

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

Школа ИШНПТ
 Направление подготовки 18.04.01 Химическая технология
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ им Н.М. Кижнера

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Влияние состава стекла на свойства низкотемпературной металлизации для нитрида алюминия

УДК 666.1.055::661.862'171.1

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ГМ93	Никулин М.А		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дитц А.А	к.т.н		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу: «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кашук И.В.	к.т.н.		

По разделу: «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Скачкова Л.А.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Казьмина О.В.	д.т.н., профессор		

Томск – 2021 г.

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

Школа ИШНПТ
 Направление подготовки 18.04.01 Химическая технология
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ им Н.М. Кижнера

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Казьмина О.В.
 (Подпись) (Дата)

**ЗАДАНИЕ
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
4ГМ93	Никулин М.А

Тема работы:

Влияние состава стекла на свойства низкотемпературной металлизации для нитрида алюминия	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 50-30/с от 19.02.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:	07.06.2021
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Данные литературного анализа по вопросу «Влияния состава стекла на свойства низкотемпературной металлизации для нитрида алюминия». Объект исследований – составы металлизационных паст подходящих для металлизации нитрида алюминия Предмет исследования – серебросодержащие металлизационные пасты
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Обоснование выбора исходного сырья 2. Разработка состава получаемого материала 3. Определение свойств материала 4. Заключение по работе
Перечень графического материала	Презентация в MS PowerPoint: - Характеристика исходного сырья; - Результаты экспериментов; - Выводы по работе.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
1. Литературный обзор. 2. Методы исследования. 3. Экспериментальная часть.	Дитц Александр Андреевич
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кашук Ирина Вадимовна
Социальная ответственность	Скачкова Лариса Александровна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Методы и методики исследования	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	24.02.2020
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дитц А.А.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ГМ93	Никулин М.А.		

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП «ХИМИЧЕСКАЯ
ТЕХНОЛОГИЯ КЕРАМИКИ И КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ»**

Универсальные компетенции	
УК(У)-1	способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действия
УК(У)-2	способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	готовность к коммуникации в устной и письменной формах на русском и иностранном языках для решения задач профессиональной деятельности
ОПК(У)-2	готовность руководить коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
ОПК(У)-3	способность к профессиональной эксплуатации современного оборудования и приборов в соответствии с направлением и профилем подготовки
ОПК(У)-4	готовность к использованию методов математического моделирования материалов и технологических процессов, к теоретическому анализу и экспериментальной проверке теоретических гипотез
ОПК(У)-5	готовность к защите объектов интеллектуальной собственности и коммерциализации прав на объекты интеллектуальной собственности
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	способность организовывать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую работу, разрабатывать планы и программы проведения научных исследований и технических разработок, разрабатывать задания для исполнителей
ПК(У)-2	готовность к поиску, обработке, анализу и систематизации научно-технической информации по теме исследования, выбору методик и средств решения задачи
ПК(У)-3	способность использовать современные приборы и методики, организовывать проведение экспериментов и испытаний, проводить их обработку и анализировать их результаты
Профессиональные компетенции университета	
ДПК(У)-1	готовность к разработке учебно-методическую документацию для реализации образовательных программ

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

Школа ИШНПТ
Направление подготовки 18.04.01 Химическая технология
Отделение школы (НОЦ) НОЦ им Н.М. Кижнера
Период выполнения (осенний / весенний семестр 2020/2021 учебного года)

Форма представления работы:

Магистерская диссертация
(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	07.06.2021
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
	Основная часть	75
	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
	Социальная ответственность	10

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дитц А.А.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Казьмина О.В.	д.т.н, профессор		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 116 с., 17 рис., 18 табл., 27 источников.

Ключевые слова: нитрид алюминия; угол смачивания; коэффициент термического расширения, металлизация, металлизация, смачивание, адгезия.

Объектом исследования являются составы металлизационных паст подходящих для металлизации нитрида алюминия

Цель работы – исследование влияния состава стекла на свойства низкотемпературной металлизации для нитрида алюминия

В процессе исследования проводились: приготовление составов металлизационных паст с добавлением стекла с различными модификаторами, определение характеристик стекла и измерение угла смачивания нитрида алюминия стеклом, коэффициента термического расширения, приготовление опытных образцов нитрида алюминия с нанесенной металлизационной пастой, а так же определение свойств металлизационной пасты.

В результате исследования: были сделаны выводы на основе полученных данных по адгезии к нитриду алюминия получившихся металлизационных паст и их проводимость.

Степень внедрения: лабораторные испытания.

Область применения: энергетика/машиностроение.

Экономическая эффективность/значимость работы: в результате проведения анализа экономической эффективности выявлено, что данное исследование по сравнению с аналогами более ресурсоэффективно.

В будущем планируется: исследование составов металлизационных паст для металлизации оксидной керамики.

ПЕРЕЧЕНЬ СТАНДАРТОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОФОРМЛЕНИИ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
2. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
3. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
4. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
5. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
6. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
7. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

КТР – коэффициент термического расширения;

РФА – рентгенофлуоресцентный анализ;

РЭМ – растровый электронный микроскоп;

СЭМ – сканирующий электронный микроскоп;

ЭДС – электродвижущая сила;

ПП – паяльная паста ;

ПДК – предельно допустимая концентрация;

ЧС – чрезвычайная ситуация;

СНиП – строительные нормы и правила;

ПУЭ - правилами устройства электроустановок;

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	13
1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	15
1.1 КЕРАМИКА НА ОСНОВЕ ALN.....	15
1.1.1 Теплофизические свойства керамики ALN	15
1.1.2 Химическая стойкость.....	17
1.2 МЕТАЛЛИЗАЦИЯ КЕРАМИКИ.....	18
1.2.1 Существующие способы металлизации	19
1.2.2 Требования к составляющим металлизации	25
1.3 СОСТАВЫ ПАСТ И РЕЖИМЫ ДЛЯ МЕТАЛЛИЗАЦИИ КЕРАМИКИ.....	26
2 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И МАТЕРИАЛЫ.....	36
2.1 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	36
2.1.1 Рентгенофазовый анализ	36
2.1.2 Растровая электронная микроскопия.....	37
2.1.3 Измерение угла смачивания.....	42
2.1.4 Гидростатическое взвешивание.....	47
2.1.5 Проводимость.....	48
2.1.6 Адгезия.....	49
2.2 МАТЕРИАЛЫ.....	50
2.2.1 Керамика на основе ALN	50
2.2.2 Компоненты стекла.....	50
2.2.3 Описание материалов Ag	52
3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	53
3.1 РАСЧЁТ СВОЙСТВ СТЁКОЛ	53
3.2 ВАРКА СТЁКОЛ.....	54
3.2.1 Расчёт составов стекольных шихт.....	54
3.2.2 Режим варки.....	55
3.3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ СВАРЕННЫХ СТЁКОЛ.....	57

3.3.1	Исследование образцов на коэффициент термического расширения.....	57
3.4	ИССЛЕДОВАНИЕ УГЛА СМАЧИВАНИЯ.....	58
3.4.1	Исследование угла смачивания от шероховатости	58
3.5	МЕТАЛЛИЗАЦИЯ ALN СЕРЕБРОСОДЕРЖАЩИМИ ПАСТАМИ.....	61
3.5.1	Приготовление пасты	61
3.5.2	Вжигание паст	67
3.5.3	Определение свойств паст.....	68
3.5.4	Адгезия.....	69
3.5.5	Проводимость.....	70
	ВЫВОДЫ.....	71
4	ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	73
4.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	73
4.1.1	Анализ конкурентных технических решений.....	73
4.1.2	SWOT-анализ.....	75
4.2	ПЛАНИРОВАНИЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ.....	79
4.2.1	Структура работ в рамках научного исследования	79
4.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения	80
4.3	БЮДЖЕТ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ.....	83
4.3.1	Расчет материальных затрат научно-технического исследования.....	83
4.3.2	Расчет амортизации специального оборудования	84
4.3.3	Основная заработная плата исполнителей темы	85
4.3.4	Дополнительная заработная плата исполнителей темы....	87

4.3.5	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	87
4.3.6	Накладные расходы	87
4.3.7	Бюджетная стоимость НИР	88
4.4	ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕСУРСНОЙ (РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ), ФИНАНСОВОЙ, БЮДЖЕТНОЙ, СОЦИАЛЬНОЙ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	89
4.4.1	Интегральный показатель финансовой эффективности ...	89
4.4.2	Интегральный показатель ресурсоэффективности.....	90
4.4.3	Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки.....	91
	ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ	93
5	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	94
5.1	ПРАВОВЫЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ.....	94
5.1.1	Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства	94
5.1.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.....	95
5.2	ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	96
5.2.1	Анализ вредных и опасных производственных факторов	96
5.3	ОБОСНОВАНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ВОЗДЕЙСТВИЯ.....	97
5.4	ВРЕДНЫЕ ВЕЩЕСТВА	97
5.4.1	Метеорологические условия производственной среды	98
5.4.2	Шумы.....	101
5.4.3	Освещение.....	102
5.4.4	Электробезопасность	105
5.4.5	Механические опасности	106
5.4.6	Пожарная безопасность.....	107

5.5 ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	108
5.6 БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ	109
ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ	112
СПИСОК ПУБЛИКАЦИИ СТУДЕНТА.....	113
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	114
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	117

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время тема металлизации алюмонитридной керамики, связанная с различными источниками питания, очень востребована и интерес к ней растет с каждым днем. Так как происходит наращиваются мощностей по производству энергоемких агрегатов для «зелёного электричества», электроавтомобилей, источников бесперебойного питания и. т. д.

Современные требования к подобным изделиям высоки и каждое из них должно обеспечить стабильную работу, безопасность пользователя, обладать конкурентоспособными техническими характеристиками и материалы из которого оно произведено должны иметь низкую стоимость. Так же важным критерием является долговечность работы, поэтому изделие должно обладать устойчивостью к воздействию атмосферы и окружающей среды. Конструктивно они должны представлять из себя изделия малого размера с заложенным показателем минимального теплового сопротивления.

По вышеперечисленным критериям полностью подходит такой материал, как керамика. Керамика, несомненно, является самым популярным диэлектриком в электронике и смежных с ней отраслях. Она выгодно выделяется на фоне других диэлектриков своей простой технологией производства, уникальными химическими, механическими и теплофизическими свойствами. Такой показатель, как прочность материала превышает требуемое значение в изделиях, что обеспечивает долговечность использования и надежность. В российской промышленности используют по большей части алюминоксид (95–98% окиси алюминия), электрокорунд (99% Al_2O_3), стеатит, брокерит (97% окиси бериллия), титанаты (тикондовая и термокондовая керамика), также керамика в составе у которых имеется высокотвердый карбид бора, окись циркония и другие материалы.

Нитрид алюминия на данный момент занимает лидирующую позицию в мире по применению в производстве, если сравнивать его с оксидом бериллия. Отчасти это следствие того, что производство керамики из оксида

бериллия токсично, это пагубно воздействует, как на окружающую среду, так и на человека. В настоящее время стараются все больше выводить из применения бериллиевую керамику, так как алюмонитридная керамика полностью удовлетворяет производителей электрических модулей своими техническими характеристиками, она обладает высокими диэлектрическими свойствами и высокой теплопроводностью (≥ 170 W/mK). Керамика из нитрида алюминия находится близко к кремнию по такому важному показателю, как коэффициент теплового расширения. Алюмонитрид дает возможность собирать компактные, выгодные по соотношению цена\качество компоненты и гибриды с высокой плотностью интеграции. Отличная прочность керамики и низкий коэффициент тепловой расширения разрешает беспроблемное внедрение в систему.

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Керамика на основе ALN

Алюмонитрид (ALN) — это неорганическое химическое соединение алюминия с азотом, химической формулой которого является — ALN [1].

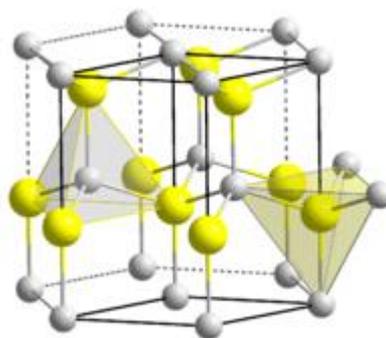


Рис 1.1 Структура ALN

История

Нитрид алюминия был получен в 1877 году впервые, но лишь к середине 80-х годов двадцатого века, его рассмотрели как материал, подходящий по своим параметрам и свойствам в такой отрасли промышленности, как микроэлектроника. Одним из главных преимуществ нитрида алюминия перед другими видами керамики является его высокая теплопроводность. Это свойство нитрида алюминия активно применяется для изоляции керамики. Теплопроводность нитрида алюминия для поликристаллического материала составляет $70 \div 210 \text{ Вт} \times \text{м}^{-1} \times \text{К}^{-1}$, так и для монокристалла она составляет до $275 \text{ Вт} \times \text{м}^{-1} \times \text{К}^{-1}$ соответственно. Сам по себе нитрид алюминия не токсичен, поэтому имеет преимущество перед оксидной керамикой. Так же нитрид алюминия применяют в микроэлектронике для различных методов металлизации за место оксидной керамики [2].

1.1.1 Теплофизические свойства керамики ALN

Такой физический показатель, как плотность у нитрида алюминия соответствует значению - $3,11 - 3,27 \text{ г/см}^3$. температура плавления же

достигает значения в 2400 °С. Если нитриду алюминия придать температуру из диапазона 1600 – 1700 °С и поместить в условия давление азота, то материал начнет разлагаться. Так же нитриду алюминия является диэлектриком, о чем свидетельствует его высокий показатель электрического сопротивления, в добавок к этому нитрид алюминия обладает высокой теплопроводностью, химической устойчивостью в агрессивных средах [3].

Таблица 1.1 – Сравнительная характеристика свойств соединений, составляющих основу теплопроводной керамики [3]

Параметр	ALN
Теплопроводность, Вт/м×К	180–200
Прочность на изгиб, МПа	250–300
Электрическая прочность, кВ/мм	14–18
Удельное электросопротивление (при 25 °С), Ом×м	$>10^{12}$
Диэлектрическая постоянная (при 1 МГц)	9
Тангенс угла диэлектрических потерь: при 1 МГц при 10 МГц	1×10^{-4} 5×10^{-3}
Коэффициент температурного линейного расширения (25 °С), $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	4,6
Плотность, г/см ³	3,26

На стадии спекания ALN заметно, как при разных температурах на поверхности материала проходит процесс окисления. Окисление начинается с температур выше 700°С. Но на данный момент исследовано, что оксидный слой образуется и при комнатной температуре, но его толщина не превышает десятка нанометров. Оксидный слой образовавшийся на нитриде алюминия не позволяет влиять на материал температурам вплоть до 1375°С. После превышение температуры в 1375°С начинается окисление нитрида алюминия, которое называется объемным. В таких атмосферах как атмосфера водорода и углекислого газа нитрид алюминия полностью химически устойчив до температур в 980°С. Нитрид алюминия это схожий материал по своей кристаллической структуре с ZnS, то есть в его основе лежит гексагональная кристаллическая структура и обладает и обладает кристаллическими связями. Кристаллическая группа нитрида алюминия имеет вид: $\text{C}_{6v}^4 - \text{P6}_3\text{mc}$.

Нитрид алюминия подвержен распаду, но этот процесс протекает

относительно медленно, как при взаимодействии кислот с границами зёрен нитрида алюминия, так и при взаимодействии с щелочами [2].

1.1.2 Химическая стойкость

Нитрид алюминия визуально представляет из себя мелкодисперсный порошок белого цвета. Так же нитриду алюминия характерен вид водянисто-белых прозрачных кристаллов. Горячие минеральные кислоты действуют на нитрид алюминия слабо, поэтому растворяется в них он достаточно медленно. Такие холодные кислоты как царская водка, соляная кислота, серная кислота и азотная кислота действуют на нитрид алюминия слабо, холодная плавиковая кислота не действует совсем. При воздействии на нитрид алюминия с помощью горячих растворов щелочей, разложение материала происходит с выделением NH_3 . Вышеперечисленное описывает высокую химическую стойкость нитрида алюминия, как перед кислотами, так и перед щелочами [2].

Применение

На данный момент применение нитрида алюминия происходит в различных областях промышленности. Можно отметить основные области, где нитрид алюминия стал применяться на постоянной основе. Применение нитрида алюминия в электронике разнопланово, он может служить диэлектриком для производства электрических плат, которые после могут иметь обширное применение, так и основой для полупроводников, которые могут найти свое применение в осветительном оборудовании. Так же нитрид алюминия используют при производстве материалов из нановолокон. В производстве сверхвысокочастотных резисторов оксидная керамика отошла на второй план, так как нитрид алюминия выигрывает перед ней тем, что он не токсичен и имеет высокий показатель теплопроводности. Нитрид алюминия используют для футеровки тиглей, ванн для получения множества расплавленных металлов, стекла при температурах превышающих 1300°C .

Подобное использование нитрида алюминия возможно благодаря сочетанию таких его качеств, как высокая огнеупорность и химическая стойкость [4].

1.2 Металлизация керамики

Начиная с 30-х годов XX века металлизация керамических изделий нашла свое распространение как один из этапов изготовления вакуумноплотных металлокерамических узлов (МКУ). Металлизацию керамики обычно проводят с целью [5]:

- изготовления металлокерамических конструкций;
- создания электрических контактов и производства керамических конденсаторов и пьезоэлементов;
- формирования электронных компонентов на керамических основаниях и подложках;
- получения декоративных покрытий.

По методам проведения все процессы металлизации можно разделить на две группы:

- *толсто пленочная технология* – на поверхность керамики наносят слой мелкодисперсного металла на органической связке, который затем закрепляют высокотемпературной обработкой – вжиганием. Слой металлизации составляет 10 – 100 мкм;
- *тонко пленочная технология* – для равномерного нанесения металла требуется вакуум, в котором проходит процесс распыления путем конденсации атомов или ионов пленки металла. В этом случае вжигание не требуется. Слой металлизации составляет до 10 мкм [6];

Для металлизации керамики применяются либо чистые порошки тугоплавких металлов – молибдена, вольфрама и др., либо смеси порошков этих металлов с порошками железа, марганца, меди, либо карбиды тугоплавких и активных металлов. Во всех случаях технологическая схема получения спая практически не изменяется. Изменяются только температурные и газовые режимы обработки и состав паст для покрытия.

Практическое применение в производстве имеют металлизация молибденом с небольшой добавкой железа (молибденовая технология), металлизация молибденом с добавкой марганца (молибдено-марганцевая технология) и металлизация карбидами вольфрама, молибдена и титана (карбидная технология) [6].

1.2.1 Существующие способы металлизации

Группа неорганических диэлектрических материалов обширна, в нее входит масса материалов, которые задействованы в производстве керамических изделий. В качестве примера представителей неорганических материалов диэлектриков могут фарфор, стекло, кварц, слюда, ситаллы, ферриты.

Для того чтобы придать поверхности деталей представляющей из себя диэлектрик такие свойства металла, как электропроводности, теплопроводности, способности к пайке, проводят металлизацию этой поверхности. Простейшим примером металлизации может послужить получение зеркал [7].

Толщина металлизационного покрытия может сильно варьироваться, начиная с микрона до нескольких десятков микрометров. На это влияет назначение изделия и способ металлизации, который был выбран производителем. Слой металлизации в случае пайки керамических деталей составляет 12 – 50 мкм. В случае необходимости получения свойства электропроводности толщина покрытия несколько меньше и составляет 6 – 18 мкм. Если целью является серебрение или же алюминирование стекла при производстве стекла или высокоточных оптических систем толщина покрытие может быть в пределах 0.1 – 1.0 мкм.

Применение различных способов металлизации чаще всего встречается в таких точных областях промышленности, как приборостроение и радиоэлектроника. Сплошная металлизация используется в том случае, когда необходимо придать свойства металла большой поверхности, например

керамическому корпусу, в который в будущем будут устанавливаться микросхемы, если нет необходимости проводить сплошную металлизацию, то предпочитают металлизацию частичную. С помощью частичной металлизации получают отдельные проводниковые элементы на электрических схемах, состоящих из материала, обладающего диэлектрическими свойствами [7].

Производство изделий для радиоэлектроники несет в себе множество нюансов. Так как в изделие может включать в себя сопротивления, индуктивности, емкости, проводники, представляющие из себя обширный выбор металлов для использования и подобные электрические элементы, которые могут иметь вид различных тонких пленок. Для того, чтобы верно определиться с видом покрытия и материалом для металлизации керамического изделия, надо отталкиваться от его назначения и требуемых характеристик. С помощью метода вытравливания металла на поверхности различных керамических изделий, можно добить схем различного вида сложности, а так же рисунков. Сила адгезии зависит от выбранного способа металлизации а так же от шероховатости поверхности, на которую эту металлизацию наносят. Прочность сцепления покрытия с поверхностью находится в пределах от 25 до 200 кгс/см².

Наиболее часто используются в промышленности такие методы металлизации как [7]:

- вжигание металлов в поверхность диэлектрического материала;
- металлизация вакуумным напылением металла;
- металлизация распылением расплавленного металла;

Металлизация вжиганием

Если неорганический диэлектрик обладает высокой термостойкостью, то к нему применяют способ металлизации вжиганием.

В таком случае получение слоя металлизации достигается путем нанесения на поверхность диэлектрика металлизационного состава – пасты,

которая содержит в своем составе соли металла, органическую связку, стекольный модификатор.

Последующий этап это удаление остаточного растворителя. Делают растворителей следует этап вжигания нанесенной металлизации при высоких температурах (до 800° С). Процесс вжигания сопровождается появлением металлических расплавов, которые диффундируют поверхностный слой диэлектрика. в процессе которой образуются металлические расплавы, диффундирующие в поверхностный слой диэлектрика. Пасты, которые в своей основе имеют большое количество серебра могут послужить отличным примером, так как их состав в зависимости от назначения изделия может сильно меняться. [7].

Вакуумное напыление

Вакуумное напыление не так распространено как вжигание металлизационного слоя, но имеет ряд преимуществ, так как толщина плёнок металла нанесенных этим способом составляет 0.1 – 1.0 мкм. Принцип вакуумного напыление строится вокруг конденсации на поверхности диэлектрика паров металла, особенно эффективен на изделиях маленького размера. К минусам этого способа металлизации можно отнести низкую износостойкость. Поэтому с такими деталями в работе не должно происходить процессов трения. Так же для вакуумного способа металлизации характерен большой расход энергии и металлов. Химико-электрический способ имеет большое количество преимуществ перед вакуумным способом напыления. Для реализации вакуумного способа напыления требуется специальное оборудование и установки. Специфика работы на которых находится на специализированных предприятиях. Толщина металлизационного слоя при данном способе начинается от 1 мкм [7].

Напыление жидкого металла

Шоопирование – способ металлизации, при котором происходит прямое распылением расплавленного металла. Этот способ находит все

меньше и меньше применения в реалиях современного мира. Из явных минусов этого способа можно выделить неравномерность слоя металлизации, а так же попадание воздуха между слоем металлизации и диэлектриком приводит к его плохому сцеплению, из-за использование распылителей слой получается достаточно абразивный [7].

Металлизационные пасты в ЛТСС-технологии

В технологии низкотемпературной совместно обжигаемой керамики используются специальные смеси, называемую металлизационной пастой . Металлизационная паста состоит из таких компонентов, как мелкодисперсный порошок металла подходящего для металлизации с фракцией размером 1-3 мкм, различные флюсы, может использоваться как стекло ,так и оксиды. Получившуюся смесь разбавляют органической связкой в заданном соотношении, что позволяет равномерно наносить ее на поверхность диэлектрика через трафарет. Первым этапом в смешивании металлизационной пасты является смешение всех сухих компонентов с органической частью, чтобы вовлечь частицы металла в органику дополнительно используют растворители.

Самый распространенный метод для получения порошков металлов пригодных для металлизационных паст получают химическим восстановлением, соблюдая одно из главных условий, что размер зерен должен быть не менее 20 мкм.

На стадии вжигания пасты происходит удаление органической части с последующим выжиганием самого металлизационного порошка при более высоких температурах до 900°C, на выходе получается равномерно распределившаяся, гладкая поверхность металлизационного порошка. [8].

Модификаторы, которые представлены в металлизационной пасте в качестве стекла и оксидов, улучшают адгезию металлизационного слоя и поверхностного слоя диэлектрика. Так же понижают температуру спекания металлизационной пасты.

Подбор правильных модификаторов для металлизационной пасты напрямую сказывается на качестве спекания металлизационного слоя. В этом и заключается сложность LTCC-технологии. Ведь именно верный химический состав и качество материалов приводят к максимальному показателю адгезии между слоем металлизации и диэлектриком. Из этого следуют такие зависимости, как прочность соединения на границах металлизация/диэлектрик, на сколько качественно и равномерно распределилась металлизация на поверхности подложки, а также схожий КТЛР металла с модификатором и материалом диэлектрика.

Органическую часть металлизационной пасты можно варьировать в зависимости от целей и специфики трафарета, а так же поверхности под металлизацию. Её массовая доля может составлять до нескольких процентов от общей массы металлизационной пасты. Модификаторы в виде оксидов или оксидов могут снижать проводимость металлизационного покрытия, но вместе с этим и увеличить его качество и механические свойства. Из этого следует, что очень важно найти правильное соотношение металлического порошка, модификатора к нему, а так же органической добавки.

Именно органическая часть в металлизационной пасте необходима для получения из смеси порошка пастообразную массу, которая позволит наносить смесь через трафарет. Чем правильнее будет подобрана массовая доля органической связки, тем лучше будет качество нанесения пасты через трафарет и ее тиксотропность.

Так как органическая связка удаляется во время обжига до момента стеклования основных компонентов металлизационной пасты, на поверхности металлизации не появляются поры и пустоты [8].

Металлизация алюмонитридной керамики

На данный момент нитрид алюминия (ALN) становится более востребованным в промышленности. С каждым днем спектр его возможных применений применения растет и его начинают использовать в таких высокоточных областях промышленности, как микроэлектроника,

машиностроение и военная промышленность. При этом остается такой малоизученный вопрос, как металлизация нитрида алюминия и с каждым днем возникает все больше научных трудов связанных с этим процессом.

Пасты которые применяются к оксидной керамике не дали никого результата при попытке металлизации алюмонитридной керамики.

Существуют такие способы металлизации алюмонитридной керамики, как металлизация медью. В случае в котором рассматривалась эвтектика Al/Cu на поверхность алюмонитрида сразу наносился слой Cu. Данный способ применим не ко всем формам изделий и металлизацию с его помощью можно наносить только на пластины. Так как в этом случае, происходит получение сплошного металлизационного покрытия, получение каких либо сложных топологий и рисунков весьма затруднительно. Получение рисунков сложных топологий происходит благодаря химическому травлению (фотолитографическое) металлизации. Так же изделия изготовленные способом металлизации медью не переносят пайку при высоких температурах в атмосфере водорода, так как происходит процесс восстановления адгезионного эвтектического слоя [9].

Известен так же способ вжигания металлической смеси порошка в газовой атмосфере азота, так же рассматривался вариант без защитной атмосферы. Температура данного процесса находится в пределах 1700-1900°C. Металлический порошок может быть представлен в виде смесей тугоплавких металлов W, и/или Mo, и/или Ni с добавками состава керамики. В этом случае процесс вжигания и спекания проходит одновременно. Главное техническое условие состоит в том, что металлизация происходит на поверхности еще сырых керамических изделия, спекание для которых только предстоит. Данный процесс не применим к спеченным керамическим образцам. Однако данный процесс пригоден только для металлизации сырых, не спеченных керамических изделий и не предназначен для металлизации спеченных пластин, отшлифованных в размер.

Нашла свое массовое применение металлизационная паста на основе молибден-марганца состав которой на массовые доли составляет: Mo 90%, Mn 5%, SiO₂ 5%. Обжиг данной металлизационной пасты происходит при температурах 1200-1400°C, после ее нанесения.

Данная паста применима как для алюмонитридной, так и для алюмооксидной керамики. Так же паста отличается на фоне других металлизационных паст тем, что не создает переходный адгезионный слой металлизации с диэлектриком. Отсутствие неокислительной среды негативно сказывается на качестве металлизации, так как не соблюдается главное условия для тугоплавких металлов – наличие увлажнённой газовой среды. Данное техническое решение не может обеспечить достаточную адгезию металлизации к алюмонитридной керамике при пайке высокотемпературным припоем, в то время как во многих случаях, например, в корпусах полупроводниковых приборов, требуется адгезия 200 кг/см² и более [9].

1.2.2 Требования к составляющим металлизации

Требования к стеклу

Чтобы стекло могло быть использовано в качестве стеклоприпоя для металлизации керамики на основе нитрида алюминия, оно должно отвечать следующим требованиям:

- Согласованность значений КТР используемого стекла и нитрида алюминия для предотвращения возникновения механических напряжений на границе металлизационного слоя и керамики;
- Согласованность значений КТР используемого стекла и металла – основы металлизации для предотвращения возникновения механических напряжений в металлизационном слое;
- Высокая адгезия используемого стекла к нитриду алюминия для прочности соединения металлизационного слоя с керамической основой;

- Низкий тангенс угла диэлектрических потерь для предотвращения больших потерь энергии и нагревания металлизационного слоя при прохождении через него переменного тока СВЧ-диапазона.

1.3 Составы паст и режимы для металлизации керамики

Проводящие пасты состоят из мелкодисперсных порошков металлов, диспергированных в органических связующих веществах.

Для металлизации широко используются тугоплавкие металлы, такие как молибден или вольфрам с различными добавками, снижающими температуру формирования покрытия, повышающими прочность связи покрытия с керамикой, улучшающими смачиваемость покрытия расплавленными припоями и снижающими температуру вжигания покрытия. В общем случае в состав металлизационного покрытия, наносимого на керамику, входят порошок молибдена (вольфрама) в количестве 70 - 95% (по массе) и активные добавки марганца, кремния, титана (гидрида титана), железа, бориды молибдена, ферросилиция и др.

Выбор добавок зависит от химического и фазового составов керамического материала, а также температуры спекания покрытия.

Если керамика не содержит в своем составе стеклофазу, то вжиганием порошка молибдена нельзя добиться плотного металлизационного покрытия, обладающего хорошей адгезией.

Введение добавок марганца в металлизационную пасту приводит к значительному повышению адгезии. При вжигании в увлажненном водороде с точкой росы 25 °С металлический марганец окисляется до MnO, которая вступает в реакцию с алюмооксидной керамикой при температурах выше 1000°С с образованием марганцево-алюминиевой шпинели (MnAl₂O₄). При дальнейшем развитии процесса во времени образуется переходной слой шпинели, обеспечивающий связь зерен молибдена с материалом керамики. Температура плавления эвтектики (MnO - 23 мас. %, Al₂O₃ - 77 мас. %) 1510 °С, поэтому реакция вжигания является твердофазной. Для повышения

скорости взаимодействия необходимо введение жидкой фазы, которая хорошо смачивает контактирующие поверхности.

При введении в состав пасты для металлизации керамики ВК 100-2 борид молибдена в ходе вжигания образуется V_2O_3 , который дает эвтектику с оксидом марганца (температура плавления - $750\text{ }^\circ\text{C}$).

В процессе вжигания появляется жидкая фаза, которая хорошо смачивает как поверхность керамики, так и зерна молибдена.

В работе предлагается состав, содержащий 70% молибдена, 20% марганца и 10% MoB_4 , обеспечивающий вакуум - плотное соединение с высокими термомеханическими свойствами керамики А-995 с металлами. Борид молибдена в качестве добавки к молибдено-марганцевым пастам при металлизации керамики 22ХС дает возможность снизить температуру вжигания на $30 - 50\text{ }^\circ\text{C}$, обеспечивая при этом достаточно высокое качество спаев.

Также, в качестве добавки большое распространение получила марганцевотитановая добавка, причем титан может вводиться в виде металла, окиси или гидрида, что существенно улучшает качество металлизационных слоев и приводит к увеличению выхода высокопрочных и вакуум-плотных композиций [10].

Например, в работе повышение прочности сцепления достигается тем, что состав содержит в качестве добавок MnO_2 , TiH_2 , Cu_2O при следующем соотношении указанных компонентов, вес. %:

MoO_3 75 – 90

MnO_2 3 – 12

TiH_2 3 – 12

Cu_2O 5 – 1,5

Использование оксидов молибдена, марганца и меди улучшает сцепление покрытия с керамикой. Среднее значение механической прочности соединения составляет 2100 кг/см^2 . Гидрид титана обеспечивает интенсивную взаимную диффузию компонентов.

При металлизации изделий из керамики «Сапфирит-16» используется паста на основе молибдена и марганца с добавками пятиокиси ванадия, что позволяет получать прочные металлокерамические спаи, причем наилучшие результаты получены на составе: 75% Mo, 20% Mn и 5% V₂O₅. Прочная связь металлизационного покрытия с керамикой в данном случае достигается в результате химического взаимодействия компонентов покрытия окиси марганца и пятиокиси ванадия с керамикой и образования в поверхностном слое керамики сложной шпинели (MnV)·Al₂O₄, которая более устойчива, чем алюмомарганцевая.

В работе увеличение механической прочности металлокерамических соединений достигается тем, что состав для металлизации керамики на основе молибдена или вольфрама с добавкой активного металла содержит в качестве последнего ванадий при следующем соотношении компонентов, вес. %:

молибден или вольфрам	90 – 95
ванадий	5 – 10.

Выбор добавки ванадия был произведен на основе его высокой адгезионной способности к керамике при напылении; способности образовывать при термообработках соединения, являющиеся активаторами взаимодействия металлизационного слоя с керамикой. Механическая прочность спаев в этом случае достигает 200 Мпа.

В работе для металлизации высокоглиноземистой керамики, авторами предлагается паста содержащая (в масс. %):

W	70-95
Al ₂ O ₃	3-20
Cr ₂ O ₃	2-10

Введение в пасту Cr₂O₃ способствует образованию твердого раствора Cr₂O₃ в Al₂O₃, который проявляет наибольшую активность при получении прочных металлокерамических соединений.

Так же существует состав для металлизации керамики, содержащий, вес. %:

молибден 80 – 90

марганец 9 – 17

хром 1 – 4

Выбор добавки хрома обусловлен его высокой адгезионной способностью, а также способностью образовывать при термообработках соединения, являющиеся активаторами взаимодействия металлизационного слоя с керамикой [10].

Для металлизации алюмооксидной керамики предлагается состав. С целью повышения механической прочности и термостойкости металлокерамического спая, паста включающая молибден, марганец и кремний, дополнительно содержит окись галлия при следующем соотношении компонентов (в масс. %):

молибден основа

марганец 15 - 20

кремний 3 - 6

окись галлия 0,5 - 2

В ряде случаев повышение прочности сцепления металлизующего покрытия с керамикой достигается путем введения в покрытие специальных адгезионных добавок в виде стекла, спека или стеклообразующих компонентов. Особое значение добавки приобретают при металлизации высокоглиноземистых керамических материалов, содержащих более 98% Al_2O_3 и имеющих плотнокристаллическую структуру с незначительным количеством стеклофазы. После вжигания таких металлизующих композиций образуется прочное сцепленное с керамикой покрытие, состоящее из частичек тугоплавкого металла и алюмосиликатного стекла.

Комбинация основных двух компонентов пасты - металла и стекла определяет такие важные свойства как проводимость, возможность пайки,

адгезию к подложке, совместимость с резистивными, диэлектрическими составами и др.

Предлагается металлизировать алюмооксидную керамику пастой, состоящей из (в масс. %):

стеклофритта	10-15
молибден	0,8-18
каборнильный никель	остальное

Стеклофритта содержит оксид лантана при следующем соотношении ингредиентов (в масс. %):

MnO ₂	26-29
SiO ₂	31-34
Al ₂ O ₃	19-21
La ₂ O	16-24

Отличительной особенностью предлагаемой пасты является то, что после её вжигания не требуется нанесение дополнительного никелевого покрытия по металлизированному слою при пайке медно - серебрянными припоями. Обеспечивается получение вакуумплотного спая, имеющего высокую механическую и термическую прочность.

Для металлизации керамики из оксида бериллия авторы работы предлагают состав, включающий молибден, марганец, пламень и оксид лантана при следующем соотношении компонентов, (в масс. %) [10]:

марганец	0,5 – 2,0
пламень	15 – 18
оксид лантана	1 – 2
молибден	80 – 82

причем пламень содержит компоненты при следующем соотношении (в масс. %):

оксид алюминия	46 – 47
оксид кальция	44,4 – 45,2

оксид магния 8,6 – 8,8

Авторами работы предлагается паста для металлизации сапфира следующего состава (в масс. %):

Mo 75

стекло Ст-1 20

MoO₃ 5

Так как в сапфире отсутствует стеклофаза, то в металлизационный состав кроме молибдена входит стекло Ст-1, содержащее (в масс. %):

MnO 50

SiO₂ 30

Al₂O₃ 20

TiO₂ 1

Ст-1 вводят, для того чтобы создать прочное соединение металлизационного покрытия и сапфира. Также с помощью него в металлизационном слое заполняются поры между зернами металлами и образуется вакуумная плотность. Оксид молибдена (VI) вводят для избежание остекловывания металлизационного покрытия. Вжигание покрытия проводится при температуре 1350°C в газовой смеси:



При термообработке в водородной среде оксид молибдена (VI) восстанавливается до Mo в несколько этапов и обеспечивает кислородом реакции по выгоранию биндера. Таким образом, создается прочное сцепление между Ст-1 и молибденом, так как при выгорании на поверхности молибдена образуются оксид молибдена (II) [10].

Известна также паста для металлизации керамики, которая дополнительно содержит Mo, WO₃ и Fe₂O₃, при следующем соотношении компонентов, вес. %:

MoO₃ 40 – 65

MnO₂ 5 – 15

Cu₂O 0,5 – 1,5

стекло 3 – 15

Mo 20 – 40

WO₃ 3,5 – 15

Fe₂O₃ 0,5 – 2,5

Выбранные соотношения компонентов, входящих в состав пасты, обеспечивают быстрое протекание реакции в процессе металлизации, а также образование мелких участков стекла и равномерное распределение их в области металлизационного слоя. Использование оксида молибдена (VI) определяется его высокой реакционной способностью вступать в химическое взаимодействие с компонентами металлизационной пасты и керамического материала, а также высокой поверхностной активностью продуктов, образующихся при восстановлении оксида молибдена (VI). Для снижения летучести оксида молибдена (VI) при температурах свыше 600 °С в состав пасты вводят металлический молибден, что способствует восстановлению оксида молибдена (VI) до менее летучей двуокиси молибдена. В процессе вжигания металлизационного слоя Fe₂O₃ восстанавливается до FeO и в интервале температур 500-700 °С, взаимодействуя с MoO₃, образует молибдат железа. Образование молибдата железа дополнительно уменьшает возгонку MoO; приблизительно в два раза. Введение в состав WO₃ приводит к образованию вольфрамата и фольфрамита марганца, который при 1000°С образует твердый раствор с молибдатом (молибдитом) марганца. Образование твердых растворов облегчает процесс спекания частиц твердой фазы металлизационного слоя [10].

При пайке медью и медными припоями алюмооксидной керамики, металлизированной составами, содержащими добавки стекол, спеков или фритты, может происходить ухудшение свойств металлокерамических спев. При пайке медью наблюдается вытеснение из металлизующей слоя размягченной стеклофазы расплавом припоя, что ослабляет сцепление металлизующего покрытия с керамикой и препятствует образованию спая.

Чтобы избежать этого рекомендуется в металлизующие составы вводить добавки, повышающие вязкость стеклофазы или вызывающее её кристаллизацию. Эффективным оказалось использование в молибденовых металлизующих пастах кристаллизующихся стекол, состав которых лежит в системе $MnO - Al_2O_3 - SiO_2$. В качестве инициаторов кристаллизации в такие стекла вводят Cr_2O_3 , TiO_2 , CaO . Образующиеся металлизующие покрытия можно паять медью. Паяные детали имеют прочность при изгибе до 160 МПа.

Для металлизации высокоглиноземистой керамики предлагается паста состава (в масс. %):

спек 10,5-11,2

CaO 4,0-4,8

Mo остальное

Состав спека (в масс. %):

Al_2O_3 94,4

SiO_2 2,76

MnO 2,35

Cr_2O_3 0,49

По вожженному металлизующему покрытию производится пайка медью. Спай вакуумплотен, имеет высокую механическую и термическую прочность.

Для металлизации муллитокорундовой керамики, авторами работы предлагается состав, включающий тугоплавкий металл, марганец и оксид титана. С целью увеличения механической прочности спаев при пайке медью и снижения температуры вжигания, в качестве тугоплавкого металла содержится вольфрам и дополнительно оксид железа и/или никеля при следующих соотношениях компонентов (в масс. %):

вольфрам 75,2 – 81,7

марганец 4,0 – 10,0

оксид титана 3,5 – 10,0

оксид никеля и/или железа 4,8 – 9,6

Добавки оксидов никеля и железа приводят к активной ситаллизации стеклофазы, что обеспечивает резкое уменьшение ее вязкости и затрудняет вытеснение ее расплавленной медью, а также препятствует образованию интерметаллидов железа и никеля с вольфрамом в процессе пайки.

В настоящее время в электронной технике все большее применение находит высокотеплопроводная алюмонитридная (ALN) керамика. При этом особенное внимание уделяется решению вопросов, связанных с ее металлизацией. Безуспешными оказались попытки металлизировать ALN керамику известными пастами для металлизации алюмооксидной керамики.

Известен способ металлизации алюмонитридной керамики, согласно которому с помощью эвтектики оксид алюминия - медь непосредственно на поверхность ALN керамики наносят слой меди. Однако данный процесс пригоден только для металлизации пластин. Также в этом процессе формируется сплошное покрытие без формирования топологического рисунка металлизации. Для получения топологического рисунка металлизации необходимо проводить последующее фотолитографическое травление. Кроме того, изделия, получаемые таким способом, не допускают высокотемпературную пайку в среде водорода из-за восстановления адгезионного эвтектического слоя.

В работе предлагается металлизационная паста, предназначенная для металлизации алюмонитридной керамики, включающая (в масс. %): молибден 90, марганец 5 и SiO_2 5. Пасту наносят на алюмонитридную керамику и обжигают при 1200-1400°C в неокислительной среде.

Данный состав пасты практически не может создавать с керамикой из нитрида алюминия переходный адгезионный слой. Данную пасту можно использовать для металлизации алюмооксидной керамики. При обжиге пасты в неокислительной среде также нельзя получить качественного металлизационного покрытия, поскольку вжигание металлизующих

покрытий, основными компонентами которых являются тугоплавкие металлы, проводятся в увлажненной газовой среде. Данное техническое решение не может обеспечить достаточную адгезию металлизации к алюмонитридной керамике при пайке высокотемпературным припоем, в то время как во многих случаях, например, в корпусах полупроводниковых приборов, требуется адгезия 200 кг/см^2 и более [11].

Также металлизационные пасты на основе Mo и W для ALN-керамики часто смешивают с Ti и вжигают при температуре $1850 - 1880 \text{ }^\circ\text{C}$ в атмосфере азота, после чего покрывают никелем (3...5 мкм) и золотом (1...1,5 мкм). Однако такая высокая температура вжигания данной смеси связана с большими затратами и может использоваться только в тех случаях, когда это действительно экономически оправданно.

Вывод: На примере предоставленной информации можно прийти к заключению, что серебрясодержащие пасты применяются в различных отраслях. По своим проводниковым свойствам они выгодно отличаются от паст из высокотемпературных материалов (Mo и W). Составы серебрясодержащих паст хорошо оптимизированы для различной оксидной керамики, за счет введения в их состав добавок дающих стеклофазу. Разработанные составы не подходят для применения с нитридной керамикой т.к. входящая в их состав стеклофаза не смачивает нитриды.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что разрабатывать составы металлизационных паст на основе серебра актуально на сегодняшний день.

2 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И МАТЕРИАЛЫ

2.1 Методы исследования

2.1.1 Рентгенофазовый анализ

Рентгенофазовый анализ (РФА) является одним из самых совершенных прямых методов изучения состава и структуры твердых кристаллических материалов. В основе данного метода лежит явление дифракции рентгеновских лучей на кристаллической решетке анализируемого материала.

Основной задачей рентгенофазового анализа является идентификация различных кристаллических фаз в смеси на основе анализа дифракционной картины исследуемого образца. Наиболее часто применяемым практическим методом РФА является метод порошка, получивший широкое распространение в силу своей простоты и универсальности [12].

Для регистрации дифракционной картины применяется современная аппаратура – рентгеновские дифрактометры, которые позволяют проводить анализ образцов быстро и с большой точностью.

Рентгенограмма анализируемого образца представляет собой график зависимости интенсивности отраженных образцом рентгеновских лучей от угла их отражения. На рентгенограмме наблюдается ряд четких пиков (рефлексов), если вещество кристаллическое, и размытые пики, если вещество аморфное.

В настоящее время для обработки рентгенографических данных разработано большое количество компьютерных программ. Они позволяют проводить идентификацию фаз путем сравнения рентгенограммы анализируемого образца с карточками из базы данных.

РФА исходных металлических порошков и спеченного нитрида алюминия проводился на рентгеновском дифрактометре Shimadzu XRD – 7000S [12].

2.1.2 Растровая электронная микроскопия

В процессе анализа с помощью растрового электронного микроскопа (РЭМ) на твердой поверхности образцов генерируются множество сигналов, с помощью которых и описывают образец. Происходит это с помощью ускоренных электронов, выходящих из электронной пушки, они взаимодействуют с твердой поверхностью образца и отражаются двумерным изображением, по которому можно судить о текстуре, химическом составе, кристаллической структуре и ориентации материалов, составляющих образец.

На рисунке 2 представлено устройство РЭМ, включающий источник электронов, линзы, камеру образца, детектор ЭДС, электронную консоль и мониторы визуального отображения.

С помощью РЭМ можно анализировать выбранные точки образца или целые площади от 10 мм до 5 мкм в ширину. Выбор подхода обусловлен теми свойствами, которые хотят получить. Этот подход особенно полезен при качественном или полуколичественном определении химического состава (с использованием EDS), кристаллической структуры и ориентации кристалла (с использованием EBSD). Дизайн и функции РЭМ очень похожи на ЭПМА и много схожих возможностей существует между этими двумя инструментами [13].

Электронная пушка «выстреливает» сфокусированным лучом электронов. В этих электронах заключено существенное количество кинетической энергии и при их торможении о твердую поверхность образца, эта энергия высвобождается и рассеивается в виде сигналов. Сигналы могут быть в разном виде:

- Обратнорассеянные электроны и дифрагированные обратнорассеянные электроны, которые говорят о кристаллической структуре и ориентации минералов
- Вторичные электроны, генерирующие РЭМ изображение.

- рентгеновское излучение
- световое излучение (катодоллюминесценция)
- Тепло и др.

Для построения изображений образцов важны первые два типа электронов. Вторичные электроны образуются в результате передачи части высвободившейся после торможения первичные электронов энергии электронам образца. По этим электронам судят о топографии и морфологии образцов. Обратнo-рассеянные электроны образуются одновременно со вторичными, по ним можно распознать фазы образца.

Ускоренные электроны из РЭМ могут сталкиваться с электронами в дискретных оболочках атомов в образце. Такие столкновения образуют рентгеновские лучи из-за переходящих на другие энергетические оболочки возбужденных электронов. По длине волны этих лучей можно сделать элементный анализ.

Одним из достоинств РЭМ можно считать возможность повторного анализа на том же материале, так как рентгеновские лучи не приводят к объёмным потерям в образце.

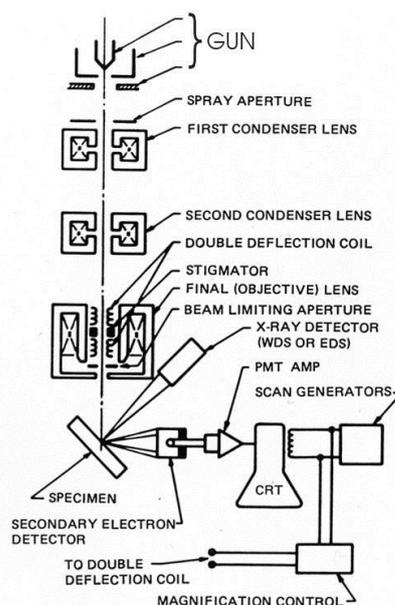


Рис 2.1 Схематическое изображение электронно-рентгеновского комбинированного РЭМ -ЭПМА.

Растровый электронный микроскоп (РЭМ).

Основные компоненты всех РЭМ включают следующее:

- Источник электронов ("Пушка");
- Электронные линзы;
- Устройства вывода данных;
- Держатель образца;
- Датчики сигналов (один или более).

Технические требования к помещению:

- Питание;
- Вакуумная система;
- Система охлаждения;
- Отсутствие вибрации пола, магнитных и электрических полей.

Возможности растрового электронного микроскопа ограничены количеством датчиков. В нем всегда имеется, по крайней мере, один датчик – обычно датчик вторичных электронов, но также он может содержать и другие датчики.

Применения

Как уже было сказано выше применение РЭМ зависит от установленных на нем датчиков. Например, при наличии на нем датчика ДОРЭ, его можно использовать для изучения микроволокнистой и кристаллографической ориентации в различных материалах. Это датчик дифракционных отраженных обратно-рассеянных электронов.

РЭМ можно использовать для быстрой идентификации фаз в многофазных образцах на основе атомного числа (обычно они связаны с относительной плотностью) [13].

РЭМ позволяет делать четкий анализ очень малых особенностей и объектов до 50 нм и с помощью него можно получить изображение форм объектов с высоким разрешением. Можно провести точечный химический

анализ с использованием ЭДС, получить элементные и композиционные карты. Последние создаются на основе различий в энергетических уровнях активированных атомов (как правило, металлов и редкоземельных элементов) с использованием катодолюминесценции.

Достоинства и недостатки растровой электронной микроскопии

Достоинства:

Возможно, нет другого инструмента с такой же широкой областью применения в исследовании твердых материалов, сравнимых с РЭМ. РЭМ является необходимым во всех областях, где требуется определение характеристики твёрдых материалов. Хотя это больше всего относится к применениям в геологии, важно отметить, что эти применения составляют очень небольшую часть научных и промышленных применений, существующих для данного прибора. С большинством РЭМ сравнительно легко работать благодаря удобным «интуитивным» интерфейсам. Многие применения требуют минимальных действий по подготовке образцов. Для многих применений получение данных происходит быстро (менее 5 минут на изображение для SEI, ОРЭ, точечного ЭДС анализа). Современные РЭМ выдают данные в цифровом виде, что очень удобно[13].

Недостатки:

Образцы должны быть твёрдыми и должны вписываться в камеру микроскопа. Максимальный размер в горизонтальном направлении, как правило, порядка 10 см; вертикальные размеры, как правило, гораздо более ограничены и редко превышает 40 мм. Для большинства инструментов образцы должны быть стабильными в вакууме порядка 10^{-5} - 10^{-6} торр. Образцы, которые возможно дегазировать при низких давлениях (породы, насыщенные углеводородами; "влажные" образцы, такие как уголь; органические материалы или набухающие глины и образцы, прокаливаемые при низких давлениях) непригодны для исследования в обычных РЭМ. Тем не менее, РЭМ "низкого вакуума" и "окружающей среды" также существуют, и многие из этих типов образцов могут быть успешно исследованы с

помощью этих специализированных микроскопов. ЭДС датчики на РЭМ не могут обнаружить очень лёгкие элементы (H, He, и Li), и многие микроскопы не могут обнаружить элементы с атомными номерами меньше, чем 11 (Na). В большинстве СЭМ используются твердотельные рентгеновские датчики (ЭДС), и, в то время как эти датчики очень быстро и легко использовать, они имеют относительно низкое энергетическое разрешение и чувствительность к элементам, присутствующим в низких концентрациях по сравнению с датчиками дисперсионной рентгеновской спектроскопии по длине волны (ДРСДВ) в большинстве электронных микроанализаторов пробы (ЭПМА). Электропроводящее покрытие должно быть приложено к электроизоляционному образцу для исследования в обычном РЭМ, если инструмент не способен работать в режиме низкого вакуума.

Руководство пользователя - Сбор образцов и подготовка

Подготовка образца может быть минимальной или основательной для РЭМ анализа, в зависимости от природы образцов и необходимых данных. Минимальная подготовка включает получение образца, вписывающегося в камеру РЭМ, и некоторые меры для предотвращения накопления заряда на диэлектрических образцах. Наиболее электроизолирующие образцы покрывают тонким слоем электропроводного материала, обычно углерода, золота, или какого-либо другого металла или сплава. Выбор материала для проводящих покрытий зависит от данных, которые необходимо получить: углерод является наиболее желательным, если приоритетным является элементный анализ, в то время как металлические покрытия являются наиболее эффективными для получения электронных изображений с высоким разрешением. Кроме того, электроизолирующий образец может быть исследован без проводящего покрытия в микроскопе с возможностью работы в "низком вакууме" [13].

2.1.3 Измерение угла смачивания

Угол смачивания обычно измеряется для жидкости, в которой граница раздела жидкость/газ встречается с твёрдой поверхностью. Он количественно определяет смачиваемость твёрдой поверхности жидкостью через уравнение Юнга. Данная система на границе твёрдой, жидкой и газовой фаз имеет уникальный равновесный угол смачивания при данной температуре и давлении. Однако на практике наблюдается гистерезис угла смачивания от так называемого опережающего (максимального) угла смачивания до отстающего (минимального) угла смачивания. Равновесный угол смачивания находится в пределах этих значений и может быть вычислен на их основе. Равновесный угол смачивания отражает соотношение сил молекулярного взаимодействия в жидкой, твёрдой и газовой фазах.

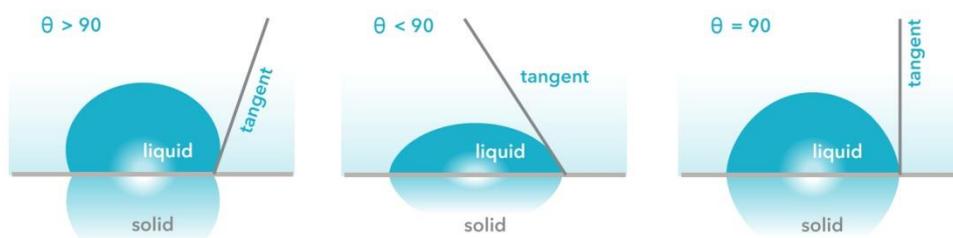


Рис 2.2 Углы смачивания

Термодинамика

Форма границы раздела жидкость/газ определяется уравнением Юнга-Лапласа, с углом смачивания, играющим роль граничного условия в уравнении Юнга. Теоретическое описание контакта возникает из рассмотрения термодинамического равновесия между тремя фазами: жидкой фазы (Ж), твёрдой фазы (Т) и газовой/паровой фазы (Г) (которая может представлять собой смесь окружающей атмосферы и паров жидкости равновесной концентрации). "Газообразной" фазой также может быть другая (не смешивающаяся) жидкая фаза.

Если поверхностная энергия(т.е. поверхностное натяжение) на границе твёрдое тело-газ обозначается $\gamma_{ТГ}$, твёрдое тело-жидкость – $\gamma_{ТЖ}$, а жидкость-

газ – $\gamma_{ЖГ}$, то равновесный угол смачивания θ_C определяется из этих величин по уравнению Юнга [1]:

$$\gamma_{ТГ} - \gamma_{ТЖ} - \gamma_{ЖГ} \cos \theta_C = 0$$

Угол смачивания также может быть связан с силами адгезии через уравнение Юнга-Дюпре:

$$\gamma(1 + \cos \theta_C) = \Delta W_{SLV}$$

где W_{SLV} энергия адгезии на границе твёрдое тело-жидкость на единицу площади при среднем объёме V .

Уравнение Юнга-Лапласа для трёхмерной капли является нелинейным. Это связано с основным пределом кривизн, который включает производные первого и второго порядка функции формы капли $F(x, y)$:

$$\kappa_m = \frac{1}{2} \frac{(1 + f_x^2) f_{yy} - 2f_x f_y f_{xy} + (1 + f_y^2) f_{xx}}{(1 + f_x^2 + f_y^2)^{3/2}}$$

Решение этого частного дифференциального уравнение, определяющего форму трёхмерной капли, в сочетании с соответствующими граничными условиями, чрезвычайно сложно, и это обычно применяют альтернативный подход минимизации энергии. Для этой цели используется программное обеспечение с открытым исходным кодом, Surface Evolver, которое вычисляет форму капли, минимизируя сумму потенциальных и поверхностных энергий. Формы трёхмерных прикреплённых и подвесных капель были успешно предсказаны с помощью этого метода минимизации энергии [1].

Гистерезис

Если мы добавим достаточно небольшое количество жидкости в каплю, линия контакта ещё будет удерживаться, и угол смачивания будет увеличиваться; аналогичным образом, если удалить достаточно небольшое количество жидкости из капли, линия контакта будет по-прежнему на месте, и угол смачивания будет уменьшаться. Следовательно, капля, помещённая на поверхность, имеет набор углов смачивания в пределах от так называемого

опережающего (максимального) угла смачивания, θ_A , до так называемого до отстающего (минимального) угла смачивания, θ_R . Юнговский равновесный угол смачивания находится где-то между этими значениями, и гистерезис угла смачивания обычно определяется как $\theta_A - \theta_R$.

Уравнение Юнга предполагает совершенно плоскую поверхность. Даже на такой гладкой поверхности капля будет проявлять гистерезис угла смачивания. Равновесный угол смачивания (θ_C) может быть рассчитан на основе θ_A и θ_R , что было показано теоретически Тадмором и экспериментально подтверждено Чибовским, как,

$$\theta_C = \arccos \left(\frac{r_A \cos \theta_A + r_R \cos \theta_R}{r_A + r_R} \right)$$

где

$$r_A = \left(\frac{\sin^3 \theta_A}{2 - 3 \cos \theta_A + \cos^3 \theta_A} \right)^{1/3} ; \quad r_R = \left(\frac{\sin^3 \theta_R}{2 - 3 \cos \theta_R + \cos^3 \theta_R} \right)^{1/3}$$

На грубой или загрязнённой поверхности также будет наблюдаться гистерезис угла смачивания, но теперь локальный равновесный угол смачивания (уравнение Юнга в данном случае действует только локально) может варьироваться от места к месту на поверхности. Исходя из уравнения Юнга-Дюпре, это означает, что энергия адгезии меняется локально – таким образом, жидкость должна преодолеть локальные энергетические барьеры для того, чтобы смочить поверхность. Одним из следствий этих барьеров является гистерезис угла смачивания: степень увлажнения, и, следовательно, наблюдаемый угол смачивания (средний вдоль линии контакта), зависит от того, как жидкость продвигается или отступает по поверхности.

Поскольку жидкость продвигается по изначально сухой поверхности, но отступает от изначально влажной поверхности, гистерезис угла смачивания также может возникнуть, если твёрдое вещество было изменено в результате его предыдущего контакта с жидкостью (например, в результате

химической реакции или поглощения). Такие изменения также могут производить заметно зависящие от времени углы смачивания [1].

Динамические углы смачивания

Для жидкости, быстро движущейся по поверхности, угол смачивания может изменяться от его значения в состоянии покоя. Опережающий угол смачивания увеличится со скоростью, а отстающий угол смачивания будет уменьшаться.

Типичные углы смачивания

Углы смачивания чрезвычайно чувствительны к загрязнению; значения, воспроизводимые лучше, чем на несколько градусов, обычно получают только в лабораторных условиях с использованием очищенных жидкостей и очень чистых твёрдых поверхностей. Если молекулы жидкости сильно притягиваются к молекулам твёрдого тела, то капля жидкости полностью растянется по твёрдой поверхности, что соответствует углу смачивания 0° . Это часто бывает с водой на голых металлических или керамических поверхностях, хотя наличие оксидной плёнки или загрязнений на твёрдой поверхности может значительно увеличить угол смачивания. Как правило, если угол смачивания водой меньше 90° , твёрдая поверхность считается гидрофильной, а если угол смачивания водой больше 90° , твёрдая поверхность считается гидрофобной. Многие полимеры обладают гидрофобными поверхностями. Высоко гидрофобные поверхности, сделанные из материалов с низкой поверхностной энергией (например, фторированные), могут иметь углы смачивания водой $\sim 120^\circ$. Некоторые материалы с высокой шероховатостью поверхности могут иметь угол смачивания водой даже больше, чем 150° , из-за наличия воздушных карманов под каплей жидкости. Они называются сверхгидрофобными поверхностями.

Если угол смачивания измеряют со стороны газа, а не со стороны жидкости, то он должен быть заменён на 180° минус полученное значения. Углы смачивания в равной степени применимы также к границе раздела двух

жидкостей, хотя они чаще измеряются для твёрдых продуктов, таких как антипригарные кастрюли и водонепроницаемые ткани [1].

Методы измерения

Статический метод сидячей капли

Угол смачивания сидячей капли измеряется с помощью гониометра, используя оптическую подсистему для захвата профиля чистой жидкости на твёрдой подложке. Угол, образованный между границей раздела жидкость/твёрдое тело и границей раздела жидкость/газ, – и есть угол смачивания. В старых системах использовалась оптическая система микроскопа с подсветкой. Системы текущего поколения используют камеры высокого разрешения и программное обеспечение для сбора данных и анализа угла смачивания. Углы измеряются таким образом, что часто довольно близки к возникающим углам смачивания. Равновесные углы смачивания могут быть получены путём применения чётко определенных колебаний.

Метод подвесной капли

Измерение углов смачивания для подвесных капель гораздо сложнее, чем для сидячих капель из-за присущего ему нестабильного характера перевёрнутых капель. Эта сложность далее усиливается при попытке наклонить поверхность. Экспериментальная установка для измерения углов смачивания для подвесных капель на наклонных подложках была разработана в последнее время. Этот метод позволяет проводить осаждение нескольких микрокапель на нижней стороне текстурированной подложки, которая может быть отображена с помощью ПЗС-камеры с высоким разрешением. Автоматизированная система позволяет наклонять подложки и анализировать изображения для расчёта опережающих и отстающих углов смачивания.

Динамический метод сидячей капли

Динамический метод сидячей капли похож статический метод сидячей капли, но требует, чтобы капля была изменена. Распространённый

тип динамического исследования сидячей капли определяет наибольший угол смачивания, возможный без увеличения площади границы раздела твёрдое тело/жидкость путём динамического добавления объёма. Этот максимальный угол является опережающим углом. Затем объём уменьшают, чтобы произвести измерение наименьшего возможного – отстающего – угла. Разница между опережающим и отстающим углами смачивания - гистерезис угла смачивания.

Динамический метод Вильгельми

Метод расчёта средних опережающих и отстающих углов смачивания на твёрдых телах единой геометрии. Обе стороны твёрдого образца должны иметь одни и те же свойства. Смачивающие силы на твердом теле измеряются, как только твёрдое тело погружают в или извлекают из жидкости с известным поверхностным натяжением. Кроме того, в этом случае можно измерить равновесный угол смачивания с применением самоконтролируемых колебаний. Эта методология, называемая VIECA, может быть реализована довольно простым способом с помощью баланса Вильгельми.

Одноволоконный метод Вильгельми

Динамический метод Вильгельми применяется к одиночным волокнам для измерения опережающих и отстающих углов смачивания.

Метод уравнения капиллярного подъёма Вошборна

Включает измерение среднего угла смачивания и скорости сорбции для порошков и других пористых материалов. Измеряется изменение массы в зависимости от времени [1].

2.1.4 Гидростатическое взвешивание

Кажущаяся плотность – это отношение массы материала к его общему объему. Ее определяют измерением объема образца и объема всех его пор. Также необходимо знать массу образца. Для измерения объема пор могут использовать несмачивающие жидкости, в которые помещают образцы и

замеряют уровень вытеснения жидкости, а могут использовать метод гидростатического взвешивания.

Наибольшее распространение получил именно второй метод (ГОСТ 2409). С помощью него можно не только определить кажущуюся плотность, но и водопоглощение, и открытую пористость.

Для точного результата берут не менее трех образцов. Суть метода заключается в насыщении пор жидкостью (обычно для материалов, не подвергающихся гидратации, применяется вода) образцов. Для этого есть два метода – кипячение или вакуумное насыщение. Перед насыщением образцы взвешивают на технических весах до сотых грамма.

После насыщения образцы вынимают из емкости с пропитывающей жидкостью и убирают с их поверхности избыточную влагу с помощью влажного тканевого изделия. После удаления влаги необходимо сразу же взвесить образцы на электронных весах и положить обратно в емкость с жидкостью. Образцы взвешивают в двух состояниях – на воздухе и полностью погруженные в жидкость на гидростатических весах.

Далее следует определение водопоглощения, кажущуюся, открытую, закрытую, пористость, истинную, общую и пористость, а так же относительную плотность.

В результате определения плотности, водопоглощения и пористости керамических образцов можно сделать заключение о текстуре, степени спекания керамического материала, оценить виды пористости и в связи с этим его эксплуатационные характеристики.

2.1.5 Проводимость

Электрические свойства веществ характеризуются величиной удельного электрического сопротивления или удельной электропроводности.

Удельное сопротивление ρ определяется из соотношения

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (5.1)$$

где R – сопротивление проводника,

l – его длина,

S – площадь поперечного сечения.

Сопротивление R – структурно-чувствительный коэффициент пропорциональности между напряжением и током в законе Ома. Удельное электрическое сопротивление от размеров образца не зависит, а определяется его химическим составом и структурой всех уровней – от атомнокристаллической до макроструктуры. Удельная электропроводность σ – величина, обратная удельному электрическому сопротивлению ($\sigma = 1/\rho$) [14].

2.1.6 Адгезия

Методика определения адгезии заключается в следующем. «Грибок» с площадью шляпки 1 мм^2 припаивается на покрытие. Адгезиметр оснащен пружинным устройством, прилагающим отрывное усилие к «грибку». При отрыве «грибка» от поверхности, индикатор на шкале показывает численную величину адгезии, выраженной в силе, требуемой для отрыва грибка. Для получения приблизительной величины в кг/см^2 необходимо увеличить величину в Н/мм^2 в 10 раз [15].

2.2 Материалы

2.2.1 Керамика на основе ALN

Ввиду довольно высокой теплопроводности алюмонитридная керамика в настоящее время является наиболее перспективным материалом для отвода тепла от теплонагруженных элементов в изделиях космической техники и в приборостроении в целом.

Нитрид алюминия, хотя и наиболее перспективный после Si_3N_4 и SiC материал для изготовления термонапряжённых деталей различных высокотемпературных конструкций, изучен значительно меньше. Он является единственным соединением алюминия и азота. Кристаллизуется нитрид алюминия в гексагональной решетке типа вюрцита. ALN, так же как и SiC , характеризуется наличием нескольких политипов [16].

2.2.2 Компоненты стекла

Обоснование выбора составов стёкол

1. В качестве основы для исследуемых составов стёкол был выбран боросиликатный состав вида ($55\%_{\text{мол}} \text{SiO}_2$; $10\%_{\text{мол}} \text{B}_2\text{O}_3$; $20\%_{\text{мол}} \text{Na}_2\text{O}$ (Li_2O); $10\%_{\text{мол}} \text{Me}_m\text{O}_n$), так как именно боросиликатные стёкла, как правило, используются для создания прочного спая между металлом и керамикой.

Хорошая смачиваемость и адгезия жидкой фазы к твёрдой – обязательные условия при получении покрытий, формирующихся из расплавов стёкол. Небольшие значения краевых углов смачивания ($0 \leq \theta < 90^\circ$), как правило, обеспечивают высокую кроющую способность покрытий и их сплошность.

Таблица 2.1 – Контактные углы смачивания нитридов титана, циркония, кремния, алюминия расплавами стёкол.

Номер стекла	Состав расплава, %	Θ , град					
		TiN в среде		ZrN в среде аргона	Si ₃ N ₄ на воздухе	ALN в среде	
		воздуха	аргона			воздуха	аргона
1	20Na ₂ O×5CaO×10B ₂ O ₃ ×65SiO ₂	25	136	129	128	48	70
3	20K ₂ O×5CaO×10B ₂ O ₃ ×65SiO ₂	89	165	136	146	140	141
10	20Na ₂ O×5CaO×10B ₂ O ₃ ×10Al ₂ O ₃ ×55SiO ₂	35	153	126	137	34	36

11	20Na ₂ O×5CaO×10B ₂ O ₃ ×10TiO ₂ ×5SiO ₂	42	144	123	140	66*	92
23	20Na ₂ O×5CaO×65SiO ₂	38	160	134	152	67	100
33	20Na ₂ O×5CaO×10B ₂ O ₃ ×60SiO ₂ ×5PbO	15*	74*	120	48	38	42
34	20Na ₂ O×5CaO×10B ₂ O ₃ ×55SiO ₂ ×10PbO	0*	45*	82	26*	15	16
35	20Na ₂ O×5CaO×10B ₂ O ₃ ×50SiO ₂ ×15PbO	0*	30*	54*	22*	10	11
32	20Na ₂ O×5CaO×10B ₂ O ₃ ×55SiO ₂ ×10V ₂ O ₅	0*	28*	25*	25*	23*	25*
31	20Na ₂ O×5CaO×10B ₂ O ₃ ×55SiO ₂ ×50CoO	22*	80*	96	56	34	43
*Пузыри по всему объёму капли стекла							

Согласно данным, приведённым в таблице 2, стёкла с основой вида (55%_{мол} SiO₂; 10%_{мол} B₂O₃; 20%_{мол} Na₂O (Li₂O); 10%_{мол} Me_mO_n) отличаются наиболее высокой адгезией к нитриду алюминия.

2. В соответствии с задачами исследования, было решено разделить исследуемые составы на две группы:

- 1) Стёкла, взаимодействующие с нитридом алюминия;
- 2) Стёкла, не взаимодействующие с нитридом алюминия.

В связи с этим, в основе для стёкол, не взаимодействующих с нитридом алюминия, было решено оксид натрия Na₂O заменить на оксид лития Li₂O, поскольку Na₂O относится к оксидам, взаимодействующим с нитридом алюминия.

3. Для первой группы стёкол были выбраны взаимодействующие с нитридом алюминия оксиды, которые вошли в состав стекольной основы. Для этого подошли оксиды, значение ΔG₀ которых для реакции с нитридом алюминия в интервале температур от 0 до 1400 °С отрицательны - K₂O, Cu₂O, CuO, PbO, NiO, CdO, FeO, ZnO, Bi₂O₃, V₂O₅. Следовательно, данные оксиды относятся к оксидам, взаимодействующим с нитридом алюминия.

Для того, чтобы добиться отсутствия взаимодействия стекольных модификаторов с ALN, в их основу были взяты невзаимодействующие оксиды с ALN. В их число входят такие оксиды как: BaO, SrO, MgO, BeO, Al₂O₃, V₂O₃, TiO₂, SnO₂.

2.2.3 Описание материалов Ag

Основным материалом для серебрясодержащих паст являются порошки серебра.

Были выбраны порошки серебра под маркой ПС-2, изготовленные из аффинированного серебра по ТУ 1752-001-59839838-2003.

Таблица 2.2 – Параметры технического серебра ПС-2

Наименование параметра	ПС-2
Внешний вид	Порошок серого цвета
Насыпная плотность, г/см ³	0,8 - 1,5
Удельная поверхность: 1. по БЭТ, м ² ./г 2. по газопроницаемости, см. кв. /г	1. 0,6-1,4 2. 4500-6500
Распределение частиц по размерам, мкм: 1. 10% 2. 50% 3. 90%	1. 1.2-2.5 2. 2.5-5.0 3. 6.0-13
Содержание серебра, % масс, не менее	98,5

4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Введение

Основная цель данного раздела – оценить перспективность развития и планировать финансовую и коммерческую ценность конечного продукта, представленного в рамках исследовательской работы. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на следующие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала разработки.
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

Целью НИР является разработка технологии металлизации алюмонитридной керамики низкотемпературными проводящими пастами.

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

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Поскольку на сегодняшний день металлизационные пасты, рассчитанные на применение с нитридом алюминия, не до конца разработаны, и их массовое производство не налажено, прямых конкурентов для данной продукции нет в принципе. Однако, разработка таких паст может повысить конкурентную способность керамики на основе нитрида алюминия,

поэтому конкурентами в данном случае можно считать производителей металлизационных паст для корундовой и других видов керамики.

Сравним три технологии получения тория из монацитового концентрата:

- Технология металлизации алюмонитридной керамики низкотемпературными проводящими пастами (индекс «ф»);

- Компания «Глобал Инжиниринг», г. Москва – металлизационные пасты (индекс «к1»);

- Компания «Монокристалл», г. Ставрополь – металлизационные пасты (индекс «к2»)

Таблица 4.1 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений.

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Труда пользователя	0,5	4	4	4	2	2	2
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,02
3. Доступность сырьевых материалов	0,01	4	4	4	0,04	0,04	0,04
4. Адгезионные свойства	0,09	5	4	4	0,45	0,36	0,36
5. Проводимость	0,04	5	4	3	0,16	0,16	0,12
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,03	5	5	5	0,15	0,15	0,15
2. Уровень проникновения на рынок	0,07	3	4	4	0,21	0,28	0,28
3. Цена	0,05	5	3	4	0,25	0,15	0,2
4. Финансирование научной разработки	0,07	5	5	5	0,35	0,35	0,35
5. Срок выхода на рынок	0,05	5	4	5	0,25	0,2	0,25
6. Наличие сертификации разработки	0,04	5	5	5	0,2	0,2	0,2
Итого	1	92	87	86	4,26	4,09	4,15

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i * \text{Б}_i = (0,5 * 4) + (0,05 * 4) + (0,01 * 4) + (0,09 * 5) + (0,04 * 5) + (0,03 * 5) + (0,07 * 3) + (0,05 * 5) + (0,07 * 5) + (0,05 * 5) + (0,04 * 5) = 4,26$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл i -го показателя.

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что исследование является наиболее актуальным и перспективным, имеет конкурентоспособность.

4.1.2 SWOT-анализ

Для исследования внешней и внутренней среды проекта, в этой работе проведен SWOT-анализ с детальной оценкой сильных и слабых сторон исследовательского проекта, а также его возможностей и угроз.

Первый этап, составляется матрица SWOT, в которую описаны слабые и сильные стороны проекта и выявленные возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде, приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Матрица SWOT-анализа

Сильные стороны	Слабые стороны
С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.	Сл1. Недостаток научной базы в области исследования.
С2. Экологичность технологии.	Сл2. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца.
С3. Наличие бюджетного финансирования.	Сл3. Большой срок поставок материалов и комплектующих, используемых при проведении научного исследования.
С4. Квалифицированный персонал.	
С5. Новизна проекта на рынке.	
Возможности	Угрозы
В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ	У1. Возможность появления прямых конкурентов
В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт	У2. Высокие требования к техническим характеристикам продукции
В3. Отсутствие прямых конкурентов	У3. Сложность получения керамики на основе нитрида алюминия

На втором этапе на основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность

проекта, а также надежность его реализации. Соотношения параметров представлены в таблицах 4.3–4.6.

Таблица 4.3 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

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

Таблица 4.4 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	-	+	+
	B2	-	-	-
	B3	+	-	-

Таблица 4.5 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	+	+	-	-	+
	У2	+	-	-	+	-
	У3	-	-	-	-	+

Таблица 4.6 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта				
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	-	+	+
	У2	+	+	-
	У3	-	-	-

Результаты анализа представлены в итоговую таблицу 4.7.

Таблица 4.7 – Итоговая таблица SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность	Слабые стороны научно-исследовательского проекта Сл1. Недостаток научной базы в области исследования
--	--	--

	<p>технологии. С2. Экологичность технологии. С3. Наличие бюджетного финансирования. С4. Квалифицированный персонал. С5. Новизна проекта на рынке.</p>	<p>Сл2. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца Сл3. Большой срок поставок материалов и комплектующих, используемых при проведении научного исследования</p>
<p>Возможности В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт В3. Отсутствие прямых конкурентов</p>	<p>Направления развития В1С3С4С5. Наличие бюджетного финансирования, квалифицированный персонал, а также новизна проекта на рынке соответствует потенциальному спросу на новые разработки. В2С1С2. Заявленная экономичность, энергоэффективность и экологичность технологии является хорошим основанием для внедрения в аэрокосмическую область. В3С5. Новизна проекта на рынке являются основой для выхода на новые рынки сбыта и привлечения инвесторов.</p>	<p>Сдерживающие факторы В1Сл2Сл3. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца, а также большой срок поставок материалов и комплектующих, используемых при проведении научного исследования может решиться использованием инновационной инфраструктуры ТПУ В3Сл1. Недостаток научной базы в области исследования при приводит к отсутствию прямых конкурентов на рынках сбыта</p>
<p>Угрозы У1. Возможность появления прямых конкурентов У2. Высокие требования к техническим характеристикам продукции У3. Сложность получения керамики на основе нитрида алюминия</p>	<p>Угрозы развития У1С1С2С5. Несмотря на снижение стоимости разработок конкурентов, наши технологии имеют большую экономичность, энергоэффективность, экологичность технологии и выделяются новизной проекта на рынке. У2С1С4 Несмотря на высокие требования к техническим характеристикам продукции, хорошего качества продукции получается добиваться благодаря эффективности технологии и квалифицированному персоналу. У3С5 Сложность получения керамики на основе нитрида</p>	<p>Уязвимости: У1Сл2Сл3. Нарастить объемы производства, занять новые ниши сбыта, наработать конкурентные преимущества. У2Сл1Сл2 Расширить каналы закупки материалов и комплектующих</p>

	алюминия окупается новизной проекта и своей перспективностью в будущем.	
--	---	--

В результате SWOT-анализа показано, что на преимущества разрабатываемой технологии преобладают над ее недостатками. Данные недостатки, которые на данный момент на практике не устранены, но в теории уже есть возможности для их устранения. Основные направления повышения конкурентоспособности проекта: проведение дополнительных научных исследований, использование новейшего оборудования ИШНПТ ТПУ и дальнейшее совершенствование технологии.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение количества исполнителей для каждой из работ;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления.

Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной научно-исследовательской работы, приведен в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Научный руководитель
	2	Календарное планирование выполнения НИР	Инженер, научный руководитель
Выбор способа решения поставленной задачи	3	Обзор научной литературы	Инженер
	4	Выбор методов исследования	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование эксперимента	Инженер, научный руководитель
	6	Подготовка материалов	Инженер
	7	Проведение эксперимента	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Обработка полученных данных	Инженер
	9	Оценка правильности полученных результатов	Инженер, Научный руководитель
Оформление отчета по НИР	10	Составление пояснительной записки	Инженер

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

При проведении научных исследований основную часть стоимости разработки составляют трудовые затраты, поэтому определение трудоемкости проводимых работ является важным этапом составления бюджета.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости использована следующая формула:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{мин}i} + 2t_{\text{макс}i}}{5}, \quad (4.1)$$

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, человеко-дни;

$t_{\text{мин}i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни;

$t_{\text{макс}i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни.

Зная величину ожидаемой трудоемкости, можно определить продолжительность каждой i -ой работы в рабочих днях T_{pi} , при этом учитывается параллельность выполнения работ разными исполнителями. Данный расчёт позволяет определить величину заработной платы.

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i}, \quad (4.2)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, рабочие дни;

$t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни;

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

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой (4.3):

$$T_{ki.инж} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (4.3)$$

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

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$ – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{кал.инж} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48 \quad (4.4)$$

где $T_{кал}$ – общее количество календарных дней в году; $T_{вых}$ – общее количество выходных дней в году; $T_{пр}$ – общее количество праздничных дней в году.

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – 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		$t_{ожг}$, чел-дни			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	2	-	4	-	2,8	-	2,8	4
2. Календарное планирование выполнения ВКР	2	2	4	3	2,2	2,4	2,6	4
3. Обзор научной литературы	-	7	-	9	-	7,8	7,8	12

4. Выбор методов исследования	1	4	2	6	1,4	4,8	3,1	5
5. Планирование эксперимента	-	4	-	6	-	4,8	4,8	7
6. Подготовка образцов для эксперимента	-	5	-	7	-	5,8	5,8	9
7. Проведение эксперимента	-	14	-	21	-	16,8	16,8	25
8. Обработка полученных данных	-	8	-	10	-	8,8	8,8	13
9. Оценка правильности полученных результатов	4	2	6	4	4,8	2,8	3,8	6
10. Составление пояснительной записки		7		9	-	7,8	7,8	12
Итого:	9	53	16	75	11,8	61,8	64,1	95

Примечание: Исп. 1 – научный руководитель, Исп. 2 – инженер.

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица 4.10).

Таблица 4.10 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность работ												
				февр			март			апр			май			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Исп1	4	█												
2	Календарное планирование выполнения ВКР	Исп1 Исп2	4	█												
3	Обзор научной литературы	Исп2	12		█											
4	Выбор методов исследования	Исп2	5			█										
5	Планирование эксперимента	Исп1 Исп2	7			█										
6	Подготовка материалов	Исп2	9				█									
7	Проведение эксперимента	Исп2	25					█								
8	Обработка полученных данных	Исп2	13							█						
9	Оценка правильности полученных результатов	Исп1 Исп2	6										█			
10	Составление	Исп2	12											█		

№	Вид работ	Исп	Т _{кi} , кал. дн.	Продолжительность работ											
				февр			март			апр			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	пояснительной записки														

Примечание:



– Исп. 1 (научный руководитель),



– Исп. 2 (инженер)

4.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением. В этой работе использовать следующую группировку затрат по следующим статьям:

- материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);
- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы НИР.

4.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Материальные затраты — это затраты организации на приобретение сырья и материалов для создания готовой продукции.

Данная часть включает затрат всех материалов, используемых при разработка технологии металлизации алюмонитридной керамики низкотемпературными проводящими пастами. Результаты расчета затрат представлены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Затраты на разработку технологии металлизации ALN керамики

Наименование статей	Единица измерения	Кол-во, гр	Цена за единицу, руб/кг	Сумма, руб.
Нитрид алюминия	кг	58	7000	406

Изопропиловый спирт	кг	15700	96	1507,2
Карбонат натрия десятиводный	кг	883	65	57,4
Карбонат кальция	кг	92	55	5
Изопропиловый спирт	кг	2	150	300
Олеиновая кислота	кг	0,010	87	0,87
Карбонат кальция	кг	92	55	5
Свинцовый сурик	кг	159	250	39,8
Оксид иттрия	кг	1,9	35000	66,5
Электротовары для сборки установки	-	-	-	1141,9
Итого:				3529,67

4.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

Расчет сводится к определению амортизационных отчислений, так как оборудование было приобретено до начала выполнения данной работы и эксплуатировалось ранее, поэтому при расчете затрат на оборудовании учитываем только рабочие дни по данной теме.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации: рассчитывается по формуле:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (4.5)$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m, \quad (4.6)$$

где I – итоговая сумма, тыс. руб.; m – время использования, мес.

Таблица 4.12 – Затраты на оборудование

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во ед.	Срок полезного использования, лет	Время использования, мес.	H_A , %	Цена оборудования, руб.	Амортизация
-------	---------------------------	------------	-----------------------------------	---------------------------	-----------	-------------------------	-------------

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во ед.	Срок полезного использования, лет	Время использования, мес.	$N_A, \%$	Цена оборудования, руб.	Амортизация
1	Весы аналитические Веста В153	1	7	0,16	14	15000	29
2	Пресс гидравлический	1	7	0,1	14	15000	18
3	Щековая дробилка ШД-10	1	5	0,16	20	250000	667
4	Виброплощадка	1	5	0,1	20	22500	38
5	РФА- установка ДРОН-3М	1	10	0,16	10	180000	240
6	ДТА- установка STA 449 F3 Jupiter	1	10	0,1	10	3000000	2500
7	Печь камерная	1	7	0,16	14	70000	133
Итого:							3625

4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата $Z_{осн}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (4.7)$$

где $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (таблица 4.9).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_0} = \frac{51285 \cdot 10,3}{246} = 2147,3 \text{ руб.}, \quad (4.8)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.; F_0 – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического

персонала, раб. дней; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

– при отпуске в 28 раб. дня – $M = 11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя;

– при отпуске в 56 раб. дней – $M = 10,3$ месяца, 6-дневная рабочая неделя.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.} \quad (4.9)$$

Должностной оклад работника за месяц:

– для руководителя:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{мс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) k_{\text{р}} = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.} \quad (4.10)$$

– для инженера:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{мс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) k_{\text{р}} = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.}, \quad (4.11)$$

где $Z_{\text{мс}}$ – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.; $k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равен 0,3; $k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2; $k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 4.13 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	52/14	104/14
- выходные дни		
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	48/5	24/10
- отпуск		
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	213

Таблица 4.14 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{\text{мс}}, \text{руб}$	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}, \text{руб}$	$Z_{\text{дн}}, \text{руб}$	$T_{\text{р}}, \text{раб.дн.}$	$Z_{\text{осн}}, \text{руб}$
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	11,8	25338,1

Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	61,8	107723,6
Итого:								133062

4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} * Z_{\text{осн}} = 0,15 * 25338,1 = 3800,7 \quad (4.12)$$

– для инженера:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} * Z_{\text{осн}} = 0,15 * 107723 = 16158,5 \quad (4.13)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15).

4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 * (25338,1 + 3800,7) = 8741,1 \quad (4.14)$$

– для инженера:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 * (107723,6 + 16158,5) = 37164,6 \quad (4.15)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2020 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

4.3.6 Накладные расходы

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

Величина накладных расходов определяется по формуле

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей} \div 5) \cdot k_{\text{нр}},$$

$$Z_{\text{накл}} = \left(\frac{3625 + 3529,7 + 133062 + 19959,3 + 45906,3}{5} \right) \cdot 0,16 = 32973,12 \quad (4.16)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,16.

4.3.7 Бюджетная стоимость НИР

Таблица 4.15 – Группировка затрат по статьям

Статьи							
1	2	3	4	5	6	7	8
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Стоимость бюджета
3625	3529,7	133062	19959,3	45906,3	206082	32973,12	239055,1

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется бюджет НИ «Разработка технологии металлизации алюмонитридной керамики низкотемпературными проводящими пастами» по форме, приведенной в таблице 4.16. В таблице также представлено определение бюджета затрат двух конкурирующих научно-исследовательских проектов.

Таблица 4.16 – Группировка затрат по статьям

№	Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
		Текущий Проект	Исп.2	Исп.3	
1	Материальные затраты НИР	3529,7	4626,3	15945	Пункт 4.2.3.1
2	Затраты на специальное оборудование	3625	3959,8	4345,3	Пункт 4.2.3.2

3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	133032	148391	148391	Пункт 4.2.3.3
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	19959,3	19959,3	19959,3	Пункт 4.2.3.3
5	Отчисления во внебюджетные фонды	45906,3	51194,9	51194,9	Пункт 4.2.3.4
6	Накладные расходы	32973,12	36868,8	38741,5	Пункт 4.2.3.5
Бюджет затрат НИР		239055,1	267297,8	280875,5	Сумма ст. 1- 6

Где:

Исп.2 – Аналог 1

Исп.3- Аналог 2

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

4.4.1 Интегральный показатель финансовой эффективности

Для определения эффективности исследования рассчитан интегральный показатель эффективности научного исследования путем определения интегральных показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

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

В качестве аналогов данной НИР рассмотрены:

Использование алюмооксидной керамики;

2) Металлизационной пасты на медной основе, структура и свойства.

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (4.17)$$

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

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения.

$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 239055,1$ руб, $\Phi_{\text{исп.1}} = 267297,8$ руб, $\Phi_{\text{исп.2}} = 280875,5$ руб.

$$I_{\text{финр}}^{\text{тех.пр}} = \frac{\Phi_{\text{тех.пр}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{239055,1}{280875,5} = 0,85$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп2}} = \frac{\Phi_{\text{исп2}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{267297,8}{280875,5} = 0,95$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп3}} = \frac{\Phi_{\text{исп3}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{280875,5}{280875,5} = 1$$

В результате расчета консолидированных финансовых показателей по трем вариантам разработки вариант 1 (текущий проект) с меньшим перевесом признан считается более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

4.4.2 Интегральный показатель ресурсоэффективности

Вариантов выполнения НИР (I_{pi}) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 4.17).

Таблица 4.17 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

Объект исследования / Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,10	4	4	3
2. Сложность технологии	0,10	3	3	3

3. Диэлектрические свойства	0,25	5	4	5
4. Термофизические свойства	0,15	4	3	3
5. Энергосбережение	0,25	5	5	4
6. Материалоемкость	0,15	5	2	3
ИТОГО	1	4,55	3,7	3,75

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0.1 * 4 + 0.1 * 3 + 0.25 * 5 + 0.15 * 4 + 0.25 * 5 + 0.15 * 5 = 4,55$$

$$I_{p2} = 0.1 * 4 + 0.1 * 3 + 0.25 * 4 + 0.15 * 3 + 0.25 * 5 + 0.15 * 2 = 3,7$$

$$I_{p3} = 0.1 * 3 + 0.1 * 3 + 0.25 * 5 + 0.15 * 3 + 0.25 * 4 + 0.15 * 5 = 3,75$$

4.4.3 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки

Вычисляется на основании показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{финр}} \quad (20)$$

$$I_{исп.1} = \frac{4,55}{0,86} = 5,2 \quad I_{исп.2} = \frac{3,7}{0,95} = 3,8 \quad I_{исп.3} = \frac{3,75}{1} = 3,75$$

Интегральный показатель эффективности определяет расчетную сравнительную эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{ср1} = \frac{I_i}{I_1}$$

$$\mathcal{E}_{ср1} = \frac{5,2}{5,2} = 1, \quad \mathcal{E}_{ср2} = \frac{3,8}{5,2} = 0,73, \quad \mathcal{E}_{ср3} = \frac{3,75}{5,2} = 0,72$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НИР сравнивались с интегральными показателями эффективности других

вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица 4.18).

Таблица 4.18 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,85	0,95	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,55	3,7	3,75
3	Интегральный показатель эффективности	5,2	3,8	3,75
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,73	0,72

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансово- и ресурсоэффективным является вариант 1 (текущий проект). Наш проект является более эффективным по сравнению с конкурентами.

Выводы по разделу

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

1. Результатом анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации НИР как наиболее подходящего и оптимального по сравнению с другими.

2. В ходе планирования для руководителя и инженера был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее количество дней для выполнения работ составляет 95 дней; общее количество дней, в течение которых работал инженер, составляет 61,8 дней; общее количество дней, в течение которых работал руководитель, составляет 9,8 дней;

3. Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 239055,1 руб;

4. Результат оценки эффективности ИР показывает следующие выводы:

1) значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,86, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной по сравнению с аналогами;

2) значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,55, по сравнению с 3,7 и 3,75;

3) значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 5,2, по сравнению с 3,8 и 3,75, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИИ СТУДЕНТА