, DBC, эвтектика.

Работа содержит введение, литературный обзор, экспериментальные методы и оборудование, экспериментальную часть, разделы, посвящённые экономической эффективности НТИ, и социальной ответственности, заключение и список использованных источников литературы

Объектом исследования является технологический процесс получения металлизированных медью керамических подложек из AlN.

Цель работы – определить параметры технологии изготовления металлизированных медью подложек из AlN методом прямого соединения медью.

В процессе исследования были получены оптимальные параметры для технологии изготовления металлизированной медью керамики из AlN методом прямого соединения медью, разработана методика определения адгезии на разрывной машине для металлизированной керамики.

Содержание

Введение.....	12
Глава 1. Металлизированная керамика.....	14
1.1 Металлизированная керамика на основе AlN и Al ₂ O ₃	15
1.2 Технологии производства металлизированной керамики.....	16
1.2.1 Метод толсто пленочной технологии.....	17
1.2.2 Метод тонко пленочной технологии.....	19
1.2.3 Пайка активными металлами (АМВ).....	20
1.3. Метод прямого соединения медью.....	23
1.3.1 Проблема несоответствия ТКЛР между металлом и керамикой.....	29
1.3.2 Требования к DBC технологии.....	30
1.3.3 Оборудование для реализации DBC технологии.....	31
1.3.4 Этапы технологии DBC.....	31
1.3.5 Выбор и обоснование технологической цепочки производства DBC.....	36
Глава 2. Экспериментальное оборудование и методы исследования.....	39
2.1 Методика пробоподготовки подложек.....	39
2.2 Исследование морфологии поверхности с помощью профилометрии.....	41
2.3 Исследование микроструктуры образца с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ).....	42
2.4 Методика определения адгезии меди к керамике.....	43
2.5 Высокотемпературное окисление на воздухе.....	45
2.6 Кварцевый датчик для измерения толщины плёнок.....	46
2.7 Вакуумная ионно-плазменная установка.....	47
2.8 Вакуумная печь для пайки меди с керамикой.....	49
Глава 3. Определение параметров технологии металлизации медью керамических подложек из AlN.....	51
3.1 Поиск режимов металлизации.....	51
3.2 Анализ результатов металлизации.....	53
3.3 Выбор материалов покрытий для металлизации медью керамических подложек из AlN.....	59
3.4 Металлизация медью керамических подложек из AlN с использованием покрытий.....	65
3.5 Исследование на адгезионную прочность.....	66

Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	71
Введение.....	71
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования	71
4.2 Анализ конкурентных технических решений.....	72
4.3 SWOT-анализ.....	73
4.4 Планирование работ по научно-техническому исследованию	78
4.4.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	78
4.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	79
4.4.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	80
4.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	83
4.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	90
Выводы по разделу	93
Глава 5. Социальная ответственность.....	94
Введение.....	94
5.1 Анализ и оценка вредных и опасных факторов.....	94
5.1.1 Шум и вибрация.....	96
5.1.2 Освещенность.....	98
5.1.3 Электробезопасность.....	100
5.1.4 Пожаро-взрывобезопасность	102
5.1.5 Микроклимат.....	105
5.1.6 Работа со сжатым воздухом в баллонах	107
5.2 Анализ вероятных аварийных и чрезвычайных ситуаций (АС и ЧС).....	107
Выводы по разделу	110
Заключение	111
Список литературы	112
Приложение 1	117

Введение

Основной метод повышения эффективности теплоотвода от радиоэлементов заключается в использовании материалов с максимальной теплопроводностью и оптимизации их конструкции. Необходимость в недорогих высокомоощных гибридных интегральных схемах (ГИС), используемых в различных сферах жизни, таких как системы управления энергопотреблением, источники бесперебойного питания, импульсные источники питания, электротранспорт (поезда, электровозы, троллейбусы), системы автономного энергообеспечения (космические и авиационные системы), всё это стимулирует поиск новых технологических решений в области повышения эффективности теплоотвода.

Металлы с высокой теплопроводностью, такие как медь, алюминий, серебро и золото, широко используются в качестве проводников в высокомоощных ГИС, поскольку их электрическая проводимость минимизирует выделение тепла. Использование керамической подложки на основе оксида или нитрида алюминия в качестве основы печатной платы позволяет эффективно отводить тепло от активных радиоэлементов и повышать электромеханические характеристики готовой платы [1].

Наиболее эффективным сочетанием материалов для производства печатных плат высокомоощной электроники является металлизированная медью алюмонитридная керамика, а для менее моощных ГИС – алюмооксидная керамика, так как нитрид алюминия обладает большей теплопроводностью (150–280 Вт/м·К), у него более близкое значение коэффициента термического расширения к меди и более высокая механическая прочность по сравнению с алюмооксидной керамикой, теплопроводность которой равна 0,171 Вт/м·К [2].

Российские производители силовых приборов зависят от импорта металлизированных медью керамических подложек, что отражается на стоимости готового устройства. Поэтому разработка эффективной технологии

металлизации медью керамических подложек является приоритетным направлением в развитии отечественной силовой электроники [1].

Исходя из вышеизложенного, становится понятным актуальность и востребованность в разработке отечественной DBC (Direct Bonded Copper (на русск. – прямое медное соединение)) технологии.

Цель работы – определить параметры технологии изготовления металлизированных медью подложек из AlN методом прямого соединения медью.

Объектом исследования является технологический процесс получения металлизированных медью керамических подложек из AlN.

Предмет исследования – параметры получения металлизированной медью керамических подложек из AlN.

Для выполнения цели были поставлены следующие **задачи**.

1. Провести литературный обзор по методам металлизации медью керамических подложек.
2. Определить этапы процесса металлизации медью керамических подложек.
3. Выполнить пайку подложки AlN к медной пластине.
4. Определить параметры полученных образцов с помощью структурных методов анализа и испытаний на адгезию.

Глава 1. Металлизированная керамика

Большая доля керамических изделий, используемых в радио- и электронной технике в качестве финишной операции подвергается металлизации, в отдельных случаях пайке с металлом. Назначение металлизации – это создание электрических контактов, металлокерамических узлов, декоративных эффектов [3].

Значительную часть изделий технической керамики, главным образом в радио- и электронной технике (конденсаторы, резисторы, пьезоэлементы, интегральные схемы и т.д.) подвергают металлизации, а в некоторых случаях – последующей пайке с металлоконструкциями [4].

Металлизированное покрытие наносят на керамику для создания токопроводящего слоя на определенной части детали, к которой присоединяют полупроводниковый кристалл и выводы, соединяющие изделие с корпусом полупроводникового прибора.

Металлизация отдельных участков керамического изделия предусматривает:

- 1) создание токопроводящего металлического слоя на поверхности изделия, служащего электродом, к которому припаивают вывод, соединяющий его с электрической цепью;

- 2) создание прочного и вакуумноплотного соединения керамической и металлической деталей методом пайки, создавая тем самым металлокерамические конструкции;

- 3) нанесения тонких слоев металлических пленок на керамические основания, используемые в различных электронных схемах.

При правильном подборе металлических и керамических деталей и хорошем спаивании, их металлокерамические конструкции имеют следующие достоинства:

- 1) устойчивость против воздействия высоких температур и термоударов;

- 2) высокая механическая прочность;
- 3) высокая устойчивость при воздействии электрических напряжений как высоковольтных, так и высокочастотных;
- 4) высокие диэлектрические свойства [3].

Основным показателем качества покрытий является прочность его сцепления с керамической подложкой, определяемая косвенно испытанием на изгиб. Она может меняться от нескольких до 200 МПа [4].

1.1 Металлизированная керамика на основе AlN и Al₂O₃

Металлизированная керамика – керамика, на которую нанесен металлический слой на внешнюю часть изделия, что придает всей подложке улучшенные химические, физические и механические свойства.

Керамика в сочетании с металлом обладает высокой прочностью и стойкостью к износу и коррозии, также основное ее преимущество в том, что вся конструкция обладает хорошей теплопроводностью, что позволяет отводить тепло от активных радиоэлементов, припаянных к керамической подложке, работающих при высоких мощностях. Это позволяет не выходить из строя приборы, эксплуатирующие в экстремальных условиях.

Металлизированная керамика обладает рядом уникальных свойств, к которым относятся.

1. Высокая прочность и жесткость, которые достигаются за счет присутствия керамической основы.
2. Хорошая термостойкость и термическая стабильность благодаря металлическому покрытию, которое уменьшает тепловую нагрузку на керамический материал.
3. Высокая электропроводность.
4. Высокая степень защиты от коррозии.
5. Химическая инертность, которая обеспечивается наличием керамической основы.

Благодаря этим свойствам, металлизированная керамика является незаменимым материалом в таких отраслях промышленности, как авиастроение и автомобилестроение, транспортный и химический машиностроение, электроприборостроение, турбостроение и других [5]. Однако, несогласованная усадка металла и керамики из-за разности температурных коэффициентов линейного расширения (ТКЛР) может привести к образованию трещин и остаточных напряжений, что снижает эффективность материала. Поэтому важно правильно подбирать ТКЛР материалов проводника и диэлектрика перед проведением процесса металлизации [6]. Керамику металлизуют с помощью методов, аналогичных нанесению керамических покрытий. Технологию металлизации подразделяют на толсто пленочную и тонко пленочную. При толсто пленочной технологии на поверхность керамики наносится тонкодисперсный органический связующий слой металла, который закрепляется высокотемпературной обработкой (вжиганием) или газотермическим распылением. В тонко пленочной технологии металлические пленки напыляются на керамические поверхности путем конденсации атомов или ионов без дополнительной термической обработки [4].

1.2 Технологии производства металлизированной керамики

Получение топологических рисунков электрических схем на керамических подложках затруднено из-за того, что для высокомоощных устройств толщина слоев меди должна быть не менее 300 мкм, но при этом медь не должна терять своих свойств проводимости электричества и тепла. К тому же наличие промежуточных слоев между керамикой и медью увеличивает тепловые сопротивления и ухудшает теплоотвод от транзисторов, что в свою очередь влечет за собой уменьшение мощности и надежности силовых полупроводниковых устройств (СПУ). При большой толщине медного слоя разность в температурных коэффициентах линейного расширения (ТКЛР) между керамикой и медью является определяющим фактором для прочности

соединения. Однако возможно уменьшить влияние этого фактора с помощью различных технологических решений, которые становятся отдельными самостоятельными технологиями [1].

На сегодняшний день известно несколько типов металлизации керамики:

- прямое медное соединение (Direct Bonded Copper – DBC (на русск. – прямое соединение медью));
- пайка активными металлами (Active Metal Braze – AMB (на русск. – пайка активными металлами));
- холодное газодинамическое напыление (ХГН);
- толсто пленочная технология;
- плазменное напыление и реактивное распыление;
- комбинированная технология металлизации (толсто пленочная + напыление) [1].

Наиболее перспективным методом металлизации для силовых гибридных интегральных схем (ГИС) является DBC технология, которая будет подробно расписана в пункте 0.

1.2.1 Метод толсто пленочной технологии

Данный метод широко распространен в производстве микросхем из-за несложности технологических операций и возможностью сразу нанести топологический рисунок на металлическую подложку. Метод толсто пленочной технологии заключается в нанесении проводящих паст на керамику методом трафаретной печати (шелкографии) с последующим её вжиганием при температурах 650–1050 °С. Пример готовой толсто пленочной подложки с многослойными медными проводниками представлен на рисунке 1.1.

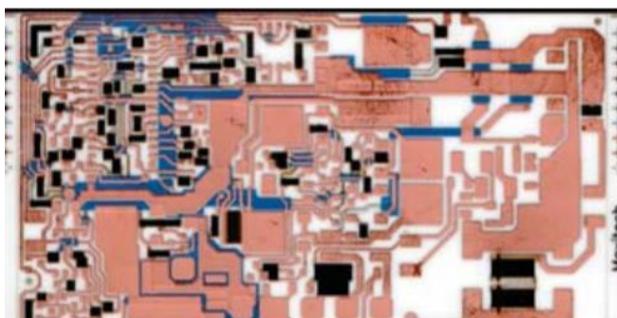


Рисунок 1.1 – Толстопленочная подложка с многослойными медными проводниками [12]

Паста, состоящая из двух или более порошков металлов и стекловидного материала, смешивается для создания электрической и механической связи между проводящими частицами металла при вжигании. Благородные металлы, такие как золото, серебро и платина, часто используются для изготовления проводящих паст, так как они обладают инертностью, хорошей электропроводностью и совместимостью с материалом подложки, стабильностью параметров в течение длительного времени [7]. Толстопленочная технология позволяет достигнуть толщины проводящего слоя от 5 до 50 мкм за одно вжигание, но также есть возможность вжигать последовательно несколько слоев пасты, тем самым образуя слой толщиной до 150 мкм [1].

Преимущества данного метода, следующие:

- способность нанесения топологического рисунка сразу во время вжигания пасты;
- простота технологических операций [1].

Недостатки применения данного метода для силовой электроники:

- низкая электропроводность и большее удельное сопротивление толстопленочного проводника по сравнению с чистыми металлами;
- рыхлость проводящего слоя и низкая устойчивость его к воздействию температур, химических веществ и влаги;
- неоднородность электрических и физических свойств проводника;

- изменчивость свойств паст от качества сырья и многочисленных производственных факторов;
- процесс вжигания является энергозатратным, что отражается на стоимости готовых изделий [12].

1.2.2 Метод тонкопленочной технологии

Принцип действия данной технологии заключается в осаждении различных материалов из парообразной фазы в вакууме с помощью высокочастотного распыления, медь или алюминий используются для нанесения покрытия толщиной до 5 мкм на подслои из хрома или других металлов, таких, как нихром, вольфрам, титан, молибден с толщиной слоя 0,03–0,05 мкм, затем наносится покрытие золота или никеля для защиты от химических реакций [7].

Методы напыления, такие как термовакуумное испарение, магнетронное распыление и другие подобные методы, широко применяются в микроэлектронике для создания медной топологии. Однако, в некоторых случаях эти методы неэффективны для формирования металлизации на керамике с необходимыми параметрами. Тонкопленочное напыление также может оказаться неэффективным и дорогостоящим для массового производства. Например, плазменное напыление меди приводит к формированию пористого слоя, что увеличивает удельное сопротивление в сравнении с медной фольгой. Кроме того, такое напыление невозможно на тонкие керамические подложки из-за локального нагрева подложки и разрушения материала при напылении.

Напыление из атомной фазы также неэффективно для создания слоя меди толщиной 300 мкм в массовом производстве. Поэтому эти техники используются только для формирования тонких подслоев (например, в технологии АМВ) для каких-то специфических задач (увеличения адгезии, снижения температуры вжигания, для формирования соединений), что удорожает производство готовой металлизированной керамики [1].

1.2.3 Пайка активными металлами (АМВ)

АМВ (Active Metal Brazing – пайка активными металлами) — конкурирующая с DBC технология, где толстый медный слой толщиной от 150 до 400 мкм достигается благодаря припою на основе Ag–Cu–Ti.

Обладая всеми достоинствами DBC, АМВ платы имеют важные дополнительные преимущества, что позволяет применять их в изделиях с повышенными эксплуатационными требованиями. Использование АМВ плат становится идеальным решением, если необходимо осуществлять высокотемпературную пайку в среде H_2 , а также там, где требуется экстремальная термо- и энергоциклостойкость.

АМВ платы применяются в изделиях с повышенными требованиями к надежности:

- для электрической изоляции и отвода тепла от кристаллов в высоконадежных твердотельных реле и силовых модулях;
- в качестве оснований и держателей кристаллов мощных низкочастотных, высокочастотных и сверхвысокочастотных полупроводниковых приборов, в т.ч. специального назначения;
- в качестве элементов (оснований, стенок) для создания герметичных металлокерамических корпусов;
- в качестве оснований для лазерных диодов;
- для любых других применений, где необходима высокотемпературная пайка, требуется эффективное рассеяние больших мощностей и предъявляются серьезные требования к термоциклостойкости и энергоциклостойкости.

Такая технология позволяет достичь превосходной адгезии и электрических свойств конечной подложки. Однако она имеет ограниченное применение, прежде всего в силу сложности и дороговизны технологического процесса [8].

Принцип АМВ следующий. АМВ технология является дополнением DBC-технологии и призвана решать проблему рассогласования термического коэффициента линейного расширения (ТКЛР) керамики и меди с помощью промежуточных слоёв, которые амортизируют возникающие напряжения в соединении при температурных колебаниях, что позволяет повысить адгезионную стойкость. Данная технология предполагает формирование на поверхности керамики тонкого подслоя из активных металлов или их смесей (см. рис. 1.2).

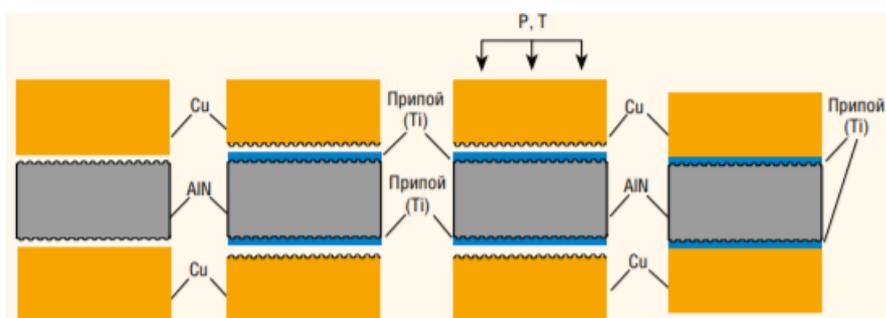


Рисунок 1.2 – Принцип АМВ технологии на примере алюмонитридной керамики [1]

Для этих целей используются золото, серебро, медь, титан, алюминий, цирконий и платина. Естественно, что каждый дополнительный подслой имеет своё тепловое сопротивление, которое снижает эффективность отвода тепла. Из-за этой особенности технологию АМВ чаще всего применяют для металлизации подложек из алюмонитрида, так как эта керамика обладает большей теплопроводностью, чем алюмооксидная, что отчасти и компенсирует тепловое сопротивление, создаваемое этим дополнительным подслоем.

При помощи данной технологии возможно получить керамические подложки с медной металлизацией с повышенной адгезией и стойкостью к термоциклированию. Однако при формировании основного слоя меди гальваническим наращиванием слой получается не таким плотным, как при фольгировании, что выражается в высоком удельном сопротивлении. К тому же гальваническое наращивание – долговременный процесс и он ограничен

толщиной наращиваемого слоя 150–200 мкм, так как при больших толщинах значительно ухудшается адгезия. В свою очередь при фольгировании основное внимание уделяется эвтектическим сплавам, формирующим крепкие связи с медью.

Основной сложностью этой технологии является подбор рабочих режимов напылений, гальванического наращивания и наиболее эффективного состава электролита. Такая технология достаточно затратная в силу высокой стоимости оборудования и сложностей, связанных с обеспечением безопасности работы гальванической установки. Поэтому она не нашла широкого применения [1]. Характеристики и параметры готовой подложки по АМВ технологии указаны в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Характеристики и параметры готовой подложки по АМВ технологии [8]

Характеристика	Параметры
Максимальный размер рабочего поля заготовки	117 мм×166 мм
Наличие пузырей в паяном соединении	<5% от общей площади соединения (площадь 1 пузыря <1%)
Толщина проводящего слоя, мкм	от 200 до 800
Используемая керамика	AlN, Al ₂ O ₃
Прочность меди на отрыв, Н/мм ²	>15

Выбор технологии АМВ является идеальным решением для применений, где необходима высокотемпературная пайка, требуется эффективное рассеяние больших мощностей и предъявляются повышенные требования к термо- и энергоциклостойкости, главным образом для создания высоконадежных герметичных металлокерамических корпусов, оснований и держателей кристаллов мощных полупроводниковых приборов, в том числе, для эффективной замены ВеО с металлизацией Мо–Mn [9].

1.3. Метод прямого соединения медью

DBC (или DCB, Direct Bonded Copper – прямо присоединенная медь) – технология получения толстых медных слоёв толщиной 100–300 мкм, обеспечивающая высокую электрическую проводимость и теплопроводность, а также отличное рассеяние тепла через высокочистую медную фольгу. Широкий выбор сочетаний толщин меди и керамики (Al_2O_3 или AlN) позволяет влиять на коэффициенты температурного линейного расширения всей системы, а дополнительная опция подтравливания углублений по периметру проводников многократно увеличивает термоцикlostойкость. Поверхность отлично подходит для пайки и сварки в диапазоне температур до 850 °С, покрытия Ni или Au позволяют применять различные техники монтажа: низко- и высокотемпературная пайка кристаллов, разварка алюминиевой и золотой проволокой. DBC платы, благодаря своим отличным характеристикам, незаменимы для полноценной работы изделий с токами свыше 50 А и напряжениями до 20 кВ, а также их эффективного охлаждения [10].

Принцип металлизации керамики методом DBC в зависимости от типа керамики. Рассмотрим керамическое основание Al_2O_3 . Принцип технологии DBC был разработан в Мюнхенском технологическом университете в 1981 г. В основе технологии DBC лежат термохимические процессы, суть которых заключается в образовании эвтектической связи между контактируемыми слоями меди и оксида алюминия. Создание эвтектической связи между этими материалами возможно через промежуточное соединение – алюмомедную шпинель (CuAl_2O_4), которая образуется в процессе взаимодействия оксида меди (II) и оксида алюминия (Al_2O_3).

Эвтектическая смесь представляет собой однородную смесь веществ, которая плавится или затвердевает при одной температуре, эта температура ниже температуры плавления любого из компонентов.

Слой оксида меди (II) на поверхности медной фольги формируется с помощью нагрева или химических реакций. Для того чтобы обеспечить

однородность соединения, поверхность меди должна быть очищена от загрязнений путем травления в растворе азотной или серной кислоты, после чего промыта от остатков травления дистиллированной водой. Поверхность керамики перед соединением также необходимо очистить пескоструйной обработкой и обезжиривающим раствором. После чего необходимо максимально плотно (с давлением $\sim 5\text{--}10 \text{ Н/см}^2$) и однородно по всей площади прижать окисленную поверхность меди к керамической подложке и обеспечить условия для образования эвтектического сплава алюмомедной шпинели (выдержать в течение 10 мин при температуре $1065 \text{ }^\circ\text{C}$), который при остывании формирует прочное соединение.

Во избежание сильного окисления медной фольги данный процесс проводится в инертной среде (азот, аргон) либо в вакууме. Для более качественного соединения меди с керамикой необходимо, чтобы шероховатость соединяемых поверхностей меди и керамики соответствовала 9-му классу чистоты обработки поверхности, который формируется механической или химической обработкой этих поверхностей.

Однако за счет рассогласования ТКЛР соединяемых материалов меди ($16,8 \cdot 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$) и различных видов керамики ($4,5 \cdot 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ – у алюмонитридной) при быстром остывании возможно отслоение медной фольги из-за влияния внутренних напряжений на еще не укрепленную связь. Поэтому после образования эвтектического расплава дальнейшее охлаждение должно проходить максимально плавно со скоростью не более $5 \text{ }^\circ\text{C/мин}$ до $60 \text{ }^\circ\text{C}$ [1].

Медная пластина, покрытая тонким слоем оксида меди и находящаяся в тесном контакте с керамикой Al_2O_3 , нагревается до температуры $1065\text{--}1085 \text{ }^\circ\text{C}$, как показано на рис. 1. Рисунок 1.3. В то время как сама медная пластина остается твердой, происходит эвтектическая связь и взаимная диффузия молекул кислорода в зоне контакта медной фольги с керамикой:

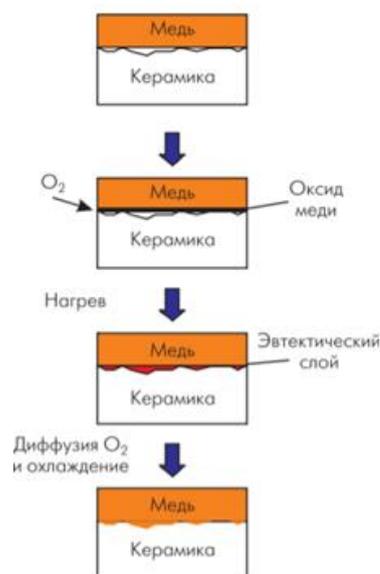


Рисунок 1.3 – Процесс присоединения меди к керамике из AlN методом DBC [7]

После того, как связь «медь–керамика» образовалась, пластина охлаждается. Если парциальное давление кислорода и температура в печи установлены правильно, связь образуется равномерно, без расслоений. Подложки, как правило, имеют равную толщину меди с двух сторон керамики [7].

Рассмотрим керамическое основание AlN. В случае использования более теплопроводящей керамики – алюмонитридной (AlN – теплопроводность 180–240 Вт/(м·К)) на ее поверхности необходимо сформировать термическим или химическим путем тонкого слоя толщиной 1–2 мкм оксида алюминия (Al_2O_3) и уже с этим слоем создавать эвтектический сплав с CuO. Схему процесса окисления подложки из AlN можно видеть на рисунке 1.4. При этом поверхность алюмонитридной подложки также должна быть предварительно очищена от загрязнений и иметь шероховатость поверхности 9-го класса [1].

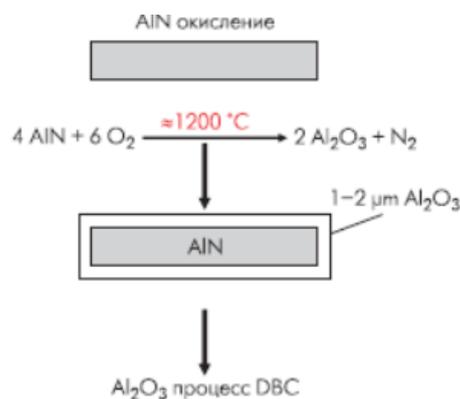
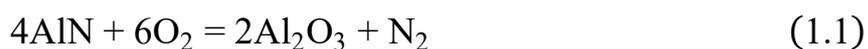


Рисунок 1.4 – Процесс окисление подложки из AlN [7]

При технологии методом DBC металлизация получается с высокой адгезией к керамике и высокой проводимостью, которая зависит от качества медной фольги. За счет этого данная технология является наиболее эффективной и наиболее популярной у производителей силовых полупроводниковых приборов. Металлизированные керамические подложки по такой технологии активно производятся за рубежом для нужд силовой электроники.

Для осуществления процесса DBC с керамикой на основе нитрида алюминия поверхность нитрида алюминия должна быть преобразована в оксид алюминия посредством нагрева и воздействия кислорода:



В результате этой реакции на поверхности керамики нитрида алюминия образуется достаточно плотный слой 1–2 мкм оксида алюминия, который хорошо подходит для DBC процесса.

Стандартный размер заготовок DBC на основе оксида алюминия составляет 12,7 см на 17,78 см.

Структурирование меди можно выполнить либо до начала процесса посадки меди на керамику, либо после. В первом случае посадка проводится путем предварительного травления слоя. Отдельные медные части удерживаются вместе медными мостиками, которые удаляются после посадки. Во втором случае структурирование осуществляется так же, как и в технологии изготовления печатных плат, как показано на рис. 1.5. Маска травильного

резиста наносится либо путем фотолитографии, либо по технологии трафаретной печати. После травления на подложку наносятся линии лазерного скрайбирования и производится окончательная обработка поверхности — окончательное травление, нанесение слоев химического никеля и золота, полировка и т. д.

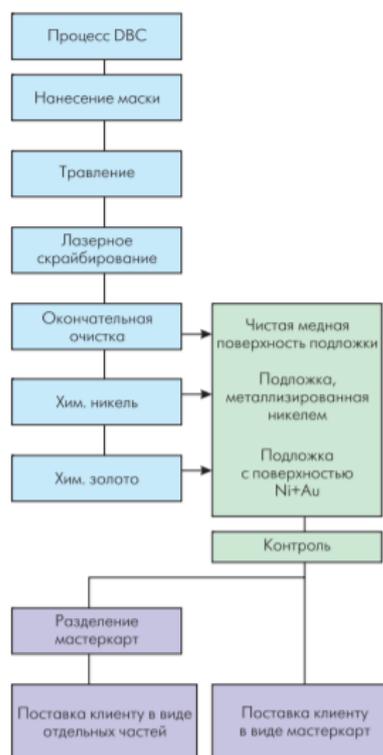


Рисунок 1.5 – Технология изготовления DBC [7]

Характеристики и параметры готовой DBC подложки указаны в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Характеристики и параметры готовой подложки по DBC технологии [10]

Характеристика	Параметры
Максимальный размер рабочего поля заготовки	130 мм×178 мм
Содержание основного вещества, %	99
Прочность при статическом изгибе, МПа	193,9
Диэлектрическая проницаемость (диапазон частот 8-10 ГГц)	7,3
Пористость, %	0,07

Теплопроводность (при 20 °С), Вт/м · град	21
Эквивалентная теплопроводность, Вт/м · град	209,5
Напряжение пробоя, кВ	15

DBC платы используются для:

- электрической изоляции и отвода тепла от кристаллов в твердотельных реле и силовых модулях;
- создания дискретных изолированных корпусов полупроводниковых приборов;
- элементов (оснований, стенок) для корпусирования многокристальных модулей;
- изолирующих теплопроводящих прокладок с паяным соединением между электронными компонентами в стандартных корпусах и радиатором;
- керамических печатных плат с повышенными требованиями к условиям эксплуатации;
- соединения ветвей термоэлектрических модулей (элементов Пельтье);
- любых других применений, требующих эффективного отвода тепла, высокой электропрочности и значительных токовых нагрузок.

Соединения медного композита и керамики по настоящему изобретению полезны в различных полупроводниковых применениях. Например, они могут найти применение при изготовлении и сборке гибридных схем, где требуется прочное постоянное соединение. Они могут использоваться везде, где требуется обеспечить теплоотвод для электронного устройства, использующего керамическую подложку.

Преимущества такие:

- возможность выбора различных толщин керамика/медь и вариантов финишного покрытия (Ni, Au);
- исполнение любой топологии по Вашему чертежу или эскизу;

- способность платы к самопланаризации, то есть выравнивание ступенчатой поверхности структуры, при нагреве свыше 140 °С (в отличие от аналогов);
- низкий коэффициент температурного расширения ($\text{Al}_2\text{O}_3 - 6,8 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$; $\text{AlN} - 4,6 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$) в сочетании с высокой токопроводностью ($58 \cdot 10^6$ см/м);
- высокая прочность меди на отрыв (> 4 Н/мм²);
- возможность изготовления DBC плат с переходными и монтажными отверстиями, а также разработка и создание герметичных металлокерамических корпусов на их основе;
- снижение теплового сопротивления в 2 раза по сравнению с обычной керамической подложкой, то есть транзисторы могут припаиваться напрямую к печатной плате [10].

1.3.1 Проблема несоответствия ТКЛР между металлом и керамикой

Одна проблема, возникающая при создании металлокерамических структур прямого соединения, то есть метода DBC, заключается в том, что существует заметное несоответствие температурного коэффициента расширения между металлом и керамикой. Например, чистая медь имеет коэффициент расширения $16,8 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$. В то время как оксид алюминия, бериллий и нитрид алюминия, которые являются типичными керамическими материалами, используемыми в упаковке микросхем, имеют коэффициенты расширения в диапазоне от примерно $4,3 \cdot 10^{-6}$ до $7,0 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$. Из-за этого несоответствия толщина медного слоя сильно ограничена. Например, при использовании керамической подложки толщиной 0,064 см толщина слоя меди ограничена приблизительно 0,03 см, поскольку более толстые слои меди привели бы к значительному деформированию получаемых структур. Однако для прикрепления медно-керамического материала к базовой конструкции желательны более толстые слои меди, поскольку керамика слишком хрупкая, чтобы ее можно было прикрепить к базовой конструкции путем привинчивания.

В попытке избежать неблагоприятных последствий несоответствия ТКЛР металлов и керамики необходимо использовать приблизительно равные толщины меди при пайке на верхнюю, так и на нижнюю стороны керамической подложки для уравнивания напряжений [11].

1.3.2 Требования к DBC технологии

Основные требования, предъявляемые к готовому силовому модулю — минимальные габариты, низкая стоимость материалов и процесса производства в сочетании с высокими техническими характеристиками, устойчивостью к воздействиям окружающей среды и практически абсолютной безотказностью. Конструкция современного модуля должна обеспечивать минимальные значения переходных тепловых сопротивлений и распределенных индуктивностей силовых шин в сочетании с высоким напряжением изоляции. На рис. 1.6 представлен стандартный силовой модуль.



Рисунок 1.6 – Силовой модуль [12]

Керамика является одним из самых распространенных изоляционных материалов. Широкое применение керамических материалов объясняется их высокими механическими и электрическими свойствами, недиффузионностью исходных материалов, сравнительной простотой технологии изготовления, невысокой стоимостью изделий. Керамика негигроскопична, термостойка, обладает хорошей механической прочностью на сжатие, растяжение и изгиб. В отечественной промышленности используют алюминоксид (95–98% окиси

алюминия), электрокорунд (99% Al_2O_3), стеатит, брокерит (97% окиси бериллия), титанаты (тикондовая и термокондовая керамика), а также керамики, в состав которых входят высокотвердый карбид бора, окись циркония и другие материалы [12].

1.3.3 Оборудование для реализации DBC технологии

Требования к термическому процессу для окисления и присоединения при прямом соединении меди следующие.

- необходимо точно контролировать атмосферу окисления;
- для получения хороших медных поверхностей рабочая атмосфера должна быть $<5 \cdot 10^{-6}$ 1/°C для O_2 ;
- чистый поток азота 99,999%;
- точный контроль температуры;
- +/- 2 °C по всей ленте для обеспечения хорошей однородности;
- керамические подложки требуют контролируемого охлаждения [13].

1.3.4 Этапы технологии DBC

В данном разделе будут представлены этапы производства подложек DBC, которые были взяты из различных литературных источников.

Этап 1. Очищение подложки AlN.

а) Керамическая подложка очищается двумя растворами. Первый состоит из деминерализованной воды и чистого изопропилового спирта, второй – из ацетона и чистого спирта, весь процесс происходит в ультразвуковой ванне [14].

б) Обезжиривание в ультразвуковой (УЗ) ванне.

Эффективность очистки зависит от частоты и мощности УЗ-колебаний, температуры и времени обработки, а также от состава раствора, характера и степени загрязнений. С повышением частоты увеличивается проникающая

способность жидкости за счет уменьшения длины волны УЗ-колебаний, уменьшается вероятность разрушения образцов за счет уменьшения размеров кавитационных пузырьков. С повышением мощности УЗ-колебаний до определенных значений интенсивность кавитации возрастает. Повышение температуры повышает растворимость загрязнений и влияет на условия возникновения кавитации. Для каждой жидкости существует оптимальная температура обработки.

УЗ-колебания значительно повышают производительность и улучшают качество не только обезжиривания, но и других операций жидкостной обработки.

в) Отмывка от остатков эмульсии погружением в чистый растворитель.

На очищаемую поверхность адсорбируются молекулы растворителя и могут также вновь попасть молекулы жира и загрязнения самого растворителя. Именно поэтому применяют очищенные растворители, во время обезжиривания создают условия для максимальной растворимости и минимальной обратной адсорбции на обрабатываемую поверхность загрязнений из растворителя, а после обезжиривания удаляют с поверхности его остатки.

г) Обезжиривание в парах растворителя.

Определяющими параметрами процесса являются температура и время. Растворимость жиров увеличивается с повышением температуры. Поэтому данный этап очистки подложки нитрида алюминия выполняем в парах растворителя.

Для интенсивного одновременного удаления полярных и неполярных загрязнений в промышленном производстве широко применяют смеси различных растворителей.

д) Кипячение в пероксидно-аммиачных растворах (ПАР).

Обезжиривание в ПАР, состоящих из пероксида водорода, гидроксида аммония и воды ($H_2O_2:NH_4OH:H_2O=1:1:4$), широко применяют на различных этапах технологии изготовления микросхем. Такой раствор обладает лучшими обезжиривающими свойствами по сравнению с органическими растворителями,

является универсальным средством, так как удаляет как омыляемые, так и неомыляемые жиры, неорганические загрязнения, а также ионы натрия, меди, серебра и других металлов.

е) Промывка горячей деионизованной водой в протоке в многокаскадных ваннах.

Отмывка водой применяется для очистки от остатков полярных растворителей после обезжиривания, от остатков травителей, флюсов, кислот, щелочей, солей и других загрязнений.

Отмывку выполняют в подогретой до 50–60 °С деионизованной воде. При меньших температурах отмывка недостаточна эффективна, при больших температурах возможно закрепление на обрабатываемой поверхности остатков щелочных растворов в результате гидролиза щелочных солей.

Отмывка в протоке многокаскадных ваннах обеспечивает непрерывный отвод загрязнений от пластин. Кассеты с пластинами переносят из одной ванны в другую навстречу движению.

ж) Инфракрасная (ИК) сушка.

Принцип инфракрасной сушки заключается в том, что молекулы воды, поглощают ИК–лучи и, возбуждаясь, нагреваются. То есть, в отличие от всех других видов сушки, энергия подводится непосредственно к воде подложки, чем и достигается высокая эффективность и экономичность.

Инфракрасная сушка является финальным этапом очистки подложки нитрида алюминия [15].

Этап 2. Очищение Cu.

Поверхность медной фольги очищают с помощью 10% HCl с последующей очисткой в растворе деминерализованной воды и чистого изопропилового спирта. Интенсивность процесса очистки увеличивается за счет использования ультразвукового очистительного устройства при комнатной температуре, длительность процедуры 10–15 минут.

Этап 3. Окисление AlN.

Поверхностное окисление AlN проводится в подходящих печах при различных температурах либо на воздухе, либо во влажной среде кислорода. Наиболее широко используемыми процессами окисления являются предварительное окисление медного листа или добавление небольшого количества кислорода в окружающую среду, когда образец находится при температуре соединения. Скорости окисления керамики из AlN в различных условиях указаны в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Скорости окисления керамики из AlN в различных условиях [16]

Атмосфера окисления	Скорость окисления, мкм/ч	
	1100°C	1250 °C
Воздух	0,1	1,4
Влажный O ₂	0,5	20

Этап 4. Пайка.

а) Процесс прямого склеивания осуществляется в футерованной кварцем многослойно-диффузионной печи при 1070 °C в контролируемой атмосфере. После нагревания окисленных подложек AlN с лежащим сверху медным листом до 1070 °C в чистом азоте в поток газа добавляли от 0,05 до 0,15 об. % O₂ в течение заданного времени, обычно 60 с [16].

б) Необходимо довести медь и керамику до температуры выше температуры эвтектической связи 1065 °C, при которой оксид меди образует ликвидусную матрицу оксида меди (Cu₂O), которая смачивается и химически связывается с оксидной поверхностью керамики [17].

Низкая концентрация кислорода должна поддерживаться внутри печи во время процесса подключения, особенно в соответствующее время подключения. Низкая концентрация O₂ достигается за счет атмосферы азота внутри печи. Эта атмосфера создается потоком азота. Концентрация кислорода поддерживается на низком уровне в течение всего температурного профиля. За счет этого снижается поверхностное окисление меди. Окисление поверхности продолжается и после

процесса соединения, так как медь все еще подвергается воздействию высокой температуры. Это вызвано медленным охлаждением печи. Во избежание последующего окисления медной фольги в печи должна поддерживаться инертная атмосфера и в процессе охлаждения [14].

Этап 5. Охлаждение.

а) Охлаждение нужно для затвердевания эвтектики и образования прочной связи между медью и керамикой. При необходимости или желании полученный медный радиатор в сборе можно очистить и покрыть металлом, чтобы предотвратить дальнейшее окисление [11].

б) После образования соединения медь и керамика, они медленно охлаждаются в печи, чтобы закалить медную фольгу до абсолютно мягкого отожженного состояния и контролировать образование зерна меди. Избыток кислорода и высокие температуры могут привести к шероховатости из-за высокой сегрегации эвтектического оксида на границах зерен меди. Это состояние может привести к неравномерной текстуре поверхности и обширному образованию узелков, которые могут нарушить крепление чипа и соединение проводов. Отжиг меди на этапе ее охлаждения важен для преодоления сильного теплового расширения несоответствия меди и керамики [17].

Этап 6. Окончательная обработка подложек.

В наших экспериментах низкую концентрацию кислорода не поддерживают в течение всего процесса, чтобы минимизировать расход азота в муфельной печи и удешевить технологию DBC. Высокая температура вместе с присутствием кислорода создает нежелательный слой оксидов. Эти оксиды должны быть удалены перед дальнейшими стадиями процесса. Поверхность меди обрабатывается химическим способом. Азотную кислоту разводят в соотношении: одна часть кислоты и две части воды. Образцы помещают в этот раствор на 30–90 минут. Время зависит от толщины оксидов. Образцы после извлечения из раствора очищали деминерализованной водой. Слой, подвергшийся воздействию этого травильного раствора, был отшлифован. После этих процессов подложка готова для изготовления токопроводящих рисунков.

Эти рисунки изготавливаются путем фрезерования и окончательного травления [14].

1.3.5 Выбор и обоснование технологической цепочки производства DBC

Из рассмотренных вариантов производства подложек DBC, были выбраны условия, который подходит для нашей работы, исходя из имеющихся условий и наличия оборудования и материалов.

В качестве материала, который будет придавать достаточную нагрузку прижатия меди к керамике во время пайки были предложены 2 варианта: вольфрам и молибден. Так как у этих металлов большая температура плавления, высокая плотность и они не растворяются в меди.

Был выбран вольфрам, так как этот металл обладает большой плотностью ($19,25 \text{ г/см}^3$), то есть он будет создавать большую нагрузку при пайке изделия, также у него большая температура плавления ($3422 \text{ }^\circ\text{C}$), что является большим преимуществом в нашей технологии. В качестве пояснения была проведена расшифровка фазовых диаграмм Cu-W и Cu-Mo.

Фазовая диаграмма Cu – W представлена на рисунке 1.7, рассмотрим более подробно каждую область этой диаграммы.

Температура плавления Cu – $1084,87 \text{ }^\circ\text{C}$. Температура плавления W – $3422 \text{ }^\circ\text{C}$. Область 1: механическая смесь твердых кристаллов Cu и W. Область 2: смесь жидкой фазы Cu и кристаллов W. Область 3: жидкая фаза меди. Область 4: расплав жидкой фазы меди и жидкой фазы вольфрама. Область 5: жидкая фаза вольфрама. Область 6: переход вольфрама из твердых кристаллов в жидкую фазу – плавление.

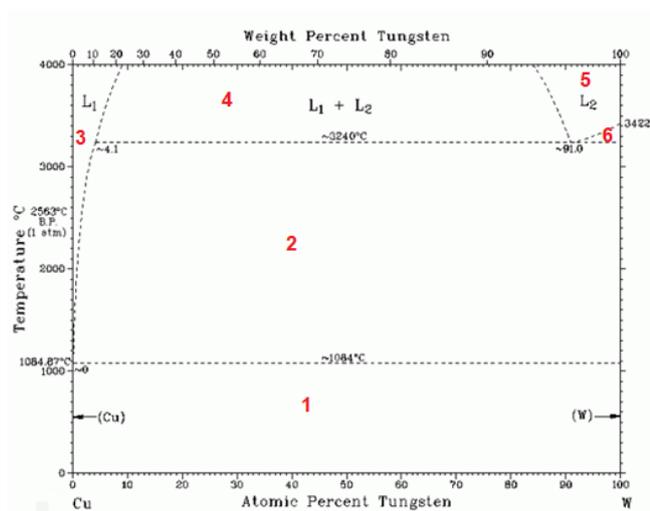


Рисунок 1.7 – Фазовая диаграмма Cu-W [18]

Фазовая диаграмма Cu – Mo представлена на рисунке 1.8, также, как и в прошлой диаграмме, сделаем подробное описание каждой области этой диаграммы.

Область 1: механическая смесь твердых кристаллов Cu и Mo. Область 2: смесь жидкой фазы Cu и кристаллов Mo. Область 3: жидкая фаза меди. Область 4: газообразная медь и жидкая фаза молибдена. Область 5: процесс перехода жидкой фазы меди в газообразное состояние. Область 6: жидкая медь и кристаллы молибдена. Область 7: жидкая фаза молибдена. Область 8: жидкая медь и плавление молибдена. Область 9: твердые кристаллы молибдена.

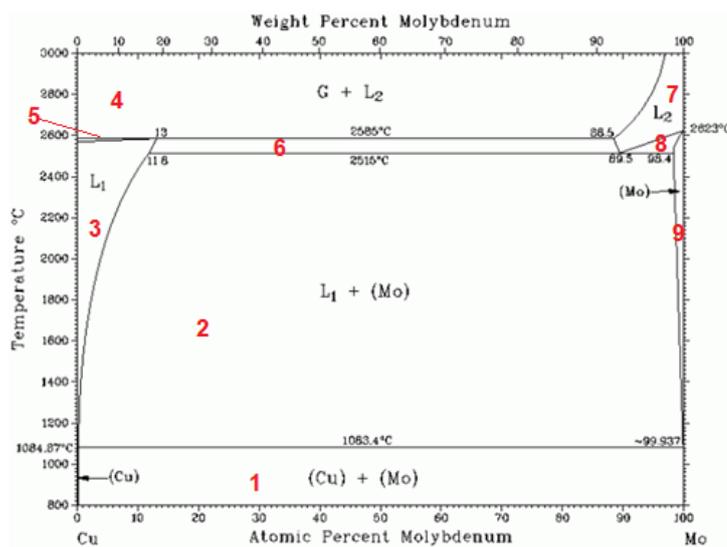


Рисунок 1.8 – Фазовая диаграмма Cu-Mo [19]

Исходя из ранее предложенных способов изготовления металлизированной медью подложки DBC, была предложена собственная технология изготовления металлизированной керамики методом DBC.

Этап 1. Очистка подложек. Подложка AlN и пластина Cu: процесс очищения происходит в чистом изопропиловом спирте. Интенсивность процесса очистки увеличивается за счет использования ультразвукового очистительного устройства в течении 15 минут.

Этап 2. Окисление подложек AlN. Данный процесс проводится при 1100 °C (6 часов) в естественной атмосфере для формирования поверхностного слоя Al₂O₃ толщиной 0,6 мкм. Скорость окисления взята из [16].

Этап 3. Пайка через тройную эвтектику. Необходимо прижать поверхность меди к керамической подложке (выдержать в течение 20 мин при температуре 1050 °C). В камере должна соблюдаться низкая концентрация кислорода для того, чтобы не было поверхностного окисления меди. Поэтому необходимо подать поток инертного газа в печь.

Остаточное давление: 10⁻³ Па.

Нагрузка: 37730 Па.

Размер W: 0,024 м×0,023 м×0,2 м.

Скорость нагрева: 3–5 °C/мин.

Этап 4. Охлаждение в печи.

После образования эвтектического расплава дальнейшее охлаждение должно проходить максимально плавно со скоростью не более 3–5 °C/мин до 60 °C в инертной среде для избегания последующего поверхностного окисления меди, и также это необходимо для более прочного образования эвтектического слоя между керамикой и медью.

Глава 2. Экспериментальное оборудование и методы исследования

2.1 Методика пробоподготовки подложек

Для того, чтобы поверхность образца имела однородную поверхность с определенной шероховатостью применяется полировально-шлифовальная машина. В настоящей работе для пробоподготовки подложек из AlN использовалась полировально-шлифовальная машина MP-1B которая представлена на рисунке 2.1.



Рисунок 2.1 – Полировально-шлифовальная машина MP-1B GRINDER POLISHER

Принцип механической обработки материала заключается в направленном трении поверхности подложки относительно поверхности шлифовального/полировального круга с заданной шероховатостью. В первую очередь выбирается шлифовальный круг с большей зернистостью, по мере проведения данной процедуры применяются круги с меньшей зернистостью. В моей работе использовались шлифовальные круги: P400, P600, P1200, P2500. Также во время шлифовки образцов используется вода, которая необходима для удаления результатов шлифовки из зоны контакта обрабатываемой поверхности. После того как произведена шлифовка образца необходимо отполировать поверхность до устранения следов шлифовки образца с помощью шерстяного сукна и алмазной суспензии (3 мкм и 1 мкм). Вся эта механическая обработка

производилась для увеличения класса чистоты поверхности AlN до 9 класса шероховатости.

Высокое качество очистки, автоматизация процесса и исключение пожароопасных токсичных растворителей являются главными преимуществами ультразвуковой очистки перед всеми известными методами удаления загрязнений.

В звуковом поле происходит механическое разрушение плёнки загрязнений под действием кавитации и одновременно ускоряется процесс химического взаимодействия моющей жидкости с загрязнением под действием акустических течений.

Интенсивность кавитации, скорость и характер акустических течений, величина радиационного давления, амплитуда колебаний самой детали зависит от частоты и интенсивности звукового поля, физических свойств жидкости и в особенности от ее температуры. Разрушение, отделение и растворение плёнки загрязнений при УЗ очистке происходит благодаря совместному действию химически активной среды и факторов, возникающих в жидкости вследствие наложения акустического поля.

Очистка подложек из AlN, плат Cu и прутков из W производилась в ультразвуковой ванне ПСБ-18035-05, внешний вид данной ультразвуковой ванны представлен на рисунке 2.2, рабочая частота этого устройства составляет 35 кГц. В качестве моющей жидкости был взят изопропиловый спирт, так как загрязнения на подложках незначительные [20].



Рисунок 2.2 – Ультразвуковая ванна ПСБ-18035-05 [20]

2.2 Исследование морфологии поверхности с помощью профилометрии

Для более качественной пайки меди к керамике, поверхности у этих материалов должны быть не менее 9 класса шероховатости. Измерение шероховатости использовался трехмерный бесконтактный профилометр MicroMeasure 3D Station, изображенный на рис. 2.3.

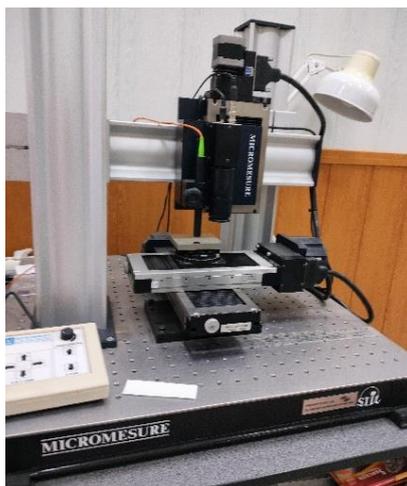


Рисунок 2.3 – Трехмерный бесконтактный профилометр (Micro Measure 3D Station)

Этот прибор подходит для анализа всех типов образцов, включая оптически прозрачные. Благодаря набору оптических датчиков, профилометр может измерять глубину поверхности, а также вычислять расстояния, площади и объемы объектов и массивов. Принцип работы профилометра заключается в генерации интерференционной картины, зарегистрированной видеокамерой и обработанной программным обеспечением для получения карты уровней поверхности высокого разрешения. Прибор может использоваться для анализа морфологии поверхности, определения структурных и фазовых составляющих различных материалов и гранулометрического анализа порошков и пор, анализ толщины нанометровых слоев материалов, металлографический анализ методом сравнения с эталонами и ряд других. Для измерения, образец помещается на предметный столик, затем производится сканирование поверхности с заданной точностью. Для получения точных результатов при измерении толщины

оптических пленок, используются различные технологии, включая вычитание двух разных отражений и интерферометрический метод для более тонких пленок. Однако, если пленки являются оптически непрозрачными, для измерения их толщины используется метод измерения высоты шага. Важным преимуществом прибора является его способность проводить измерения шероховатости благодаря использованию пятна света маленького размера [21].

2.3 Исследование микроструктуры образца с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ)

Сканирующий электронный микроскоп (СЭМ) – прибор, предназначенный для получения увеличенного изображения объекта путем сканирования по объекту сфокусированным пучком электронов и регистрации детектором сигнала, возникающего в результате взаимодействия электронов с веществом.

Схема принципа работы сканирующего электронного микроскопа (рис. 2.4) включает в себя источник электронов, оптическую систему для фокусировки электронов и сканирования (электронную колонну), камеру с образцом и детекторы для регистрации сигнала, а также систему откачки, необходимую для создания вакуума в микроскопе. Вакуум в пушке, колонне и камере микроскопа является необходимым условием для работы микроскопа, потому что в воздухе электрон не сможет долететь от источника до образца, так как столкнется с молекулами воздуха на своем пути.

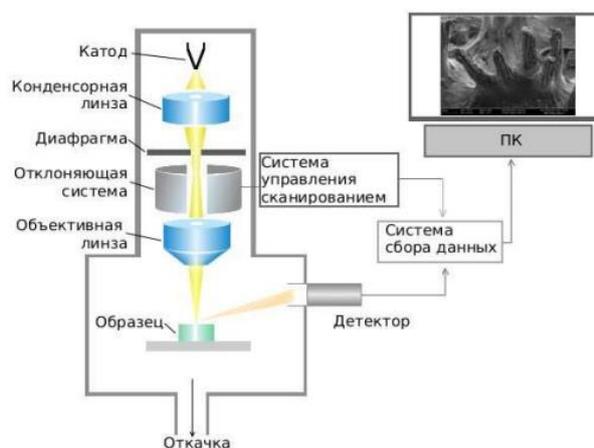


Рисунок 2.4 – Схема принципа работы СЭМ [22]

Пучок электронов, испускаемый катодом, фокусируются оптической системой и ускоряются на поверхность образца, где происходит эмиссия вторичных электронов, которые регистрируются детектором. Каждой точке образца приписывается яркость в соответствии с величиной сигнала, полученного детектором. Различные ответные сигналы, такие как отраженные и вторичные электроны, используются для создания изображения на экране монитора. Таким образом, на систему сбора данных поступает информация о координатах пучка на образце и величине сигнала с детектора [22].

2.4 Методика определения адгезии меди к керамике

Определение адгезии металлизированного слоя к керамической подложке заключается в измерении усилия, необходимого для отрыва покрытия от керамики. Контроль адгезии меди к керамической подложке после вакуумной пайки проводят на любых площадках образца. За прочность на отрыв контактных площадок принимают силу, перпендикулярную к поверхности печатной платы, необходимую для отделения контактной площадки от материала основания. Перед пайкой проволоки к меди проводится травление поверхности меди раствором, состоящим из 500 мл воды, 55 мл перекиси водорода, 150 грамм лимонной кислоты, 25 грамм NaCl в течение 1 мин. Далее

необходимо провести пайку медной проволоки Ø 1,2 мм перпендикулярно к поверхности медной пластины.

Методика эксперимента следующая.

1. Нагреть паяльник до температуры 350 °С.
2. Провести облуживание проволоки и места поверхности пайки канифолью.
3. Припой ПОС-61 Ø 1 мм нанести на медную проволоку и место спаивания.
4. Прикрепить проволоку к поверхности медной пластины (рис. 2.5).

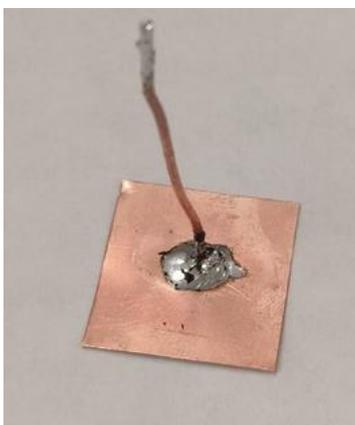


Рисунок 2.5 – Припаянная медная проволока к медной пластине

5. Выдержать подложки с припаянной проволокой не менее 4 часов в нормальных условиях.
6. Далее необходимо окольцевать медную проволоку с помощью кольцевого изолированного наконечника под винт М5 (рис.2.6).

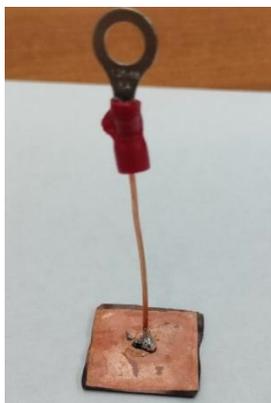


Рисунок 2.6 – Готовый образец к испытаниям на адгезионную прочность

После этого устанавливают подложку с припаянной проволокой в держатель разрывной машины (рис. 2.7), увеличивают нагрузку от нулевого значения до величины, соответствующей усилию отрыва проволоки. Скорость подачи нагрузки должна быть 1 мм/мин. На механическом счетчике разрывной машины считывают величину адгезии, выраженную в Ньютонах. После этого необходимо рассчитать адгезию, выраженную в Н/мм², где мм² – площадь паянного шва проволоки к металлизированной керамике.



Рисунок 2.7 – Образец в разрывной машине

2.5 Высокотемпературное окисление на воздухе

Атмосферная печь ATS 3210 (Applied Test Systems Inc., Butler, the USA) (рис. 2.8) была использована для проведения высокотемпературного окисления подложек из AlN на естественной атмосфере с изотермической выдержкой при 1100 °С в течение 6–12 часов. В качестве держателей образцов использовались трубки из оксида алюминия. Изначально, образцы выдерживались в холодной печи (~25 °С), а затем нагревались до температуры 1100 °С, нагрев производился со средней скоростью ~25 °С/мин. После того, как образцы прошли изотермическую выдержку, камера печи отключалась и образцы охлаждались естественным образом до комнатной температуры (~22 °С/мин).

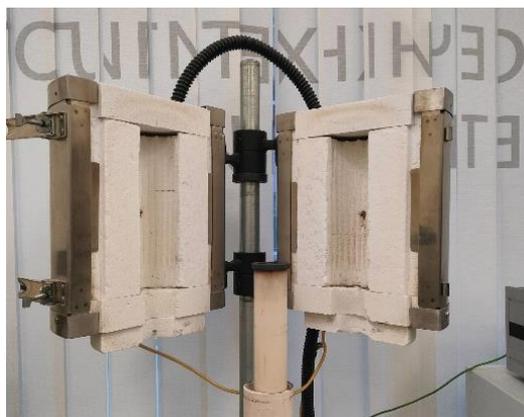


Рисунок 2.8– Атмосферная печь ATS 3210

2.6 Кварцевый датчик для измерения толщины плёнок

Для измерения толщины используется кварцевый датчик, основанный на изменении резонансной частоты кристалла при изменении его массы. Масса кристалла увеличивается за счёт напыления материала на поверхность кристалла. Этот метод позволяет контролировать скорость нанесения покрытий в процессе работы. В данной работе будет использоваться кварцевый измеритель толщины IZOVAC «Микрон-5», который изображен на рисунке 2.9.

«Микрон-5» позволяет определять толщину от 1 до 999 нм для различного рода покрытий.

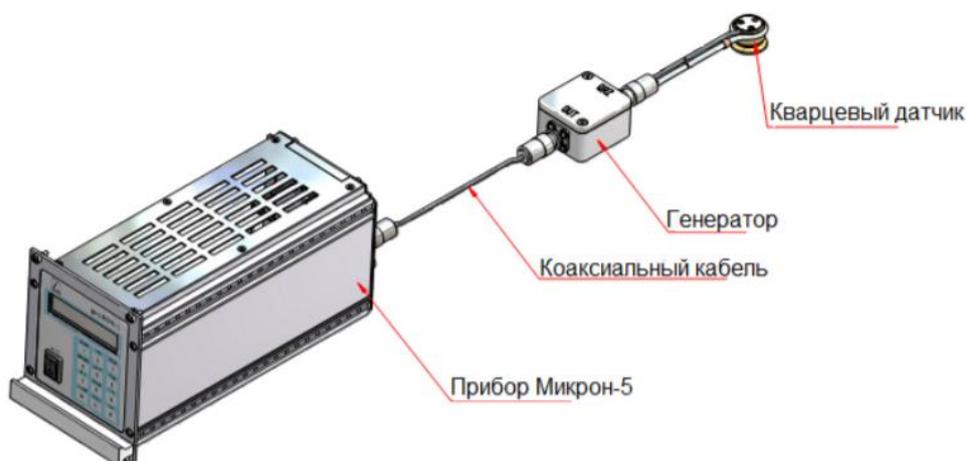


Рисунок 2.9 – Схема подключения кварцевого датчика

Кварцевый измеритель толщины «Микрон-5» позволяет оценивать толщину покрытий как после процесса осаждения, в условиях атмосферного давления, так и проводить *in situ* измерения (т.е. в процессе нанесения покрытий при подключении такого датчика через специально изготовленный фланец) [20].

2.7 Вакуумная ионно-плазменная установка

Для нанесения покрытий оксида меди и меди на подложки из AlN и Cu, использовалась экспериментальная ионно-плазменная установка, которая была разработана и изготовлена в научно-образовательном центре Б.П. Вейнберга ТПУ и предназначена для ионно-плазменной обработки поверхности твёрдых тел. Схема ионно-плазменной установки представлена на рисунке 2.10.

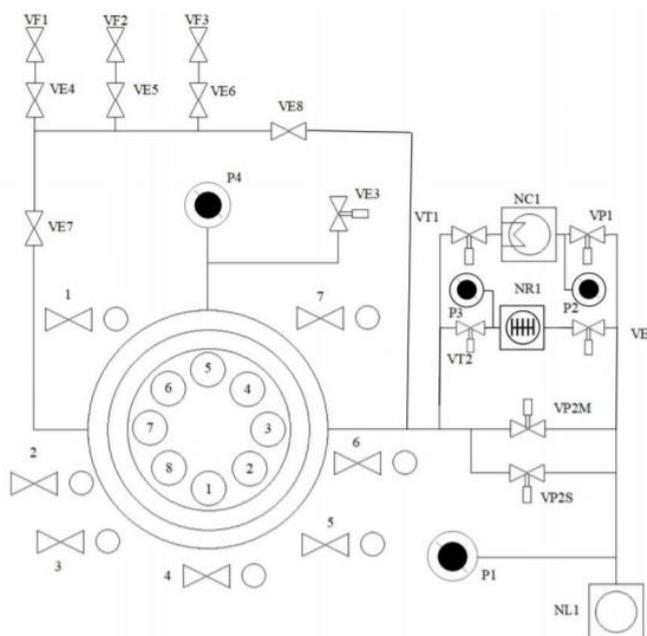


Рисунок 2.10 – Схема ионно-плазменной установки

Устройство установки:

VF1 – клапан от газового баллона «O₂»;

VE4 – клапан на линии «O₂»;

VF2 – клапан от газового баллона «Ar»;

VE5 – клапан на линии «Ar»;

VF3 – клапан от газового баллона «N₂»;

VE6 – клапан на линии «N₂»;



– клапаны подачи воды;

P1 – датчик давления, показывающий давление в форвакуумной магистрали (возле форвакуумного насоса);

P2 – датчик давления, показывающий давление в насосе NC1;

P3 – датчик давления, показывающий давление в насосе NR1;

P4 – датчик давления, показывающий давление в камере вакуумной установки;

NL1 – форвакуумный спиральный насос;

NR1 – турбомолекулярный насос;

NC1 – криогенный насос;

VP2S – клапан для откачки воздуха из установки в насос NL1, с трубопроводом меньшим диаметром;

VP2M – клапан для откачки воздуха из установки в насос NL1, с трубопроводом большим диаметром;

VE1 – клапан для регенерации насоса NC1;

VE2 – клапан на высоковакуумной линии к насосу NR1;

VE3 – высоковакуумный затвор, связывающий датчик давления и вакуумную установку;

VP1 – клапан на высоковакуумной линии к насосу NC1;

VT1 – высоковакуумный затвор для откачки воздуха из установки с помощью насоса NC1;

VT2 – высоковакуумный затвор для откачки воздуха из установки с помощью насоса NR1;

Порядок получения вакуума в установке следующий.

- 1) Проверить, чтоб все газовые клапаны были закрыты.
- 2) Проверить, чтоб был выключен насос NR1.

- 3) Включить форвакуумный насос NL1.
- 4) Открыть клапан VP2S, для откачки воздуха из установки в насос NL1, с трубкой меньшим диаметром.
- 5) Получить по $P_4=8 \cdot 10^3$ Па (давление в камере).
- 6) Открыть клапан VP2M, для откачки воздуха из установки в насос NL1, с трубкой большим диаметром.
- 7) Получить по P_4 не менее 50 Па.
- 8) Закрыть клапаны VP2M и VP2S.
- 9) Открыть клапан VE2, далее – открыть затвор VT2 при условии, что $(P_4-P_3) \leq 100$ Па.
- 10) Подать воду на насос NR1 и включить его.
- 11) Ждем по $P_4=0,1$ Па.
- 12) Закрыть затвор VT2.
- 13) Открыть затвор VT1.
- 14) Получить по $P_4=5 \cdot 10^{-3}$ Па.
- 15) Закрыть затвор VT1.
- 16) Открыть затвор VT2.
- 17) Начать технологический процесс.

2.8 Вакуумная печь для пайки меди с керамикой

Для осуществления пайки меди к керамике была использована вакуумная печь (рис. 2.11) с молибденовыми нагревателями в АО «НПЦ «Полюс». Форвакуумный насос представлен в виде пластинчато-роторного насоса 2НВР-90Д. После получения предварительного давления запуска для высоковакуумного насоса, был включен турбомолекулярный насос 01 АБ-1500-004.

Инертный газ, который подается во время процесса термического отжига, является гелий. Для качественной пайки температура в печи составляла около 1080 °С. Весь процесс заключался в получении давления в камере порядка 10^{-3}

Па, включение молибденовых нагревателей, получение необходимой температуры, изотермическая выдержка в течении 20–30 минут и медленное остывание со скоростью ~ 5 °С/мин.



Рисунок 2.11 – Внешний вид вакуумной печи

Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

Разработка научного исследования (НИ) производится группой работников, состоящей из двух человек – руководителя и студента.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности НИ, оценка его эффективности, уровня возможных рисков, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие **задачи:**

1. Оценить коммерческий потенциал и перспективность разработки НИ;
2. Осуществить планирование этапов выполнения исследования;
3. Рассчитать бюджет затрат на исследования;
4. Произвести оценку научно-технического уровня исследования и оценку рисков.

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Метод DBC (Direct Bond Copper) – это технология металлизированных подложек медью, которая широко используется в различных индустриях, например в электронике, оборудовании световой и энергетической техники.

Потенциальными потребителями металлизированных подложек медью методом DBC могут быть производители: полупроводниковых устройств (транзисторов, диодов, интегральных микросхем, солнечных батарей и т.д.); светодиодов и светотехники (LED-матриц, фонарей, прожекторов и т.д.); электроприводов и электромоторов; систем и устройств электроснабжения

(инверторов, преобразователей, усилителей и т.д.); батарей и аккумуляторов; систем автоматического управления производством и других производственных оборудования.

4.2 Анализ конкурентных технических решений

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

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений представлена в таблице 4.1.

В качестве конкурентов были выбраны 2 подобные технологии получения металлизированных плат медью: пайка активными металлами (Active Metal Braze – АМВ (на русск. – пайка активными металлами); магнетронное распыление меди.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

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

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента; V_i – вес критерия (в долях единицы); B_i – балл i -го показателя.

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_1	B_2	B_3	K_1	K_2	K_3
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Производительность	0,2	5	4	4	1	0,8	0,8
2. Получение хорошей адгезии	0,17	4	4	5	0,68	0,68	0,85
3. Надёжность	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4

4. Простота методики получения металлизированной подложки	0,15	5	4	3	0,75	0,6	0,45
5. Безопасность метода	0,08	5	4	4	0,4	0,32	0,32
Экономические критерии оценки эффективности							
6. Стоимость технологии	0,1	3	5	4	0,3	0,5	0,4
7. Конкурентоспособность продукта	0,05	5	4	3	0,25	0,2	0,15
8. Уровень проникновения на рынок	0,05	5	5	4	0,25	0,25	0,2
9. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
Итого	1	42	40	35	4,63	4,35	3,97

Где B_1 – технология моей работы (прямое соединение медью (DBC)); B_2 – пайка активными металлами (AMB); B_3 – магнетронное распыление меди.

По данным оценочной карты можно увидеть, что для повышения конкурентоспособности с минимальными издержками более эффективно использовать технологию прямого соединения медью (DBC) для металлизации медью керамических плат из AlN, она имеет более высокий показатель конкурентоспособности 4,63. Это обусловлено следующим рядом факторов: технология надёжна и безопасна, простая методика получения металлизированной подложки, низкая стоимость технологии.

4.3 SWOT-анализ

Произведем также в данном разделе SWOT – анализ научного исследования, позволяющего оценить факторы и явления, способствующие или препятствующие продвижению проекта на рынок.

Расшифровывается слово SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (Слабые стороны), Opportunities (возможности), Threats (угрозы).

На первом этапе SWOT анализа в таблице 4.2 были описаны сильные и слабые стороны проекта, выявлены возможности и угрозы реализации НИ.

Таблица 4.2 – Матрица SWOT анализа.

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p>
	<p>С1. Надежный и экономически эффективный метод; С2. Широкое использование в промышленности. С3. Легко интегрируется в производственный процесс и не требует дополнительных ресурсов или инструментов; С4. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями. С5. Простота методика получения металлизированной платы.</p>	<p>Сл1. Необходимо соблюдать высокие технологические стандарты и качество материалов. Сл2. Использование дорогостоящего оборудования. Сл3. Неточность полученных результатов. Сл4. Отсутствие точных параметров технологии. Сл5. Отсутствие необходимого оборудования с большой точностью.</p>
<p>Возможности: В1. Использование во многих отраслях, таких как электроника, автоматика и технологии безопасности. В2. Создание новых продуктов и решений, благодаря улучшенным свойствам и отличной термической эффективности устройств. В3. Повышение эффективности продукта открывает новые возможности для применения DBC-металлизации.</p>		

<p>В4. Использование инновационной структуры ТПУ. В5. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p>		
<p>Угрозы: У1. Некачественные конкурентные разработки. У2. Отсутствие спроса и снижение в цене. У3. Изменение рыночных условий и экономической конъюнктуры. У4. Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции. У5. Уменьшение финансирования исследования.</p>		

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Возможно использование этой матрицы в качестве одной из основ для оценки вариантов стратегического выбора. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Интерактивная матрица проекта представлена в табл. 4.3.

Таблица 4.3 - Интерактивная матрица сильных сторон и возможностей проекта

	Сильные стороны					
		C1	C2	C3	C4	C5
Возможности проекта	B1	-	+	-	+	0
	B2	+	-	-	+	+
	B3	-	+	-	-	+
	B4	-	-	-	-	+
	B5	+	+	-	+	-

Анализ интерактивных таблиц представляется в форме записи сильно коррелирующих сильных сторон и возможностей или слабых сторон и возможностей: B1C2C4, B2C1C4C5, B3C2C5, B4C5, B5C1C2C4.

В рамках третьего этапа составляется итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 4.4.

Таблица 4.4 - Итоговая матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	<p>C1. Надежный и экономически эффективный метод;</p> <p>C2. Широкое использование в промышленности.</p> <p>C3. Легко интегрируется в производственный процесс и не требует дополнительных ресурсов или инструментов;</p> <p>C4. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p> <p>C5. Простота методика получения</p>	<p>Сл1. Необходимо соблюдать высокие технологические стандарты и качество материалов.</p> <p>Сл2. Использование дорогостоящего оборудования.</p> <p>Сл3. Неточность полученных результатов.</p> <p>Сл4. Отсутствие точных параметров технологии.</p> <p>Сл5. Отсутствие необходимого оборудования с большой точностью.</p>

	металлизированной платы.	
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование во многих отраслях, таких как электроника, автоматика и технологии безопасности.</p> <p>В2. Создание новых продуктов и решений, благодаря улучшенным свойствам и отличной термической эффективности устройств.</p> <p>В3. Повышение эффективности продукта открывает новые возможности для применения DBC-металлизации.</p> <p>В4. Использование инновационной структуры ТПУ.</p> <p>В5. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Продвижение научно-исследовательского проекта на рынок. 2. Создание конкурентноспособного продукта. 3. Получение результатов технологии. 4. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ поможет реализовывать конечный продукт 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Поиск дополнительного финансирования в виде грантов и др. 2. Повышение квалификации кадров у потенциальных потребителей 3. Приобретения необходимого оборудования.
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Некачественные конкурентные разработки.</p> <p>У2. Отсутствие спроса и снижение в цене.</p> <p>У3. Изменение рыночных условий и экономической конъюнктуры.</p> <p>У4. Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции.</p> <p>У5. Уменьшение финансирования исследования.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Продвижение технологии с целью создания спроса 2. Сертификация и стандартизация продукта 3. Экономичность и энергоэффективность позволят привлечь внимание производителей. 4. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями. 5. Развитие технологии позволит привлечь государственные средства 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Инфраструктура ТПУ может привлечь внимание инвесторов для обеспечения финансирования. 2. Успешные исследования помогут маркетинговой компании привлечь покупателей. 3. Дальнейшее развитие технологии DBC позволит наладить стабильные поставки материалов и комплектующих

4.4 Планирование работ по научно-техническому исследованию

4.4.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

Работа выполнялась студентом (инженер) под руководством научного руководителя. Перечень этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований и способа решения задач	Инженер
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	4	Календарное планирование работ	Руководитель, инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Подготовка образцов для экспериментальных работ	Инженер
	6	Проведение эксперимента	Руководитель, инженер
	7	Выполнение расчётов	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Анализ и обработка полученных результатов	Инженер
	9	Обсуждение и оценка эффективности результатов	Руководитель, инженер

Оформление отчета по НИР	10	Составление пояснительной записки	Инженер
	11	Подготовка к защите работы	Инженер

4.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ

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

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

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (4.2)$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн., $t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн., $t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ по нескольким исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (4.3)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб.дн., $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн., $Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

4.4.3 Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным представлением проведения научных работ является построение ленточного графика в форме диаграммы Ганта.

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

Для удобства построение графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (4.4)$$

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - (T_{\text{вых}} + T_{\text{пр}})}, \quad (4.5)$$

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.

Расчет коэффициента календарности:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - (T_{\text{вых}} + T_{\text{пр}})} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48. \quad (4.6)$$

Временные показатели проведения научного исследования указаны в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
-----------------	--------------------	--	--

	t _{min} , чел– дни		t _{max} , чел– дни		t _{ожі} , чел– дни		Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2				
1. Составление и утверждение технического задания	1	-	5	-	2,6	-	2,6	-	4	-
2. Выбор направления исследований и способа решения задач	2	2	5	5	3,2	3,2	1,6	1,6	2	2
3.Подбор и изучение материалов по теме	-	8	-	30	-	16,8	-	16,8	-	25
4.Календарное планирование работ	2	2	5	5	3,2	3,2	1,6	1,6	2	2
5.Подготовка образцов для экспериментальных работ	2	5	4	10	2,8	7	1,4	3,5	2	5
6. Проведение эксперимента	10	10	20	20	14	14	7	7	10	10
7.Выполнение расчетов	5	10	10	20	7	14	3,5	7	5	10
8.Анализ и обработка полученных результатов	10	15	15	20	12	17	6	17	9	25
9.Обсуждение и оценка эффективности результатов	4	5	6	8	4,8	6,2	2,4	3,1	4	5
10.Составление пояснительной записки		17	-	24	-	19,8	-	19,8	-	29

11.Подготовка к защите работы	-	2	-	6	-	3,6	-	3,6	-	5
Итого	36	76	70	148	49,6	104,8	26,1	81	39	120

Где Исп.1 – научный руководитель; Исп.2 – инженер.

Составлен план научного исследования, в котором разработан календарный план выполнения работ. Для построения таблицы временных показателей проведения НИ был рассчитан коэффициент календарности. С помощью показателей в таблице 4.7 был разработан календарный план-график проведения НИ по теме. Для иллюстрации календарного плана была использована диаграмма Ганта, указывающая на целесообразность проведения данного исследования.

Таблица 4.7 – Календарный план-график проведения научного исследования

№ работ	Вид работ	Исполнители	T _{ki} , календ. Кол-во дней	Продолжительность выполнения работ														
				февраль			март			апрель			май					
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	4															
		Инженер	0															
2	Выбор направления исследований и способа решения задач	Руководитель	2															
		Инженер	2															
3	Подбор и изучение материалов по теме	Руководитель	0															
		Инженер	25															
4	Календарное планирование работ	Руководитель	2															
		Инженер	2															

заготовительные расходы (3–5 % от цены). Материальные затраты указаны в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Материальные затраты

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Керамическая плата из AlN	150 мм×150 мм×1 мм	1	1500	1500
Лист Меди	M0, 150 мм×150 мм×0,125 мм	1	1000	1000
Пруток из вольфрама	ВА, 300 мм×26 мм	1	30000	30000
Мишень из меди	марка M00Б (бескислородная), 90 мм×6 мм	1	5000	5000
Баллон аргона	Ar, 99,9%	1	8000	8000
Баллон кислорода	N ₂ , 99,9%	1	9000	9000
Всего за материалы				54500
Транспортно-заготовительные расходы (5%)				2725
Итого по статье С _м				57225

Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ:

При выполнении исследования дополнительное оборудование для проведения исследований не было приобретено. Все использованное оборудование являлось собственностью отделения экспериментальной физики НИИ ТПУ. Необходимо рассчитать амортизационные отчисления для использованного оборудования.

Расчет амортизации (норма амортизации) проводился следующим образом:

$$H_a = \frac{1}{n}, \quad (4.7)$$

где n – срок полезного использования (СПИ) в количестве лет.

Ежемесячные амортизационные отчисления:

$$A_m = \frac{H_a \cdot И}{12}, \quad (4.8)$$

где И – первоначальная стоимость оборудования (ПСО), тыс.руб.

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стенов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены. Расчет затрат по данной статье представлен в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во, шт	СПИ	ПСО, тыс. руб.	Норма амортизации	Ежемесячные отчисления, тыс. руб
1.	Персональный компьютер	1	6	43	0,17	0,61
2.	Вакуумная установка	1	10	10000	0,10	83,33
3.	Вакуумная печь	1	10	8000	0,10	66,67
4.	Муфельная печь	1	10	1000	0,10	8,33
5.	Керамическая печь	1	10	3000	0,10	25,00
6.	Шлифовальная машина	1	8	500	0,125	5,21
7.	Сканирующий электронный микроскоп	1	10	2000	0,10	16,67
8.	Профилометр (Micro Measure 3D Station)	1	12	600	0,083	4,15
					Итого:	209,97

Основная заработная плата исполнителя темы:

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных

производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20-30 % от тарифа или оклада.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату и рассчитывается по формуле 4.9:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (4.9)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата, $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (10 % от $Z_{осн}$).

Основная заработная плата руководителя рассчитывается по следующей формуле 4.10:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (4.10)$$

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле 4.11:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (4.11)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб., F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн., 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.

Баланс рабочего времени представлен в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		

- выходные дни	90	90
- праздничные дни	28	28
Потери рабочего времени		
- отпуск	24	24
- невыходы по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	223	223

Месячный должностной оклад работника (руководителя):

$$Z_M = Z_{TC} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (4.12)$$

где Z_{TC} – заработная плата по тарифной ставке, руб., $k_{пр}$ – премиальный коэффициент, k_d – коэффициент доплат и надбавок, k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчет основной заработной платы представлен в таблице 4.11

Таблица 4.11 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Разряд	Z_{TC} , руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_M , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Научный руководитель	доцент, к.т.н	37700	-	-	1,3	49010	2435	39	94969,5
Студент	Инженер	13900	-	-	1,3	18070	897,8	120	107739,3
Итого									202708,8

Расчет дополнительной заработной платы:

Дополнительная заработная плата учитывает величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы рассчитывается по формуле 4.13:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (4.13)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы, принятый на стадии проектирования за 0,15.

Дополнительная заработная плата научного руководителя:

$$Z_{\text{доп}} = 0,15 \cdot 94969,5 = 14245,4 \text{ руб.} \quad (4.14)$$

Дополнительная заработная плата инженера:

$$Z_{\text{доп}} = 0,15 \cdot 107739,3 = 16160,9 \text{ руб.} \quad (4.15)$$

В таблице 4.12 приведена заработная плата исполнителей проекта с учетом дополнительной зарплаты.

Таблица 4.12 – Заработная плата исполнителей проекта

Заработная плата	Руководитель	Студент
Основная зарплата, руб	94969,5	107739
Дополнительная зарплата, руб	14245,4	16160,9
Зарплата исполнителя, руб	109214,9	123900,2
Итого по статье $Z_{\text{зп}}$, руб	233115,1	

Отчисления во внебюджетные фонды:

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из формулы 4.16:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (4.16)$$

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

В соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30,2%.

Расчёт отчислений во внебюджетные фонды:

$$Z_{\text{науч. рук.}} = 0,302 \cdot (109214,9) = 32982,9 \text{ руб.} \quad (4.17)$$

$$Z_{\text{инжен.}} = 0,302 \cdot (123900,2) = 37417,9 \text{ руб.} \quad (4.18)$$

$$Z_{\text{внеб}} = Z_{\text{науч. рук.}} + Z_{\text{инжен.}} = 32982,9 + 37417,9 = 70400,8 \text{ руб.} \quad (4.19)$$

Отчисления на социальные нужды составили 70400,8 руб.

Накладные расходы:

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов. Их величина определяется по формуле 4.20:

$$Z_{\text{накл}} = (\sum \text{статей}) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (4.20)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы (16 %).

Расчет накладных расходов:

$$Z_{\text{накл}} = k_{\text{нр}} \cdot (Z_{\text{матер}} + Z_{\text{спец.об.}} + Z_{\text{осн.зп}} + Z_{\text{доп.зп}} + Z_{\text{внеб}}). \quad (4.21)$$

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

$$Z_{\text{накл}} = 0,16 \cdot (57225 + 209970 + 202708,8 + 30406,3 + 70400,8) = 91313,7 \text{ руб.} \quad (4.22)$$

Итого накладные расходы на весь бюджет составили 91313,7 рублей.

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта:

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (НИР) является основой для формирования бюджета затрат проекта. Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведено в таблице 4.13.

Таблица 4.13 –Расчет бюджета затрат НИР

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты	57225
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	209970
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	202708,8

4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	30406,3
5. Отчисления во внебюджетные фонды	70400,8
6. Накладные расходы	91313,7
Бюджет затрат проекта	662024,6

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

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования определяется как:

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.i}} = \frac{\Phi_{\text{pi}}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (4.23)$$

где $I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.i}}$ – интегральный финансовый показатель разработки, Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения, Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

В качестве вариантов исполнения были выбраны следующие технологии: Финансовый показатель разработки моей работы прямого соединения медью ($\Phi_{\text{p1}}=650267,6$), финансовый показатель технологии соединения медью методом АМВ ($\Phi_{\text{p2}}=801301$) и магнетронного распыления меди ($\Phi_{\text{p3}}=715026$).

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп1}} = \frac{650267,6}{801301} = 0,812. \quad (4.24)$$

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп2}} = \frac{801301}{801301} = 1. \quad (4.25)$$

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп3}} = \frac{715026}{801301} = 0,892. \quad (4.26)$$

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

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^n a_i \cdot b_i, \quad (4.27)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки, a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки, b_i^a, b_i^p – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания, n – число параметров сравнения.

Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта указана в таблице 4.14.

Таблица 4.14 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Время производства	0,16	5	3	4
2. Адгезия	0,29	5	4	3
3. Диэлектрическая проницаемость	0,15	5	5	3
4. Конкурентоспособность продукта	0,1	5	4	3
5. Цена	0,2	5	3	4
6. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	4	4	3
Итого	1	29	23	20

Расчёт интегральных показателей ресурсоэффективности:

$$I_{p-исп1} = 0,16 \cdot 5 + 0,29 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 = 4,9. \quad (4.28)$$

$$I_{p-исп2} = 0,16 \cdot 3 + 0,29 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,1 \cdot 4 = 3,79. \quad (4.29)$$

$$I_{p-исп3} = 0,16 \cdot 4 + 0,29 \cdot 3 + 0,15 \cdot 3 + 0,1 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 3 = 3,36. \quad (4.30)$$

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

$$I_{\text{исп1}} = \frac{I_{\text{р-исп1}}}{I_{\text{фин.р}}^{\text{исп1}}} = \frac{4,9}{0,812} = 6,03. \quad (4.31)$$

$$I_{\text{исп2}} = \frac{I_{\text{р-исп2}}}{I_{\text{фин.р}}^{\text{исп2}}} = \frac{3,79}{1} = 3,79. \quad (4.32)$$

$$I_{\text{исп3}} = \frac{I_{\text{р-исп3}}}{I_{\text{фин.р}}^{\text{исп3}}} = \frac{3,36}{0,892} = 3,77. \quad (4.33)$$

Из расчетов выявлено, что текущий проект по интегральному показателю ресурсоэффективности вариантов является выгодным и превосходит аналоги.

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (таблица 4.15) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{\text{ср}}$):

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп2}}}{I_{\text{исп1}}}. \quad (4.34)$$

Таблица 4.15 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,812	1	0,892
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,9	3,79	3,36
3	Интегральный показатель эффективности	6,03	3,79	3,77
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,629	0,995

Выводы по разделу

Была проведена оценка коммерческого потенциала и перспективности научного исследования. Разработка была также рассмотрена с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения в сравнении с существующими на рынке конкурентами. С помощью SWOT-анализа были определены сильные и слабые стороны проекта, а также изучены рыночные возможности и угрозы. Помимо этого, в данном разделе разработан поэтапный план проведения научно-исследовательских работ с привязкой к исполнителю. На основе этого плана был разработан график работы, спланирован бюджет проекта.

Глава 5. Социальная ответственность

Введение

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена разработке технологии металлизации медью керамический плат из AlN методом DBC (Direct bonding copper – прямое соединение медью). Для нанесения покрытия оксида меди и меди на керамические подложки использовалась магнетронная распылительная система, для очистки поверхности подложек – ионный источник. Данные процессы предполагают работу с высоким напряжением и различными газами (аргон, кислород).

Научно-технической базой для проведения исследования стала лаборатория № 101 научного парка ТПУ. При выполнении бакалаврской работы были использованы: экспериментальная установка для проведения процессов нанесения покрытий CuO и Cu на поверхность AlN, электронно-вычислительная машина, газовые баллоны со сжатым аргоном и кислородом. Приведем анализ вредных и опасных производственных факторов, а также комплекс защитных мероприятий, необходимых для данного оборудования.

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

Вредным производственным фактором называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего, в определенных условиях, приводит к заболеванию или снижению трудоспособности [23].

5.1 Анализ и оценка вредных и опасных факторов

Знание и строгое соблюдение правил техники безопасности являются обязательными для всего персонала. Обучение персонала технике безопасности и производственной санитарии состоит из вводного инструктажа, и инструктажа

на рабочем месте ответственным лицом [24]. Квалификационной комиссией проводится проверка знаний правил техники безопасности после обучения на рабочем месте. Проверяемому сотруднику, присваивается соответствующая его знаниям и опыту работы квалификационная группа по технике безопасности и выдается удостоверение.

При работе на экспериментальной установке, предназначенной для процессов ионно-плазменного азотирования и магнетронного осаждения, имеют место опасные и вредные производственные факторы [25]. Возможные опасные и вредные факторы при работе с экспериментальной установкой и нормативные документы, их регулирующие сведены в таблице 5.1.

Таблица 5.4 – Возможные опасные и вредные факторы и нормативные документы при работе с экспериментальной ионно-плазменной установкой

Факторы		Нормативные документы
Вредные	Опасные	
Повышенный уровень шума и вибрации		ГОСТ 12.1.029-80 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства и методы защиты от шума. Классификация» [26]. СН 2.2.4/2.1.8.566. Санитарные нормы. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий [27].
Недостаточная освещенность рабочей зоны		СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*[28].
	Электрический ток	ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность.

		Общие требования и номенклатура видов защиты [29].
Отклонение показателей микроклимата		СанПин 2.2.4.548-96. «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [30].
	Пожаро-взрывобезопасность	Пожаро- и взрывобезопасность промышленных объектов. ГОСТ Р12.1.004-85 ССБТ. Пожарная безопасность [31].
	Работа со сжатым воздухом в баллонах	ПБ 10-115-96. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением. – 1996 [32].

5.1.1 Шум и вибрация

Основными источниками шума при работе на ионно-плазменной установке являются вытяжка, форвакуумный спиральный и высоковакуумные турбомолекулярный и криогенный насосы. Вытяжка включается при работе с сильными кислотами и спиртами. Форвакуумный спиральный насос работает во время создания и поддержания вакуума в камере, шум от которого не более 58 дБ [9], что соответствует допустимому уровню шума в лабораториях для проведения научных экспериментов, который не должен превышать 60 дБА [26]. Длительность возникновения максимальных шумов составляет не более 5 минут. Рабочее место расположено в 2–2,5 метров от установки. Предельно допустимый уровень шума и средства защиты должны удовлетворять [26, 33].

Уровнем звука (дБА) называется суммарный уровень звукового давления звуков всего спектра частот, воспринимаемого шумомером и замеренного на шкале А с учетом слухового восприятия шума человеком.

Допускаемые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах указаны в таблице 5.2.

Таблица 5.5 – Предельно допустимые уровни звукового давления для лаборатории с шумным оборудованием [26]

Вид трудовой деятельности, рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
В помещениях лабораторий с шумным оборудованием, в помещениях для размещения шумных агрегатов вычислительных машин	103	91	83	77	73	70	68	66	64

Шум от турбомолекулярного и криогенного насосов также не превышает 50 дБ. Поэтому вклад в изменении уровня шума форвакуумные и высоковакуумные насосы не вносят.

Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне.

Уровень шума оказывает значительное воздействие на организм человека, причиняя негативные последствия, такие как потеря слуха, проблемы с центральной нервной системой и психическим состоянием. Усталость и потеря энергии — это признаки того, что шум вызывает перегрузку нервной системы. Ускоренные сердцебиение и дыхание, а также ухудшение настроения и внимательности, могут быть также связаны с высоким уровнем шума. Общее

воздействие шума на персонал заключается в уменьшении его работоспособности и производительности.

В качестве защиты от шумового воздействия рекомендуется использовать средства коллективной защиты: акустические экраны, перегородки, объемные поглотители звука, виброизолирующие опоры; средства индивидуальной защиты: специальные наушники, вкладыши в ушную раковину, противошумные каски. В качестве материалов для шумозащитных экранов применяют минеральную вату, композитные материалы, пластмассы, поликарбонаты, древесина, металлы, кирпичную кладку, бетон [34].

Для того, чтобы защитить себя от вибрации необходимо использовать перчатки с гелевой вставкой на ладони и подушечки пальцев, подушки или коврики для амортизации на столах и рабочих поверхностях, очки с защитными линзами от вибраций, мониторы с плавающими экранами или с подставками, чтобы уменьшить вибрацию от компьютера, защитные наушники, чтобы защитить уши от шума и вибрации, электрические инструменты с встроенной амортизацией, например, с различными пружинами, чтобы уменьшить вибрацию во время использования, специальные кресла с амортизирующими функциями, чтобы уменьшить воздействие вибрации на тело оператора [27].

Параметры шума и вибрации в лаборатории № 101 научного парка соответствуют нормам [26, 27].

5.1.2 Освещенность

Для обеспечения комфортных условий работы, уровень яркости на рабочем месте должен соответствовать требованиям и быть оптимальным. Желательно, чтобы световой спектр был наиболее близок к естественному дневному освещению, поскольку оно наилучшим образом соответствует физиологии человека. Высокий уровень освещенности, так же, как и недостаточный, может привести к быстрому утомлению глаз. Важно, чтобы освещение было равномерным на всей рабочей площади, чтобы избежать

понижения остроты зрения при перемещении глаз с более ярких участков на менее яркие, и наоборот. Регулирование уровня освещенности в производственных помещениях определяется правилами.

Для производственных помещений используются системы общего освещения (равномерного или локализованного) и комбинированные системы (общее и местное освещение). Выбор соответствующей системы зависит от особенностей производственного процесса и расположения оборудования. Для точных зрительных работ применяется комбинированное освещение. Использование только местного освещения на рабочих местах запрещено [5].

Расчет светильников:

Геометрические параметры помещения лаборатории № 101 научного парка, в которой расположена экспериментальная установка, указаны в таблице 5.3.

Таблица 5.6 – Геометрические параметры помещения лаборатории № 101 научного парка

Длина (А), м	Ширина (В), м	Высота (Н), м	Высота рабочей поверхности над полом, м
14,5	9,5	3,0	0,8

Согласно [28], необходимо создать освещенность данного помещения не ниже $E_H = 200$ лк, в соответствии с характеристикой зрительной работы (грубая, очень малой точности). Значение отклонения светового потока должно находиться в диапазоне от -10 % до 20 %.

Площадь помещения:

$$S = A \cdot B = 14,5 \cdot 9,5 = 137,75 \text{ м}^2. \quad (5.1)$$

В помещении установлены светодиодные светильники TDS-ARM 418-56 ЕСО, световой поток составляет $\Phi_{\text{лд}} = 4000$ Лм, мощность 34 Вт, длина светильника равна 595 мм, ширина – 595 мм. На всю площадь помещения расположены 3 ряда светильников по 8 светильников в ряду. Следовательно, общее количество осветительных приборов равно $N = 24$.

Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен $K_z = 1,5$. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $Z = 1,1$.

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле [28]:

$$\Phi_{\Pi} = \frac{E_n \cdot S \cdot K_z \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 137,75 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{24 \cdot 0,53} = 3537,7 \text{ лм}, \quad (5.2)$$

где E_n – требуемая освещенность; S – площадь помещения; K_z – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника; Z – Коэффициент неравномерности; N – количество светильников; η – коэффициент использования светильника.

Сделаем проверку выполнения условия освещенности:

$$-10 \% \leq \frac{\Phi_{\text{лд}} - \Phi_{\Pi}}{\Phi_{\text{лд}}} \cdot 100 \% \leq 20 \%, \quad (5.3)$$

$$\frac{\Phi_{\text{лд}} - \Phi_{\Pi}}{\Phi_{\text{лд}}} \cdot 100 \% = \frac{4000 - 3573,7}{4000} \cdot 100 \% = 10,65 \%, \quad (5.4)$$

где $\Phi_{\text{лд}}$ – световой поток одной лампы; Φ_{Π} – световой поток группы ламп светильника.

Таким образом рассчитанный световой поток для светодиодных ламп TDS-ARM 418- 56 ECO не выходит за пределы требуемого диапазона, что соответствует нормам [28] для помещения лаборатории № 101 научного парка.

5.1.3 Электробезопасность

Опасность поражения электрическим током зависит от условий в помещении и может быть увеличена или уменьшена. Рекомендуется не работать с компьютерами и другими электроустановками, когда в помещении высокая влажность, температура выше $35 \text{ }^{\circ}\text{C}$, есть токопроводящая пыль, полы и возможность прикосновения к металлическим элементам, имеющим соединение с землей. Прохождение тока может вызывать у человека раздражение и

повреждение различных органов. Пороговый не отпускающий ток составляет 6 – 16 мА. Оператор ЭВМ работает с электроприборами: компьютером (дисплей, системный блок и т.д.) и периферийными устройствами.

Согласно [29] помещения по электробезопасности помещения классифицируются на: безопасные, с повышенной опасностью, особо опасные.

Помещение, в которой расположена экспериментальная установка, относится к 2 классу помещений с повышенной опасностью, так как в данном помещении находится большее количество высоковольтного оборудования и есть угроза поражения электрическим током при косвенном касании токоведущих элементов. Также присутствует ядовитый взрывоопасный газ. Граничные значения напряжений, при повышении которых требуется выполнение защиты от косвенного прикосновения для помещений с повышенной опасностью составляет >25 В переменного тока и >60 В постоянного тока [35].

Существует опасность электропоражения в следующих случаях:

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

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок:

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

корпуса электропоражающих элементов, заключение в корпус токоведущих частей).

Средства индивидуальной защиты подразделяются на изолирующие, вспомогательные и ограждающие. К основным изолирующим средствам в работе с электроустановками до 1000 В относят диэлектрические перчатки, инструмент с изолированными ручками. К дополнительным – диэлектрические галоши, коврики, диэлектрические подставки

Опасность электропоражения при прикосновении к металлическим частям оборудования может быть уменьшена, если быстро отключить поврежденную установку от питающей сети и снизить напряжение корпуса относительно земли [29, 35].

По электробезопасности лаборатория № 101 научного парка относится к 2 классу помещений с повышенной опасностью [35].

5.1.4 Пожаро-взрывобезопасность

Понятие пожарная безопасность означает состояние объекта, при котором исключается возможность пожара. В случае возникновения пожара в первую очередь необходимо предотвратить воздействие его на людей и обеспечить защиту материальных ценностей, находящихся в зоне горения или вблизи от нее [36].

Категории помещений и зданий определяются, исходя из вида находящихся в помещениях горючих веществ и материалов, их количества и пожароопасных свойств, а также, исходя из объемно-планировочных решений помещений и характеристик проводимых в них технологических процессов. Категории помещений и их характеристики указаны в таблице 5.4.

Таблица 5.7 – Категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности и характеристики веществ, которые находятся в этих помещениях [31]

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
---------------------	---

<p style="text-align: center;">А повышенная взрывопожаро- опасность</p>	<p style="text-align: center;">Горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 °С в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, и (или) вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом.</p>
<p style="text-align: center;">Б взрывопожаро- опасность</p>	<p style="text-align: center;">Горючие пыли или волокна, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28 °С, горючие жидкости в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные пылевоздушные или паровоздушные смеси.</p>
<p style="text-align: center;">В1-В4 пожаро- опасность</p>	<p style="text-align: center;">Горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы, вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых они находятся (обращаются), не относятся к категории А или Б</p>
<p style="text-align: center;">Г умеренная пожароопасность</p>	<p style="text-align: center;">Негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени, и (или) горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива</p>
<p style="text-align: center;">Д пониженная пожароопасность</p>	<p style="text-align: center;">Негорючие вещества и материалы в холодном состоянии</p>

Отнесение помещения к категории В1, В2, В3 или В4 осуществляется в зависимости от количества и способа размещения пожарной нагрузки в

указанном помещении и его объемно-планировочных характеристик, а также от пожароопасных свойств веществ и материалов, составляющих пожарную нагрузку.

Согласно [31], помещение, в котором производится работа с вакуумной установкой и прочими ее узлами относится к категории В4, т.е. к помещениям, в которых находятся (обрабатываются) горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть. Помещения категории В4 [31] надлежит оборудовать системами автоматической противопожарной защиты, в соответствии с требованиями [37].

Ознакомиться с классификацией взрывоопасных зон и характеристиками этих помещений можно в таблице 5.5.

Таблица 5.8- Классификация взрывоопасных зон и характеристики этих помещений [31]

Класс	Характеристика помещения
П-I	Зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются горючие жидкости с температурой вспышки выше 61°C.
П-II	Зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются горючие пыль или волокна с НКПВ более 65 г/м ³ к объему воздуха.
П-IIIa	Зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются твердые горючие вещества.
П-III	Зоны, расположенные вне помещений, в которых обращаются с горючими жидкостями с температурой вспышки выше 61°C или с твердыми горючими веществами

Помещение лаборатории № 101 научного парка относится к П-IIIa классу по взрывопожарной и пожарной безопасности [31].

5.1.5 Микроклимат

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии с [30], они приведены в таблице 5.6.

Таблица 5.9 – Оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах производственных помещений

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

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

Согласно [38], кратность воздухообмена аудитории, учебных кабинетов, лабораторий должна равняться 2 ч⁻¹, при условии минимального расхода наружного воздуха на 1 человека не менее 20 м³ /ч.

На вакуумной установке предусмотрена принудительная вытяжка из вакуумного насоса, поэтому загрязнение воздуха парами масел не происходит.

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление. Параметры микроклимата в используемой лаборатории регулируются системой

центрального отопления, и имеют следующие значения: влажность – 40%, скорость движения воздуха – 0,1 м/с, температура летом – 20-25 °С, зимой – 13 - 15 °С. В лаборатории вентиляция осуществляется механическим путём.

Расчет вентиляции:

Объем помещения:

$$V = A \cdot B \cdot H = 14,5 \cdot 9,5 \cdot 3 = 413,25 \text{ м}^3. \quad (5.5)$$

Кратность воздухообмена для производственных помещений согласно [16], определяется как:

$$L = L_0 \cdot N, \quad (5.6)$$

где L_0 — нормативный воздухообмен на 1 человека, $\text{м}^3/(\text{чел} \cdot \text{ч})$; N – количество людей в помещении.

Для лабораторий нормативный воздухообмен на 1 человека в производственных помещениях с естественным проветриванием составляет $30 \text{ м}^3/(\text{чел} \cdot \text{ч})$ [39], в лаборатории № 101 научного парка постоянно находятся 7 человек – работников, однако в лаборатории также почти регулярно присутствуют студенты, поэтому рассчитаем воздухообмен приблизительно в общем для 12 человек:

$$L = 30 \cdot 12 = 360 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}. \quad (5.7)$$

Рассчитаем кратность воздухообмена:

$$K = \frac{V}{L} = \frac{413,25}{360} \approx 1,15 \approx 1. \quad (5.8)$$

Подберем систему кондиционирования со следующей производительностью:

$$L = K \cdot V = 1 \cdot 413,25 = 413,25 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}. \quad (5.9)$$

Необходимый расход воздуха обеспечивает радиальный вентилятор ВЦ 4-70(М)-2,5 производительностью $380 - 880 \text{ м}^3/\text{ч}$ [40]. Параметры микроклимата в помещении лаборатории № 101 научного парка ТПУ соответствуют нормам [30,38].

5.1.6 Работа со сжатым воздухом в баллонах

Условия работы на вакуумной установке требуют использования особо чистого аргона в качестве газа-носителя, который получают из воздуха и остаточных газов аммиачных производств. Газообразный аргон безвреден для окружающей среды, однако, в силу своей тяжести, может скапливаться на полу в слабо проветриваемых помещениях, что повышает риск кислородного недостатка и удушья. Для безопасного использования газовых приборов необходимо проводить проверку целостности баллона и его крепления, наличия повреждений, а также состояния вентиля, резьбы и редуктора, который должен быть подобран под используемый газ [32].

Для обеспечения безопасности при работе на вакуумной установке используются следующие технические способы и средства коллективной и индивидуальной защиты:

- средства защиты органов дыхания (противогаз, защитная маска);
- вытяжная вентиляция;
- дополнительная вытяжная вентиляция над камерой;
- средство защиты глаз (очки).

Также персонал, при работе на установке, должен быть обеспечен спецодеждой (халат х/б, перчатки резиновые, нарукавники пластиковые (дежурные), спецобувь (сапоги) [41].

5.2 Анализ вероятных аварийных и чрезвычайных ситуаций (АС и ЧС)

В помещении лаборатории № 101 научного парка ТПУ используются (обращаются) негорючие вещества и горючие газы, жидкости и твердые вещества. Также в данном помещении расположены баллоны с инертными и реакционными газами (азот, аргон, водород, кислород).

В таблице 5.7 приведены возможные аварийные и чрезвычайные ситуации, которые могут возникнуть в лаборатории № 101 научного парка ТПУ, меры предосторожности, меры по ликвидации последствий ЧС.

Таблица 5.10 – Чрезвычайные и аварийные ситуации в лаборатории № 101 научного парка ТПУ, меры их предотвращения и меры по ликвидации последствий АС и ЧС

№	Чрезвычайные и аварийные ситуации	Меры предотвращения ЧС и АС	Меры по ликвидации последствий ЧС и АС
1	Поражение электрическим током	<ol style="list-style-type: none"> 1. Проведение периодических инструктажей по электробезопасности. 2. Использование только исправного оборудования 3. Недоступность токоведущих частей для случайного прикосновения 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Освободить пострадавшего от воздействия электрического тока 2. Проверить состояние пострадавшего и вызвать при необходимости скорую помощь по телефону 112. 3. Оказать пострадавшему необходимую первую помощь 4. При необходимости, организовать доставку пострадавшего в ближайшее лечебное учреждение 5. О произошедшем несчастном случае поставить в известность руководителя подразделения.
2	Пожар	<ol style="list-style-type: none"> 1. Использование только исправного оборудования; 2. Проведение периодических инструктажей по 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Вызвать пожарный расчет по телефону 112; 2. Отключить электропитание,

		<p>пожарной безопасности;</p> <p>3. Отключение электрооборудования, освещения и электропитания при предполагаемом</p> <p>4. отсутствии обслуживающего персонала или по окончании работ.</p>	<p>выключить вентиляцию;</p> <p>3. Закрыть двери и окна, чтобы убрать доступ кислорода для горения;</p> <p>4. Воспользоваться первичными средствами пожаротушения (огнетушитель ВП, УК или П) или песком. При невозможности</p> <p>5. –Начать эвакуацию людей из помещения;</p> <p>6. Сообщить о пожаре администрации лаборатории и института</p>
3	<p>Разгерметизация газового баллона, повлекшая удушье человека или взрыв баллона</p>	<p>1. Проведение периодических инструктажей по работе с газовыми баллонами;</p> <p>2. Устанавливать баллоны вертикально и на расстоянии не менее 1 метра от радиаторов и не менее 5 метров от источников тепла с открытым огнём [42].</p>	<p>1. Покинуть помещение, оставив включенной вентиляцию до полного исчезновения запаха;</p> <p>2. Вызвать МЧС по телефону 112.</p>

Выводы по разделу

В разделе рассмотрены следующие вредные и опасные факторы:

- шум и вибрация [26, 27];
- освещенность [28];
- микроклимат [30, 38];
- электробезопасность [29, 35];
- пожаровзрывобезопасность [31, 36, 37]
- работа со сжатым газом в баллонах [32];

Помещение лаборатории № 101 научного парка ТПУ относится:

- по электробезопасности к второму классу «Помещения с повышенной опасностью» [29];
- по пожаровзрывобезопасности к категории В4, класс зоны помещения П-Па [31].

Также в разделе описаны возможные чрезвычайные и аварийные ситуации, которые могут возникнуть в лаборатории № 101 научного парка ТПУ, меры по их предотвращению и ликвидации последствий.

Заключение

В ходе выполнения данной выпускной квалификационной работы были изучены параметры металлизации медью керамических подложек из AlN, определена шероховатость поверхностей меди и керамики, проанализирован элементный состав поверхности меди после пайки, измерена адгезия полученной металлизированной керамики.

Определяющими параметрами в технологии получения металлизированной керамики является температура пайки и давление, прикладываемое к поверхности меди на керамику. Также было выяснено, что чем больше толщина окисленного слоя AlN, тем лучше происходит сцепление поверхности меди с керамикой при пайке.

Для определения адгезии меди к керамике была разработана методика эксперимента по определению прочности на отрыв металлизированной керамики на разрывной машине, для экспериментального образца адгезия составила $0,8 \text{ Н/мм}^2$, что является недостаточным показателем для металлизированной керамики.

Список литературы

1. Красный И., Непочатов Ю., Кумачёва С., Швецова Ю. Технологии изготовления плат для высокомоощных силовых полупроводниковых устройств. Часть 1 // Современные технологии. - 2014. - №9. - С. 18-12. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://303421.selcdn.ru/soel-upload/clouds/1/iblock/da6/da6c763f1694beba3a0a65db1bb66f0e/20140918.pdf> (дата обращения 20.05.2023).
2. Серегин В.С., Томилин Н.А., Пилалова Л.В. Использование методов физико-химического анализа при разработке технологии металлизации керамики из нитрида алюминия // Электронная техника. Серия 3. Микроэлектроника. - 2015. - №3. - С. 31-40. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.niime.ru/upload/zhurnal-mikroelektronika/Выпуск%203%20\(159\)%202015.pdf#:~:text=В%20последнее%20время%20в%20электронной,механическая%20прочность%2С%20сопоставима%20с%20алюмооксид-ной](https://www.niime.ru/upload/zhurnal-mikroelektronika/Выпуск%203%20(159)%202015.pdf#:~:text=В%20последнее%20время%20в%20электронной,механическая%20прочность%2С%20сопоставима%20с%20алюмооксид-ной) (дата обращения 20.05.2023).
3. Технология металлизации керамики и пайка металлокерамических соединений. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://studme.org/192538/tehnika/tehnologiya_metallizatsii_keramiki_payka_metall_okeramicheskikh_soedineniy (дата обращения 20.05.2023).
4. Методы металлизации керамики. Вакуум-плотные спаи керамики с металлами и методы их получения. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://studfile.net/preview/9465332/page:15/> (дата обращения 13.11.2022).
5. Где применяется металлокерамика. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://stal-kom.ru/gde-primenyayetsya-metalla-keramika/> (дата обращения 20.05.2023).
6. Материалы для металлизации керамики. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://leksi.org/11-76440.html> (дата обращения 20.05.2023).
7. Шульц-Хардер Ю. Медно-керамические подложки DBC: новые возможности, перспективы и проблемы создания нового поколения изделий

силовой электроники // Компоненты и технологии. - 2015. - №3. - С. 72-75. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/medno-keramicheskie-podlozhki-dbc-osnova-sovremennoy-silovoy-elektroniki-novye-vozmozhnosti-tehnologii-dbc-perspektivy-i-problemy/viewer> (дата обращения 20.05.2023).

8. Технология АМВ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://c-component.ru/technologies/metallizatsiya/tehnologiya-amb/> (дата обращения 20.05.2023).

9. Металлизированные подложки керамические печатные платы. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://parsek.xyz/ma/podlozhki-st50-vk94-vk96-vk100-aln/metallizirovannye-podlozhki/> (дата обращения 20.05.2023).

10. Технология DBC. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://c-component.ru/technologies/metallizatsiya/tehnologiya-dbc/> (дата обращения 20.05.2023).

11. Патент № US005490627A United States. Direct bonding of copper composites to ceramics: № 268, 488: заявл. Jun. 30, 1994: опубл. Feb. 13, 1996 / Alvin L., William T. – 4 с. Available from <https://patents.google.com/patent/US5490627A/en> [Accessed 20.05.2023].

12. Исламгазина Л. Критерии выбора подложек для силовых модулей / Л. Исламгазина, Ю. Шульц-Хардер, С. Валев // Компоненты и технологии. - 2004. - №3. - С. 60-63. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/kriterii-vybora-podlozhek-dlya-silovyh-moduley/viewer> (дата обращения 20.05.2023).

13. Direct bond copper – Controlled atmosphere furnaces for attachment and oxidation. Available from <https://www.btu.com/applications/direct-bond-copper/> [Accessed 20.05.2023].

14. Hromadka K., Stulik J., Reboun J., Hamacek A. DBC Technology for Low Cost Power Electronic Substrate Manufacturing // 24th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, - Vienna: 2014. – pp. 1180-1183. Available from

https://daaam.info/Downloads/Pdfs/proceedings/proceedings_2013/156.pdf

[Accessed 20.05.2023].

15. Технология улучшения параметров качества подложек нитрида алюминия. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://studizba.com/files/show/doc/217882-3-tehnologiya-uluchsheniya-parametrov.html> (дата обращения 20.05.2023).

16. Kluge-Weiss P., Gobrecht J. Directly bonded copper metallization of AlN substrates for power hybrids // MRS Online Proceedings Library, - Baden:1984. - №40. - pp. 399–404.

17. Direct bond copper (DBC) technologies. Available from <https://www.beltofurnaces.com/doc/StellarDirectBondCopperTechnologiesArticle.pdf> [Accessed 20.05.2023].

18. Фазовая диаграмма Cu-W. Режим доступа: <https://himikatus.ru/art/phase-diagr1/Cu-W.php> (дата обращения 20.05.2023).

19. Фазовая диаграмма Cu-Mo. Режим доступа: <https://himikatus.ru/art/phase-diagr1/Cu-Mo.php> (дата обращения 20.05.2023).

20. Грудинин В.А., Сиделёв Д.В. Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Лабораторный практикум» для студентов очной формы обучения по направлению: 14.03.02 – Ядерная физика и технологии, - Томск, 2022.

21. Трёхмерный бесконтактный профилометр (Micro Measure 3D Station). Режим доступа: https://portal.tpu.ru/departments/centre/cism_fti/tech_base/micromasure (дата обращения 20.05.2023).

22. Лабораторные работы по теме «Сканирующая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ». Режим доступа: <https://nsp.phys.spbu.ru/Pdf/Лекции/Электронная%20микроскопия/Лабораторные%20работы%20-%20электронная%20микроскопия.pdf> (дата обращения 20.05.2023).

23. Федеральный закон «Об основах охраны труда» от 17.07.1999 г. № 181-ФЗ.
24. ГОСТ 12.0.004-2015 ССБТ. Организация обучения безопасности труда. Общие положения.
25. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
26. ГОСТ 12.1.029-80 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства и методы защиты от шума. Классификация».
27. СН 2.2.4/2.1.8.566. Санитарные нормы. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий.
28. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*.
29. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
30. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
31. ГОСТ Р12.1.004-85 ССБТ. Пожарная безопасность. Пожаро- и взрывобезопасность промышленных объектов.
32. ПБ 10-115-96. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением. – 1996.
33. ГОСТ 12.1.029-80. Средства и методы защиты от шума.
34. Спиральный вакуумный насос Anest iwata ISP-250С [Электронный ресурс] // Интернет-магазин «Вакуум-маркет» URL <https://vacuummarket.ru/catalog/vakuumnye-nasosy/spiralnye/anest-iwata-isp-250s/> (Дата обращения 20.05.2023).
35. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.
36. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 14.07.2022) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2023).

37. СП 5.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования.

38. СП 118.13330.2012*. Свод правил. Общественные здания и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 31-06-2009.

39. СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование.

40. Вентилятор ВЦ 4-70(М)-2,5. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://jiner.ru/catalog/sistemy_ventilyatsii/radialnye_ventilyatory/nizkogo_davleniya/ventilyator_vts_4_70_2_5_0_12_kvт/ (Дата обращения: 20.05.2023).

41. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.

42. Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. Инструкция по охране труда при хранении и эксплуатации газовых баллонов. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200039245> (Дата обращения: 20.05.2023).