

Школа ИШНПТ  
 Направление подготовки 18.04.01 Химическая технология  
 ООП Технологии переработки минерального и техногенного сырья  
 Специализация Химическая технология керамики и композиционных материалов  
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ им Н.М. Кижнера

### ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА МАГИСТРА

Тема работы
<b>Разработка состава для металлизации алюмонитридной керамики</b>

УДК 666.3.056.5:661.862'041

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4-ГМ-03	Бардовский Игорь Александрович		

Руководитель ВКР

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

#### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу: «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Т.Г.	к.э.н.		

По разделу: «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич О.А.	к.б.н		

#### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ  
ПО ООП 18.04.01 ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ**

<b>Код компетенции</b>	<b>Результат обучения (выпускник должен обладать)</b>
<i><b>Универсальные компетенции</b></i>	
<b>УК(У)-1</b>	способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
<b>УК(У)-2</b>	способен управлять проектом на всех этапах жизненного цикла
<b>УК(У)-3</b>	способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
<b>УК(У)-4</b>	способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(-ых) языке(-ах), для академического и профессионального взаимодействия
<b>УК(У)-5</b>	способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
<b>УК(У)-6</b>	способен определить и реализовать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
<i><b>Общепрофессиональные компетенции</b></i>	
<b>ОПК(У)-1</b>	готовность к коммуникации в устной и письменной формах на русском и иностранном языках для решения задач профессиональной деятельности
<b>ОПК(У)-2</b>	готовность руководить коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
<b>ОПК(У)-3</b>	способность к профессиональной эксплуатации современного оборудования и приборов в соответствии с направлением и профилем подготовки
<b>ОПК(У)-4</b>	готовность к использованию методов математического моделирования материалов и технологических процессов, к теоретическому анализу и экспериментальной проверке теоретических гипотез
<b>ОПК(У)-5</b>	готовность к защите объектов интеллектуальной собственности и коммерциализации прав на объекты интеллектуальной собственности
<i><b>Профессиональные компетенции</b></i>	
<b>ПК(У)-1</b>	способность организовывать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую работу, разрабатывать планы и программы проведения научных исследований и технических разработок, разрабатывать задания для исполнителей
<b>ПК(У)-2</b>	готовность к поиску, обработке, анализу, систематизации научно-технической информации по теме исследования, выбору методик, средств решения задачи
<b>ПК(У)-3</b>	способность использовать современные приборы и методики, организовывать проведение экспериментов и испытаний, проводить их обработку и анализировать их результаты
<b>ПК(У)-4</b>	готовность к решению профессиональных производственных задач - контролю технологического процесса, разработке норм выработки, технологических нормативов на расход материалов, заготовок, топлива и электроэнергии, к выбору оборудования и технологической оснастки
<b>ПК(У)-5</b>	готовность к совершенствованию технологического процесса - разработке мероприятий по комплексному использованию сырья, по замене дефицитных материалов и изысканию способов утилизации отходов производства, к исследованию причин брака в производстве и разработке предложений по его устранению
<b>ПК(У)-6</b>	способность к оценке экономической эффективности технологических процессов, оценке инновационно-технологических рисков при внедрении новых технологий
<b>ПК(У)-7</b>	способность оценивать эффективность новых технологий и внедрять их в производство
<i><b>Профессиональные компетенции университета</b></i>	
<b>ДПК(У)-1</b>	готовность к разработке учебно-методической документации для реализации образовательных программ

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

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
24.01.22 Казьмина О.В.  
 (Подпись)    (Дата)    (Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ

#### на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

выпускной квалификационной работы магистра
--

Студенту:

Группа	ФИО
4-ГМ-03	Бардовский Игорь Александрович

Тема работы:

<b>Разработка состава для металлизации алюмонитридной керамики</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 20-20/с от 20.01.2022

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2022
--	------------

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Данные литературного анализа по вопросу разработки состава для металлизации алюмонитридной керамики.</p> <p>Объект исследований – нитридалюминиевый керамический материал с нанесенным металлическим слоем различного состава.</p> <p>Цель работы – получить керамический материал с металлическим покрытием.</p> <p>Используемые материалы – нитрид алюминия; добавки для пасты: нитрид алюминия, оксида хрома (III), гидрида титана (II), оксида молибдена (VI), оксида вольфрама (VI).</p> <p>Вжигание паст проводилось в вакуумной электропечи.</p>
---	--

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>1. Аналитический обзор литературных источников;  2. Постановка цели и задач исследования;  3. Выбор и описание методов исследования;  4. Экспериментальные исследования получения металлического покрытия для нитрида алюминия;  5. Анализ полученных результатов и оценка дальнейших перспектив развития работы.</p>
<p><b>Перечень графического материала</b></p>	<p>Презентация в MS PowerPoint:  - Результаты экспериментов;  - Выводы по работе.</p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>1. Литературный обзор.  2. Методы исследования  3. Экспериментальная часть</p>	<p>Дитц Александр Андреевич</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Рыжакина Татьяна Гавриловна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Антоневич Ольга Алексеевна</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
<p>Литературный обзор</p>	

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	<p>24.01.2022</p>
--	-------------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Доцент</p>	<p>Дитц Александр Андреевич</p>	<p>к. т. н.</p>		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>4-ГМ-03</p>	<p>Бардовский Игорь Александрович</p>		

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  
 Уровень образования магистратура  
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ им Н.М. Кижнера  
 Период выполнения (осенний / весенний семестр 2021/2022 учебного года)

Форма представления работы:

**Выпускная квалификационная работа магистра**

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

Обучающегося:

Группа	ФИО
4-ГМ-03	Бардовский Игорь Александрович

Тема работы:

**Разработка состава для металлизации алюмонитридной керамики**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2022
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
06.06.2020	Основная часть	75
07.06.2020	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
08.06.2020	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	Казмина О.В.	Д.т.н, профессор		

**Обучающийся**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4-ГМ-03	Бардовский Игорь Александрович		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 140 страниц, 47 рисунков, 46 таблиц, 53 литературный источник.

Ключевые слова: нитрид алюминия, оксид хрома (III), гидрид титана (II), оксид молибдена (VI), оксид вольфрама (VI), адгезия, проводимость.

Объектом исследования является керамический материал на основе нитрида алюминия с нанесенным металлическим покрытием, различного состава.

Цель работы – получить керамический материал с металлическим покрытием.

В процессе работы исследовалось влияние различных добавок и температурного режима на свойства металлического покрытия на основе молибдена.

Степень внедрения: лабораторные испытания.

Область применения: элементы корпусов и полупроводниковых приборов, носители светодиодных чипов.

Экономическая эффективность/значимость работы: в результате проведения экономического анализа, данная работа эффективна и конкурентно способна в связи с получением нетоксичного материала на основе нитрида алюминия.

В будущем планируется провести эксперимент и проанализировать, возможно ли вжигание металлизационных покрытия одновременно со спеканием алюмонитридной керамики.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	11
Определения, обозначения, сокращения .....	12
Глава 1. Литературный обзор.....	13
1.1 Нитрид алюминия .....	13
1.1.1 Общие сведения .....	13
1.1.2 Физические свойства .....	13
1.1.3 Теплофизические свойства .....	14
1.1.4 Химические свойства .....	16
1.1.5 Способы получения .....	16
1.2 Керамика на основе нитрида алюминия.....	17
1.2.1 Способы получения керамики.....	17
1.2.2 Достоинства и недостатки.....	19
1.2.3 Применение .....	20
1.3 Металлизация .....	21
1.3.1 Природа сил сцепления при металлизации керамики .....	21
1.3.2 Состав и назначение компонентов.....	23
1.3.3 Приготовление металлизационных паст .....	25
1.3.4 Способы нанесения.....	27
1.3.5 Режимы вжигания .....	28
Глава 2. Методы исследований.....	30
2.1 Цели и задачи работы .....	30
2.2 Методы анализа.....	30
2.2.1 Рентгенофазовый анализ .....	30
2.2.2 Растровая электронная микроскопия.....	31
2.2.3 Методика изготовления аншлифов .....	33
2.2.4 Определение адгезии металлизации к керамике .....	34
2.2.5 Определение свойств пасты.....	35
Глава 3. Экспериментальная часть .....	37
3.1 Материалы .....	37
3.1.1 Керамика из $\text{AlN}$ .....	37
3.1.2 Порошки молибдена .....	37
3.1.3 Другие добавки .....	39
3.1.3.1 Измельченное стекло марки С-52-1.....	39

3.1.3.2 Оксид хрома (III).....	40
3.1.3.3 Оксид молибдена (VI) .....	41
3.1.3.4 Гидрид титана (II) .....	42
3.1.3.5 Оксид вольфрама (VI) .....	44
3.2 Изготовление образцов алюмонитридной керамики .....	45
3.3 Подготовка керамики к нанесению.....	47
3.4 Выбор состава для металлизации.....	48
3.5 Технология изготовления металлизационных паст .....	50
3.5.1 Помол порошков .....	51
3.5.2 Смешение порошков.....	52
3.5.3 Приготовление органической связки.....	52
3.5.4 Смешение металлической и органической частей и выпаривание растворителя.....	53
3.5.5 Разбавление пасты до нужной консистенции и нанесение .....	53
3.6 Определение свойств паст .....	54
3.7 Удаление органического связующего.....	55
3.8 Вжигание паст .....	56
3.9 Определение свойств.....	56
3.9.1 Микроструктура.....	58
3.9.2 Адгезия паст к керамике .....	69
3.9.3 Проводимость.....	70
Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	73
4.1 Предпроектный анализ.....	74
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	74
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	74
4.1.3 SWOT-анализ.....	76
4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации .....	79
4.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования.....	80
4.2 Инициация проекта.....	81
4.3 Планирование управления научно-техническим проектом .....	83
4.3.1 Иерархическая структура работ проекта.....	83
4.3.2 План проект .....	84

4.4 Бюджет научного исследования.....	87
4.4.1 Организационная структура проекта.....	94
4.4.2 План управления коммуникациями проекта.....	94
4.4.3 Реестр рисков проекта.....	94
4.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности.....	95
4.5.1 Оценка абсолютной эффективности исследования.....	96
4.5.2 Оценка сравнительной эффективности исследования.....	100
Глава 5. Социальная ответственность.....	106
Введение.....	106
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	107
5.1.1 Правовые нормы трудового законодательства.....	107
5.1.2 Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны.....	108
5.2 Производственная безопасность.....	108
5.2.1 Анализ опасных и вредных факторов производственной среды.....	109
5.2.1.1 Отклонение показателей микроклимата.....	109
5.2.1.2 Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	110
5.2.1.3 Превышение уровня шума.....	114
5.2.1.4 Повышенная концентрация вредных веществ в воздухе.....	115
5.2.1.5 Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.....	116
5.2.1.6 Движущиеся машины и механизмы.....	117
5.2.1.7. Повышенная температура поверхностей оборудования и обрабатываемых материалов.....	118
5.3 Экологическая безопасность.....	118
5.3.1 Защита селитебной зоны.....	119
5.3.2 Защита атмосферы.....	119
5.3.3 Защита гидросферы.....	119
5.3.4 Защита литосферы.....	120
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	121
Заключение по разделу «Социальная ответственность».....	122
Заключение.....	124
Список использованных источников:.....	125

Приложение А – раздел на иностранном языке.....	130
Приложение Б – внешний вид образцов до и после вжигание пасты .....	140

## ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день нет такой области промышленности, где бы, благодаря своим уникальным свойствам, не использовалась керамика. Одним из наиболее перспективных направлений использования керамики является производство электроники и электротехники. Нитрид алюминия обладает сочетанием уникальных свойств, по сравнению с другими материалами применяемыми в микроэлектронике, высокой теплопроводностью, отличными изоляционными свойствами, низкой электрической проводимостью и отсутствием токсичности. Все вышеперечисленные свойства делают керамику на основе нитрида алюминия идеальной для использования в электронике и электротехнике, в первую очередь, в качестве материала подложек мощных силовых и СВЧ полупроводниковых приборов, микросхем, и подложек мощных светодиодов. Однако практически все разработанные проводниковые пасты рассчитаны на оксидные материалы, и поэтому имеют низкую адгезию к нитриду, что не позволяет должным образом использовать этот материал в промышленности.

Целью данной работы является: разработать состав и определить режим вжигания для различных металлизационных паст.

Задачи:

- провести литературный обзор;
- подготовить экспериментальные составы;
- произвести нанесения и вжигания паст;
- проанализировать зависимость температурно-временного режима и состава на свойства образцов.

Практическая значимость работы заключается в разработке технологии металлизации керамики на основе нитрида алюминия для промышленного применения.

## Определения, обозначения, сокращения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

**керамика:** Материалы, полученные по керамической технологии – формование и обжиг.

**обжиг:** Термическая обработка материалов или изделий.

**спекание:** Физико-химический процесс уплотнения материала.

**формование:** Технологический процесс придания формы изготавливаемым изделиям.

**адгезия:** Сцепление поверхностей разнородных жидких или твердых тел.

**проводимость:** Способность пропускать через себя электрический ток.

## ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

### 1.1 Нитрид алюминия

#### 1.1.1 Общие сведения

Нитрид алюминия (алюмонитрид) – неорганическое бинарное химическое соединение Al с N, впервые синтезированное в 1877 году, Химическая формула – AlN [1]. Принято считать следующие кристаллические модификаций нитрида алюминия [2]: самая распространенная и, как следствие, более полно изученная – гексагональная решетка типа вюрцита (*w*-AlN) (рисунок 1.1), а известные метастабильные фазы — кубической структурой типа сфалерита (*s*-AlN) и каменной соли (*r*-AlN).

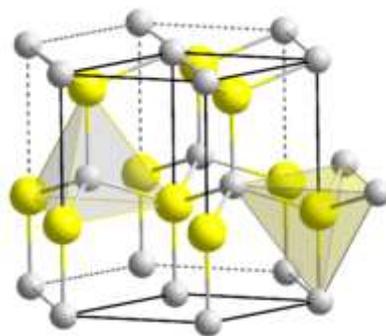


Рисунок 1.1 – Кристаллическая структура *w*-AlN

#### 1.1.2 Физические свойства

В зависимости от степени чистоты нитрида, значения периодов решетки, по различным данным, колеблются в пределах  $a=3,10 - 3,13$ ;  $c=4,93 - 4,98$  А. Кристаллографическая группа для этой структуры —  $C_{6v}^4 - P6_3mc$ .

Порошок нитрида алюминия зачастую встречается белого цвета (рисунок 1.2). Отдельные кристаллы – полупрозрачны, если присутствуют примеси Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> нитрид приобретает голубоватую окраску.



Рисунок 1.2 – Порошкообразный нитрид алюминия.

Нитрид алюминия разлагается на алюминий и азот при высоких температурах, именно поэтому не удается точно зарегистрировать при какой температуре начинается плавления алюмонитрида. Начало разложения определяется особенностями условий проведения определения «температуры плавления». По различным данным эта температура колеблется в пределах от 2000 до 2500 °С [5].

Твердость по Кнупу (микротвердость при нагрузке 100 г) составляет 11768 МПа. Твердость по минералогической шкале Мооса определена в от 5 до 9-10 единиц. Температурная зависимость электросопротивления типична для полупроводников и диэлектриков, рассчитанная ширина запрещенной зоны AlN равна  $\Delta E = 4,26$  эВ.

Физические свойства нитрида алюминия показывают, что он является диэлектриком с большой шириной запрещенной зоны (3,8 – 5 эВ.), высоким электросопротивлением, достигающим до  $10^{20}$  Ом·см [5].

### 1.1.3 Теплофизические свойства

Термодинамические и теплопроводящие свойства AlN, как керамического материала, полностью обусловлены фононами. Длина свободного пробега фононов является важнейшей физической характеристикой, которая играет решающую роль в определении таких свойств [7].

Прочность нитрида алюминия зависит от температуры, примером этого является, то, что при температурах порядка 1400 °С его прочность может быть сопоставлена с прочностью оксидной керамики, но при обычной температуре несколько уступает им.

Наиболее теплопроводной формой нитрида алюминия является его кубическая микроструктура в этом случае данный параметр достигает 600 Вт/м·К. Теплопроводность технического AlN на порядок меньше теплопроводности плотного карборунда и в 2 – 3 раза выше теплопроводности керамики на Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. При увеличении концентрации примесей теплопроводность понижается. Наиболее влияет на уровень теплопроводности и ее температурную зависимость изменение пористости и фазового состава [5].

В целом теплопроводность поликристаллической керамики (70–210 Вт/м·К) ниже, чем теплопроводность входящих в её состав монокристаллов (275 Вт/м·К) [8]. Это снижение в значительной степени зависит от теплопроводности и чистоты входящих в состав керамики материалов, размеров зёрен исходных компонентов, количества спекающей добавки, а также особенностей процесса спекания, что является очень важным, поскольку указанные факторы влияют на микроструктуру керамики и, следовательно, на механизм тепловой проводимости. Кроме того, снижение теплопроводности у поликристаллической керамики происходит за счёт двух основных факторов: случайной ориентации отдельных зёрен и распределения случайных дискретных вторичных фаз.

Термическое расширение при средних температурах немного превышает тепловое расширение карборунда. При 100 – 500 °С коэффициент термического расширения составляет  $4,5 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ .

Сопротивление тепловому удару высокое, так при теплосменах 2200 – 20 °С изделия не разрушаются в течение нескольких циклов. После 30 циклов нагрева в течение 2,5 минут до 1400 °С и быстрого охлаждения до комнатной температуры на воздухе потеря прочности составляет 12% [5].

### 1.1.4 Химические свойства

Нитрид алюминия очень стабилен. Обладает высокой стойкостью к окислению, к действию расплавленных металлов, горячих минеральных кислот, различных агрессивных газов, на нитрид медленно действуют сухие галогены [9-11].

Различные сильные кислоты мало действуют на порошок нитрида алюминия. HF также не влияет на AlN. Только концентрированный высокотемпературный щелочной раствор способен разложить нитрид с образованием аммиака.

Плотно спеченный образец нитрида алюминия более устойчив к негативному воздействию концентрированных кислот, чем порошкообразный. Таким образом, небольшой плотный образец устойчиво переносит кипячение в  $H_2SO_4$  и не вызывает повреждений при воздействии других сильных концентрированных кислот.

Окисление порошка на воздухе начинается при температуре 1200 °C [12].

Скорость коррозии при действии горячих газов зависит от плотности изделий из нитрида [5].

### 1.1.5 Способы получения

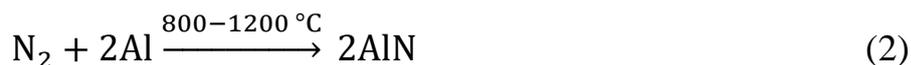
Существуют следующие способы получения нитрида алюминия [13]:

- Карботермическое восстановление;
- Азотирование оксида алюминия аммиаком;
- Азотирование металлического Al;
- Азотирование металлического Al в плазме;
- Самораспространяющийся высокотемпературный синтез;
- Разложение  $AlCl_3 \cdot NH_3$  и других прекурсоров в газовой фазе.

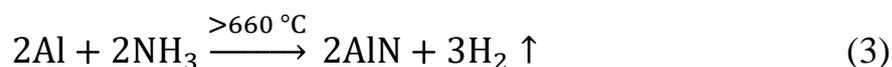
Нитрид алюминия получается восстановлением  $\text{Al}_2\text{O}_3$  углем в атмосфере азота [1]:



Также нитрид алюминия можно получить с помощью азотирования алюминиевой пудры [1]:



При пропускании через алюминий аммиака получается водород и, в виде осадка, нитрид алюминия [1]:



## 1.2 Керамика на основе нитрида алюминия

Керамика на основе нитрида алюминия используется в области микроэлектроники и машиностроении, благодаря своим уникальным свойствам: сравнительно высокая теплопроводность (350 Вт/(м·К)), низкая диэлектрическая постоянная (9,0), низкий коэффициент теплового расширения ( $5,4 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ), высокая механическая прочность (прочность на изгиб более 300 МПа), температура плавления 2400 °С, химической устойчивостью в агрессивных средах. При температуре 1600–1700°С в отсутствие давления азота AlN разлагается. [14,15].

### 1.2.1 Способы получения керамики

Качество керамических деталей во многом определяется выбранным способом их формования. Формуют керамические образцы преимущественно двумя способами, либо литьём керамических плёнок, либо прессованием

заготовок с последующим спеканием. В настоящее время используется несколько способов получения керамических материалов на основе нитрида алюминия.

#### *Частичное реакционное спекание*

Порошки нитрида алюминия получают путем азотирования алюминия при температурах 800–1200 °С, либо восстановлением оксида алюминия с одновременным азотированием.

Керамику получают путем спекания, сформованных заготовок, в среде азота при температуре 1900 °С. К порошку AlN добавляется до 10% алюминиевой пудры, которая при азотировании образует AlN, являющийся связкой [15].

#### *Полное реакционное спекание*

Большинство образцов нитрида алюминия получают методом реакционного спекания. Для этого используется чистый прессованный порошкообразный Al, который спекается в среде N<sub>2</sub>. По этому способу изделия не достигают высокой плотности, она составляет не более 0,5–0,6 от теоретической [15].

#### *Горячее прессование*

Высокоплотную керамику из AlN получают горячим прессованием при температуре 2000–2100 °С и давлении 30 МПа.

Керамика из чистого нитрида алюминия имеет низкий уровень механических свойств: предел прочности при изгибе не превышает 350 МПа и используется в качестве огнеупоров [15].

#### *Сиалоны*

Сиалон Si-Al-O-N сочетает в себе такие уникальные физико-механические свойства. Заметным преимуществом перед нитридом является более низкая температура синтеза. Наиболее распространенным является β-сиалон (β-Si<sub>6-x</sub>Al<sub>x</sub>N<sub>8-x</sub>O<sub>x</sub>), обладающий пределом прочности при изгибе до 1200 МПа и твердостью по Виккерсу 13–17 ГПа применяемый в машиностроении, космической промышленности, в производстве резцов [15].

### *Спекание с добавлением оксида иттрия*

Известен также способ, при котором к нитриду алюминия добавляется оксид иттрия  $Y_2O_3$ . В процессе спекания в такой смеси образуются алюмоиттриевые гранаты, благодаря чему температура спекания снижается, но при этом ухудшаются свойства спечённой керамики.

### **1.2.2 Достоинства и недостатки**

В производстве электронно-компонентной базы силовой электроники очень широко используются различные виды керамик преимущественно на основе оксидов, карбидов и нитридов.

Наиболее востребованным в производстве высокомошных полупроводниковых приборов, которые работают при мощности более 2 кВт/мм<sup>2</sup>, является оксид бериллия (BeO), поскольку керамика на его основе обладает очень высокой теплопроводностью порядка 250 Вт/ (м · К). Однако не смотря на высокие показатели и удобство использования керамики на основе оксида бериллия, она является токсичной и ее промышленное производство в России не предусматривается.

Основным вопросом является спекание керамики AlN для получения плотных материалов с высокими удельными свойствами. Для решения этой проблемы используется добавка оксида иттрия, что приводит к образованию легкоплавкой эвтектики, благоприятной для процесса спекания.

По физическим параметрам наиболее близкой к бериллиевой керамике является алюмонитридная керамика (AlN). Она также обладает достаточно высокой теплопроводностью порядка 170-200 Вт/ (м·К) и стабильностью электрического сопротивления с повышением температуры  $10^{14}$ - $10^{13}$  Ом · см.

В таблице 1 приведены наиболее важные сравнительные электрофизические характеристики предлагаемой для использования в разработках научной аппаратуры керамики из нитрида алюминия (AlN) и

керамики из оксида бериллия (BeO) и оксида алюминия (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) по данным отечественных и зарубежных источников [16].

Таблица 1.1 – Характеристика свойств теплопроводной керамики [16]

Параметр	AlN	BeO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Теплопроводность, Вт/м·К	170–200	220–240	18–24
Прочность на изгиб, МПа	250–300	170–230	300–350
Электрическая прочность, кВ/мм	14–18	10	14–18
Удельное электросопротивление (при 25 °С), Ом·м	>10 <sup>12</sup>	>10 <sup>11</sup>	>10 <sup>12</sup>
Диэлектрическая постоянная (при 1 МГц)	9	8	9-10
Тангенс угла диэлектрических потерь: при 1 МГц при 10 МГц	1·10 <sup>-4</sup> 5·10 <sup>-3</sup>	1·10 <sup>-4</sup> 1·10 <sup>-4</sup>	1·10 <sup>-4</sup> 5·10 <sup>-4</sup>
Коэффициент температурного линейного расширения (25 °С), 10 <sup>-6</sup> /°С	4,6	7,8	8,0
Плотность, г/см <sup>3</sup>	3,26	2,9	3,9

Также одним из достоинств нитрида алюминия является его коэффициент теплового расширения, который в широком диапазоне близок к коэффициенту теплового линейного расширения кремния. Поэтому AlN отлично подходит в качестве конструкционного материала для приборов и устройств на основе кристаллов кремния.

### 1.2.3 Применение

Нитридная керамика – перспективный материал в производстве машин и инструмента до микроэлектроники. Металлизированные керамические подложки используются в электронной и электротехнической областях промышленности.

Области применения [18]:

- производство корпусов и носителей светодиодных чипов;
- производство монокристаллических интегральных схем, микросборок;
- производство прецизионных резисторов;
- производство толсто пленочных нагревателей.

Алюмонитридная керамика имеет хорошую электрическую и химическую стабильность. Она достаточно прочна, чтобы выдерживать высокие

тепловые и механические нагрузки, которые могут создаваться некоторыми электрическими приборами. Диэлектрические керамические материалы, позволяющие уменьшить конденсаторы, играют важную роль в развитии техники полупроводниковых электронных приборов.

### **1.3 Металлизация**

К неорганическим диэлектрическим материалам относится большая группа материалов, в которую входят керамические изделия, фарфор, стекло, кварц, слюда, ситаллы, ферриты.

Металлизация неорганических диэлектриков применяется с целью придания поверхности деталей из этих материалов свойств металла: электропроводности, теплопроводности, способности к пайке. Назначение металлизации - изготовление электрических контактов, металлокерамических конструкций, декоративных эффектов [19].

#### **1.3.1 Природа сил сцепления при металлизации керамики**

Вопрос металлизации керамики слабо освещен в литературе. Первое упоминание датируется концом 70-х годов. Основные критерии, которыми необходимо руководствоваться при нанесении металлизации, следующие:

- минимальные напряжения на границе металла с керамикой;
- усадка металлизации зависит от размера частиц металла;
- в процессе спекания многослойной структуры частицы металла и окисла уплотняются, происходит усадка с образованием монолита металла и окисла.

Выбор состава пасты происходит на практике, в зависимости от назначения металлизации, удовлетворительной считают прочность сцепления (адгезия) от нескольких МПа до 170 - 200 МПа.

Исследования внутренней границы металла и неорганического диэлектрика, соединенных в единое целое, позволили выделить следующие основные типы структур и характер сил сцепления [19]:

- внутренняя граница четко выражена, на ней не обнаруживаются новые соединения, твердые растворы, то есть в сцеплении участвуют только силы на поверхности металл – диэлектрик;

- между металлом и диэлектриком имеется переходная зона, состоящая из одного или более слоев, образованных в результате химических реакций и взаимной или односторонней диффузии;

- на внутренней границе переходные зоны отсутствуют, значительно развит её рельеф, наблюдаются пластическое течение и макроскопические включения одного или обоих материалов, то есть создаются условия для механического сцепления материалов.

Также в процессе металлизации возможно сосуществование различных механизмов сцепления [19]:

- адсорбция металла на поверхности керамики, представленной в виде физической адсорбции (силы Ван-дер-Ваальса) и хемосорбции (ковалентные, ионные, металлические связи);

- растворение металла в керамике (образование поверхностного слоя химического соединения), может происходить одновременно с адсорбцией.

Характер сил, действующих в атомарном масштабе, при этом не изменяется и представляет собой обмен электронами между атомами металла и атомами или молекулами компонентов, входящих в состав керамики.

В зоне соединения керамики с металлом могут наблюдаться новые фазовые границы, переходные слои, включения металла в керамику и наоборот.

Силы физической адсорбции играют определенную роль в условиях взаимного механического зацепления, при заклинивании участков поверхности керамики и металла, пропитке, обволакивании затвердевающей стекломассой отдельных частиц, заполнения пор металлического покрытия.

С целью повышения прочности сцепления в состав паст вводят легкоплавкие добавки. Добавка, расплавляясь, смачивает поверхности металла и керамики, заполняет поры между частицами металла. Таким образом, прочность стеклофазы определяет прочность всего металлизационного слоя в целом. Источником легкоплавкой фазы может быть и сама керамика, при условии, что объемное содержание стеклофазы в ней превышает 10 %.

В чистом виде каждый из рассмотренных механизмов взаимодействия встречается редко. Чаще всего имеет место комбинированная схема с участием всех видов [19].

### **1.3.2 Состав и назначение компонентов**

Токопроводящие пасты являются суспензией и представляют собой металлический мелкодисперсный порошок, распространенный в органических связующих веществах [20].

В общем случае в состав металлизации входит порошок основного металла (молибден, вольфрам) в количестве 70 - 95% (по массе) и различные компоненты, которые выбираются в зависимости от химического и фазового составов керамического материала, а также температуры спекания покрытия. Примерами таких добавок являются: марганец, кремний, титан (гидрида титана), железо, борид молибдена, ферросилиций и другие.

При отсутствии в керамике стеклофазы, то для повышения адгезии в состав пасты вводят марганец. Окисленный марганец вступает в реакцию с алюмооксидной керамикой при температурах выше 1000°C с образованием марганцево-алюминиевой шпинели ( $MnAl_2O_4$ ). При дальнейшем развитии процесса во времени образуется переходной слой шпинели, обеспечивающий связь зерен молибдена с материалом керамики.

Также, в качестве добавки большое распространение получила марганцево-титановая 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 [21].

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

В некоторых случаях в состав металлизированных паст вводят стекло, выполняющее различные функции: обеспечивать прочное сцепление металлизационного покрытия с сапфиром и создавать вакуумную плотность, а также заполняет поры между зёрнами металла в металлизационном слое.

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 вызывающие её кристаллизацию [22].

Металлизация алюмонитридной керамики известными пастами для алюмооксидной керамики не принесло результат. Хотя в настоящее время в электронной технике все большее применение находит высокотеплопроводная алюмонитридная (AlN) керамика. Поэтому поиск составов для её металлизации является особенно актуальным.

В основном металлизационные пасты содержат в своем составе помимо основных компонентов, которые являются Mo и W, различные добавки для повышения адгезия и других свойств, а именно:  $\text{MoB}_4$ ,  $\text{TiH}_2$ ,  $\text{Cu}_2\text{O}$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , Cr,  $\text{Ga}_2\text{O}_3$ ,  $\text{La}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MoO}_3$ ,  $\text{WO}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , CaO и другие.

Также металлизационные пасты на основе Mo и W для AlN-керамики часто смешивают с Ti и вжигают при температуре  $1850\text{-}1880 \text{ }^\circ\text{C}$  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 [24].

### **1.3.3 Приготовление металлизационных паст**

Пасты представляют собой смесь жидкой вязкой фазы с твердыми металлическими частицами, находящимися во взвешенном состоянии [20].

Существует множество способов приготовления металлизационных паст, которые отражены в различной литературе, но все они обладают одинаковыми принципами.

Прежде всего необходимо подобрать состав для металлизации и соответствующим образом подготовить компоненты. Стоит особое внимание уделить металлическому порошку.

Для металлизационных паст необходимо использовать порошки с минимально возможными размерами зерен, чтобы обеспечить максимально возможную поверхность их соприкосновения с поверхностью керамики (не более 1 мкм), с различным гранулометрическим составом, кристаллическая решетка металлических зерен должна быть максимально нарушена, а также поверхность зерен должна быть очищена от веществ, которые обладают повышенной диффузионной способностью [25].

Металлизационные пасты готовят обычно из материалов методом их размола и смешения на органическом связующем (биндере) с использованием растворителей [21].

В качестве органических связующих и растворителей паст может применяться широкий набор материалов: этилцеллюлоза, воски, ланолин, вазелиновое масло, циклогексан, жидкие смолы, органические растворители [26]. Органические связующие можно разделить на маслянно-жировые, т.е. изготавливаемые на основе ланолина, вазелинового масла, циклогексанола, и полимерные - жестко структурированные системы, каркас которых образуют молекулы полимера (метилцеллюлозы, нитроцеллюлозы, бутилцеллюлозы и

особенно этилцеллюлозы). В качестве растворителя чаще всего используют низкокипящие органические жидкости: спирты, эфиры, кетоны, испаряющиеся до начала вжигания при незначительном нагреве [27].

Сочетание этилцеллюлозы, изоамилсалицилата, полибутилметакрилата и терпинеола в заданных количествах позволяет получить органическое связующее с низкой температурой кристаллизации и малой скоростью испарения, обеспечивая за счет этого высокую жизнеспособность пасты. Кроме того, данное связующее позволяет повысить когезию пасты [28].

Помол компонентов металлизационной пасты осуществляют отдельно или совместно в шаровых или вибрационных мельницах. Длительность измельчения металлических порошков в мельницах колеблется от 1,5 до 24 часов и более. После помола порошки сушат и производят контроль их удельной поверхности. Размер частиц порошков для металлизационных паст не должен превышать 1 мкм [21]. Приготовление самих металлизационных паст, их смешение, производят в шаровых мельницах, в которые загружают металлизационный порошок, связующее (биндер) и растворитель в соответствии с рецептурой конкретной пасты.

Длительность процесса смешивания составляет 16 - 24 ч. Полученную массу протирают через сито. Вязкость пасты контролируют по времени истечения определенного ее объема через калиброванное отверстие. При этом консистенция пасты подбирается в зависимости от метода ее нанесения на керамическое изделие. Измеряют также растекаемость пасты по величине диаметра ее пятна между двумя предметными стеклами, нагруженными гирькой 150 - 200 г. Пасту хранят в герметичной стеклянной посуде с притертой пробкой. Срок хранения пасты ограничен и составляет около 8 часов, так как с течением времени паста быстро портится (коагулирует) [19]. Так как мелкодисперсные металлические порошки, растворители и связка огнеопасны, то работы с ними проводят в вытяжном шкафу с соблюдением соответствующих правил по технике безопасности. Готовую пасту наносят на керамическую деталь, предварительно прошедшую обжиг и шлифовку.

### 1.3.4 Способы нанесения

Одним и не мало важным аспектом в производстве металлизированной керамики является процесс нанесения металлизированной пасты на керамическую подложку. От способа нанесения существенно зависит качество образующегося металлизированного слоя, а в результате и качество спая керамики с металлом. На сегодняшний день существует ряд методов нанесения пасты. Выбор метода определяется конструкцией изделия, требуемой точностью поддержания толщины и ширины слоя, объемами производства и другими технико-экономическими показателями.

Окунание. Инструмент намазки - вращающийся столик, совершающий возвратно-поступательные движения в пасту и из неё. В верхнем положении на тисненой поверхности столика остается тонкий слой пасты, на который накладываеься деталь. Вращение столика способствует перемешиванию при погружении в пасту и сбрасыванию излишков пасты при выходе из неё. Метод используется для торцевых поверхностей небольших деталей. В автоматическом исполнении производительность метода составляет более 1000 деталей в час.

Пульверизация. Метод аналогичен распылению красящих веществ пульверизатором через трафарет. Применяют для металлизации плоских или торцевых поверхностей деталей. Толщина слоя пасты 40 - 60 мкм обеспечивается с разбросом 3 - 7 мкм. Пасты расходуется больше, чем в предыдущем методе.

Нанесение кистью. Метод наиболее широко распространен для деталей малых и средних размеров при небольших размерах партий изделий. Производительность 8 - 10 деталей в час при нанесении на неподвижные детали, до 20 деталей в час - на вращающиеся. Необходимы непрерывный контроль вязкости пасты и хорошая вентиляция. Ошибка в толщине наносимого слоя 10 - 12 мкм (при толщине 25 - 60 мкм). При нанесении пасты на вращающиеся детали применяют ролик, который частично погружен в пасту и одновременно соприкасается с цилиндрической поверхностью детали.

Металлизация с ленты. Паста вначале равномерно наносится на движущуюся полиэтиленовую ленту и высушивается. Поверхности керамической детали, например, торцы цилиндров смачиваются раствором и прижимаются к слою пасты. После выдержки, определяемой длительностью высыхания растворителя, деталь отделяют от ленты, причем паста остается приклеенной к детали. Цилиндрические поверхности можно покрывать пастой путем обертывания металлизационной ленты вокруг детали. Достоинствами метода являются высокая производительность, точность контроля толщины, простота, возможность длительного хранения ленты и транспортировки.

Нанесение пасты через трафарет (шелкография). Для получения определенного рисунка, особенно в технологии гибридных интегральных схем (ГИС), используют капроновые или металлические сетчатые трафареты. Пасту продавливают роликом или ракелем - гибким резиновым шпателем. Метод позволяет получать очень тонкие линии (шириной до 0,05 мм) [19].

### **1.3.5 Режимы вжигания**

После нанесения пасты детали поступают на вжигание. Для молибден-марганцевой металлизации используют водородные толкательные печи непрерывного действия [19].

Вжигание металлизационных покрытий обычно осуществляется в водородной или азотно-водородной среде. Водород, подаваемый в печь, прямотоком по ходу лодочек, предварительно увлажняют пропусканием через слой воды, температура которой поддерживается постоянной с помощью терморегулятора. Увлажнение газовой среды проводится для того, чтобы обеспечить протекание окислительных процессов в металлизационном слое. Но поскольку увлажнение газовой среды является полезным только по достижении деталями максимальной температуры, в печах предусматривается противоток сухого (влажность по точке росы не более – 400 °С) водорода [25].

При постепенном повышении температуры (18-20 °С/мин) идет разложение и выгорание органической связки. Слишком быстрое повышение температуры может привести к бурному выделению продуктов пиролиза, окислению связки и частичному отслаиванию и пузыристости покрытия.

С ростом температуры происходит окисление компонентов металлизационной пасты, образование  $MnO$  и  $MoO_2$ , начинается взаимодействие  $MnO$  с размягченной стеклофазой.

При достижении максимальной температуры (1270-1400 °С), при которой деталь находится 30-60 минут происходит проникновение жидкой фазы в металлизационный слой. Снижение температуры начинается в среде увлажненного газа, при этом происходит взаимодействие молибдена и его оксидов с жидкостью. Межмолибденовая фаза частично кристаллизуется. Охлаждение деталей осуществляется в сухом водороде, непрореагировавший оксид молибдена восстанавливается.

Для получения металлизационных слоев стабильно высокого качества в процессе вжигания осуществляется контроль наиболее важных параметров [25]. Считаются допустимыми следующие отклонения технологических режимов [19]:

- температура  $\pm 20$  °С;
- расход газов  $\pm 50$  л/ч;
- давление  $\pm 80$  Па;
- температура воды в увлажнителе  $\pm 10$ °С.

После вжигания проводится проверка качества полученного металлизационного покрытия [25].

## ГЛАВА 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 2.1 Цели и задачи работы

Целью данной работы является: разработать состав и определить режим вжигания для различных металлизационных паст.

Задачи:

- провести литературный обзор;
- подготовить экспериментальные составы;
- произвести нанесения и вжигания паст;
- проанализировать зависимость температурно-временного режима и состава на свойства образцов.

### 2.2 Методы анализа

В работе применяются современные инструментальные методы исследований, которые позволяют получить достоверную информацию.

#### 2.2.1 Рентгенофазовый анализ

Рентгенофазовый анализ основан на явлении дифракции рентгеновских лучей, суть которого заключается в изучении дифракционной картины, получаемой при отражении рентгеновских лучей плоскостью атомов в кристаллической структуре.

Для количественного определения используется уравнение Вольфа-Брэггов:

$$2d\sin\theta = n\lambda, \quad (4)$$

где,  $d$  – межплоскостное расстояние, нм;

$\theta$  – угол падения луча на плоскость, град.;

$n$  – порядок дифракции (целое число);

$\lambda$  – длина волны монохроматического излучения, нм.

Физический смысл уравнения – если разность хода равна целому числу волн, то колебания усиливают друг друга и на рентгенограмме появляется максимум [29].

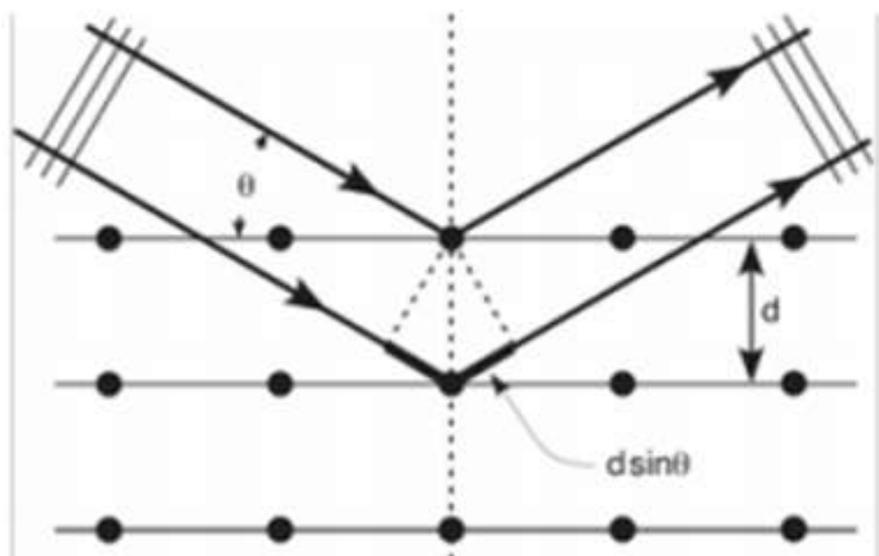


Рисунок 2.1 – Схема падения и отражения рентгеновского луча

Для исследования исходных материалов, а также продукта синтеза использовался рентгеновский дифрактометр ДРОН-3М с  $\text{CuK}\alpha 1$  излучением. Дифрактограммы образцов снимали в диапазоне углов дифракции от 10 до 80 град. Расшифровку дифрактограмм проводили в программе Crystallographica Search Match ver1.1, база данных PDF 1997г.

### 2.2.2 Растровая электронная микроскопия

Электронная микроскопия – это незаменимый метод исследования для наглядного изучения формы и размера отдельных кристаллов, частиц и зерен, а также для оценки структурной пористости материала.

Типичный РЭМ инструмент включает электронную пушку, камеру образца, детектор ЭДС, электронную консоль и мониторы визуального

отображения. Растровый электронный микроскоп (РЭМ) использует сфокусированный луч электронов высокой энергии для генерации множества сигналов на поверхности твёрдых образцов. Сигналы, возникающие в результате взаимодействия электронов с образцом, раскрывают информацию об образце, в том числе внешнюю морфологию (текстуру), химический состав, кристаллическую структуру и ориентацию материалов, составляющих образец. На рисунке 2.2 представлена схема работы РЭМ.

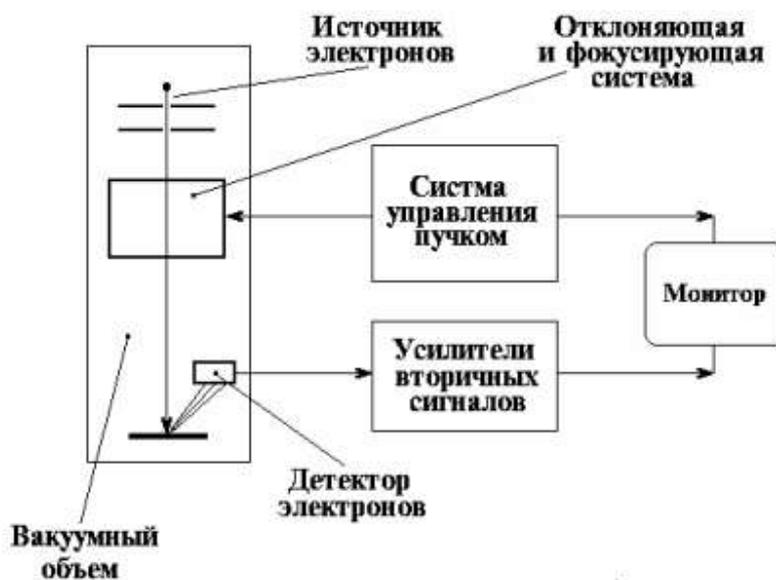


Рисунок 2.2 – Упрощенная схема работы растрового электронного микроскопа

Анализ РЭМ считается "неразрушающим", то есть, рентгеновские лучи, сформированные с помощью электронных взаимодействий, не приводят к объёмным потерям в образце, так что можно анализировать одни и те же материалы повторно.

В работе использовался растровый электронный микроскоп JEOL JSM - 6000 NEOSCOPE (рисунок 2.3). Ускоряющее напряжение электронного пучка – 10-15 кВ. Увеличение проводилось при нанесении на поверхность проводящих покрытий, что позволило получить снимок с увеличением до 9000 раз. Работа осуществлялась в высоком вакууме.



Рисунок 2.3 – Растровый электронный микроскоп JEOL JSM - 6000 NEOSCOPE

### 2.2.3 Методика изготовления аншлифов

Полированный шлиф (аншлиф) представляет собой зеркальную плоскость, получаемую в результате шлифовки и последующей полировки образца.

Процесс изготовления аншлифа можно разделить на этапы:

- предварительный осмотр и распиловка образца;
- заливка образцов эпоксидной смолой;
- распилов и шлифовка полученной плоскости – для подготовки шлифа к полировке;
- полировка.

На этапе предварительного осмотра и распиловки производят общий осмотр образца: изучают на наличие открытых трещин, определяют характер включений, учитывают текстурные особенности, которые влияют на выбор плоскости для изготовления аншлифа и дальнейший процесс полировки.

После того, когда выбрана плоскость для шлифовки, ее вырезают из образца на камнерезном станке. Полученные части образца помещают в форму для заливки в эпоксидной смоле. После затвердевания полученные образцы извлекают и начинают обрабатывать рабочую плоскость на шлифовальном диске.

Размер площади полировального шлифа составляет  $2 \text{ см}^2 - 4 \text{ см}^2$ ; толщина не должна превышать 1-1,5 см.

Шлифовка полученной плоскости – это трудоемкий процесс, направленный на подготовку аншлифа к полировке. Полировка производится обычно в несколько этапов при последовательно убывающей крупности зерна шлифпорошка. Постепенный переход от более грубых порошков к более тонким сопровождается тщательным прополаскиванием аншлифа в воде и мытьем станка. Целью перехода является создание тонкой шероховатости у рабочей плоскости. Добиться цели возможно если, во время перехода от одной стадии шлифовки к следующей необходимо, удастся не только сошлифовать шероховатость, созданную в предыдущей стадии, но и снять некоторую толщину аншлифа, в пределах которой возможны поверхностные дефекты (поры, сколы и трещины).

Полировка является заключительным этапом изготовления аншлифов. Полировка производится чаще механически (на вращающемся диске) и реже вручную. Диск или доска для полировки обтягиваются сукном или другой подходящей материей, и весь процесс осуществляется с применением полирующих веществ, чаще всего, с применением алмазной пасты [30].

#### **2.2.4 Определение адгезии металлизации к керамике**

Определение адгезии пленки к керамической подложке заключается в измерении усилия, необходимого для отрыва покрытия от керамики.

Контроль адгезии пленки к керамической подложке после вжигания пленки проводят на двух любых площадках размером (2x2) мм пяти контрольных образцов.

Контрольные образцы обезжиривают путем помещения в банку с ксилолом на 57 мин, затем сушат их на воздухе в течение 30-60 с. Далее образец с помощью пинцета погружают в вертикальную ванну с расплавленным до 230-

240 °С припоем на  $5 \pm 0,5$ с. Поверхность расплавленного припоя в ванне должна быть чистой и блестящей. Через 5-10 секунд удаляют остатки флюса с плат, ополоснув их в ксилоле.

Облуживают десять проволочек длиной не менее 70мм.

Проводят припайку приложенной проволоки на площадку линейными размерами сторон 2 мм паяльником в течение не более 5 секунд. Температура жала паяльника при этом составляет 340-360 °С. Выдерживают подложки с припаянной проволокой не менее 4 часов в нормальных условиях.

Отгибают проволоку вверх под углом 90° к подложке на расстоянии 2-3 мм от места пайки. Устанавливают подложку с припаянной проволокой в держатель разрывной машины, увеличивают нагрузку от нулевого значения до величины, соответствующей усилию отрыва проволоки. Скорость подачи нагрузки должна быть 70-74 мм/мин. На механическом счетчике разрывной машины считывают величину адгезии, выраженную в Ньютонах. Рассчитывают среднее значение адгезии на пяти контрольных образцах [31].

### **2.2.5 Определение свойств пасты**

Важную роль в обеспечении характеристик трафаретной печати играют реологические свойства паст.

Одним из важнейших свойств металлизационной пасты является вязкость.

Сущность контроля вязкости паст заключается в измерении диаметра пятна, образующегося из навески пасты при воздействии груза массой  $250 \pm 1$ г.

Взвешивают навеску пасты массой  $0,15 \pm 0,01$ г на чистой, предварительно протертой изопропиловым спиртом или ацетоном стеклянной пластине размером  $(60 \times 60) \pm 5$ мм, расположив пасту в центре пластины. При этом паста должна занимать минимальную площадь и не должна быть размазана по пластине.

Накрывают навеску пасты вторым чистым стеклом, в центре которого эпоксидной смолой приклеен груз массой  $250 \pm 1$  г.

Выдерживают в таком состоянии навеску пасты в течение 15 мин.

Измеряют, не разнимая стекло, диаметральный размер пятна в двух взаимоперпендикулярных направлениях и вычисляют среднее значение. За условную вязкость принимают среднее значение размера пятна по трем навескам, отобранным из разных областей емкости со средней пробой [26].

## ГЛАВА 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов.

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

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- организовать работы по научному исследованию;
- осуществить планирование этапов выполнения исследования;
- оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения научного исследования;
- рассчитать бюджет проводимого научно-технического исследования;
- произвести оценку социальной и экономической эффективности исследования.

Работы проводились в отделении НОЦ Н.М. Кижнера, Томского Политехнического Университета. Исследование проводилось с целью разработки составов паст для металлизации керамических подложек из нитрида алюминия с наилучшими заданными характеристиками. В качестве объекта

исследования была выбрана паста на основе, металла, молибдена с различными добавками, которые изменяют характеристики металлического покрытия.

## **4.1 Предпроектный анализ**

### **4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

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

Главные сферы применения металлизированных керамических изделий на основе нитрида алюминия:

- Производство многослойных микросхем;
- Производство солнечных элементов;
- Производство светодиодов;
- Производство электровакуумных приборов.

Основные потенциальные потребители результатов исследования:

- ЗАО «НЭВЗ-КЕРАМИКС», г. Новосибирск – производство керамических подложек и корпусов микросхем;
- АО "НПП "Исток" им. Шокина", г. Фрязино – производство электровакуумных приборов.

### **4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

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

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

На сегодняшний день основные производители металлизированных подложек – это Япония (Kyocera и Maruwa). В России ведущими производителями являются ЗАО «НЭВЗ-КЕРАМИКС» - конкурент 1, которое находится в Новосибирской области и АО "НПП "Исток" им. Шокина" (г. Фрязино) – конкурент 2.

Подложки должны обладать хорошей теплопроводностью, т.е. быстро отводить тепло, низким коэффициентом теплового расширения. Хорошими диэлектрическими свойствами, которые показывают, насколько хорошим изолятором являются подложки. Поверхность должна быть качественной (без пор, без пузырьков, трещин), т.к. это снижает теплопроводность и изоляцию.

Анализ конкурентных решений проводится с помощью оценочной карты (таблица 4.1), где Ф – разрабатываемый проект, к1 – конкурент 1 к2 – конкурент 2.

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>Ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>Ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Термическая стойкость	0,07	4	4	4	0,28	0,28	0,28
2. Высокая теплопроводность	0,09	4	4	4	0,36	0,36	0,36
3. Удельное электрическое сопротивление	0,07	4	4	4	0,28	0,28	0,28
4. Твердость	0,07	5	4	4	0,35	0,28	0,28
5. Коэффициент теплового расширения	0,08	5	5	4	0,40	0,40	0,32
6. Прочность на изгиб	0,06	5	4	4	0,30	0,24	0,24
7. Хорошая изоляция	0,08	5	5	5	0,40	0,40	0,40
8. Качество поверхности	0,07	5	4	4	0,35	0,28	0,28
9. Плотность	0,09	4	4	4	0,36	0,36	0,36

10. Механическая и химическая стойкость, стойкость при высоких температурах	0,08	4	5	5	0,32	0,40	0,40
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Уровень проникновения на рынок	0,07	3	4	4	0,21	0,28	0,28
2. Цена	0,08	5	4	4	0,40	0,32	0,32
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0,09	4	4	4	0,36	0,36	0,36
Итого	1	57	55	54	4,37	4,24	4,16

Критерии оценки подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Вес показателей в сумме должны составлять 1. Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i$$

где: K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл i-го показателя.

Анализ конкурентных технических решений показывает, что данная научно - исследовательская разработка является конкурентоспособной и имеет преимущества по таким показателям, как твердость, прочность на изгиб, качество поверхности и цена. Однако уязвимость разрабатываемого проекта в том, что у него малый уровень проникновения в рынок.

#### 4.1.3 SWOT-анализ

SWOT – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта (таблица 4.2). Применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Анализ проводится в 3 этапа.

*Первый этап* заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Таблица 4.2 – Матрица SWOT-анализа

<p>Сильные стороны</p> <p>С1. Безотходное производство</p> <p>С2. Высокая термическая стойкость;</p> <p>С3. Хорошая гибкость</p> <p>С4. Высокая теплопроводность</p>	<p>Слабые стороны</p> <p>Сл1. Высокие требования к продукту</p> <p>Сл2. Использование импортного сырья</p>
<p>Возможности</p> <p>В1. Использование нетоксичного нитрида алюминия</p> <p>В2. Инновационные достижения в области керамики (НИОКР)</p> <p>В3. Появление дополнительного спроса на улучшенный продукт</p>	<p>Угрозы</p> <p>У1. Высокая стоимость оборудования (замена, ремонт)</p> <p>У2. Производители с более развитыми технологиями</p> <p>У3. Потеря поставщиков</p> <p>У4. Изменение валютных курсов</p> <p>У5. Сложность продвижения</p>

*Второй этап* состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды.

Интерактивная матрица проекта представлена в таблице 4.3. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Таблица 4.3 – Интерактивная матрица проекта

		Сильные стороны проекта			
		С1.	С2.	С3.	С4.
Возможности проекта	В1.	+	+	+	+
	В2.	-	+	+	+
	В3.	+	+	+	+

		Слабые стороны проекта	
		Сл1.	Сл2.
Возможности проекта	В1.	+	+
	В2.	-	-
	В3.	-	-

		Сильные стороны проекта			
		С1.	С2.	С3.	С4.
Угрозы					

	У1.	-	+	+	+
	У2.	-	-	+	-
	У3.	-	-	-	-
	У4.	-	+	+	+
	У5.	-	-	-	-

		Слабые стороны проекта	
		Сл1.	Сл2.
Угрозы	У1.	+	-
	У2.	+	-
	У3.	+	+
	У4.	+	+
	У5.	-	-

В рамках *третьего этапа* должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа (таблица 4.4).

Таблица 4.4 –SWOT-анализ

	<p><b>Сильные стороны</b></p> <p>С1. Безотходное производство</p> <p>С2. Высокая термическая стойкость;</p> <p>С3. Хорошая гибкость</p> <p>С4. Высокая теплопроводность</p>	<p><b>Слабые стороны</b></p> <p>Сл1. Высокие требования к продукту</p> <p>Сл2. Использование импортного сырья</p>
<p><b>Возможности</b></p> <p>В1. Использование нетоксичного нитрида алюминия</p> <p>В2. Инновационные достижения в области керамики (НИОКР)</p> <p>В3. Появление дополнительного спроса на улучшенный продукт</p>	<p>1. Применение в сложных деталях, тем самым расширение области применения</p> <p>2. Подбор состава для улучшения свойств и качества продукта</p>	<p>1. Расширить области применения за счет экологичности и улучшения качества по сравнению с другими нитридами</p> <p>2. Анализ слабых сторон конкурентов и сосредоточение на этих свойствах в своем продукте</p>
<p><b>Угрозы</b></p> <p>У1. Высокая стоимость оборудования (замена, ремонт)</p> <p>У2. Производители с более развитыми технологиями</p> <p>У3. Потеря поставщиков</p> <p>У4. Изменение валютных курсов</p> <p>У5. Сложность продвижения</p>	<p>1. Совершенствование методики и состава подложки, в соответствии с конкурентными преимуществами</p> <p>2. Переход на отечественное сырье</p> <p>3. Создание собственного оборудования для производства пленок</p>	<p>1. Разработать более качественный продукт</p> <p>2. участие в грантах и конкурсах</p> <p>3. Поддержка инвесторами</p>

#### 4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла ни находилась научная разработка, полезно оценить степень её готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для её проведения (или завершения). В таблице 4.5 показаны оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации.

При проведении анализа по таблице, по каждому показателю ставится оценка по пятибалльной шкале. При оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Таблица 4.5 – Оценка степени готовности проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
	Определен имеющийся научно-технический задел	3	3
	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	5	4
	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	4
	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	4
	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	5	4
	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	5	4
	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	5	4

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	5	4
	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	5	4
	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	5	4
	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	4	4
	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	4	4
	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	4	4
	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	4	4
	Проработан механизм реализации научного проекта	4	3
	<b>ИТОГО БАЛЛОВ</b>	<b>67</b>	<b>58</b>

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i$$

где:  $B_{\text{сум}}$  – суммарное количество баллов по каждому направлению;

$B_i$  – балл по  $i$ -му показателю.

Значение  $B_{\text{сум}}$  позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации.

Для показателя степени проработанности проекта  $B_{\text{сум}}=67$ , что входит в интервал  $60 \div 75$ . Перспективность высокая.

Для показателя уровня имеющихся знаний у разработчика  $B_{\text{сум}}=58$ , что входит в интервал  $45 \div 59$ . Перспективность выше среднего.

#### **4.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования**

Для коммерциализации результатов, проведенного исследования будут использоваться следующие методы: торговля патентными лицензиями и передача интеллектуальной собственности.

Торговля патентными лицензиями будет предполагать передача третьим лицам права использования объектов интеллектуальной собственности на лицензионной основе. При этом в патентном законодательстве выделяющие виды лицензий: исключительные (простые), исключительные, полные лицензии, сублицензии, опционы.

Передача интеллектуальной собственности будет производиться в уставной капитал предприятия или государства.

Данные методы коммерциализации будут наиболее продуктивными в отношении данного проекта.

## 4.2 Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта (таблица 4.6).

Таблица 4.6 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
НИ ТПУ	Патентование изобретения, финансирование инновационного проекта, заключение новых хоз.договоров
Кафедра ТСН	Разработка состава металлизационной пасты на основе молибдена для керамики на основе AlN.
ЗАО «НЭВЗ-КЕРАМИКС»	Совместная реализация проекта и сбыт готовой продукции
АО "НПП "Исток"	

В таблице 4.7 представлена иерархия целей проекта и критерии достижения целей.

Таблица 4.7 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Разработать состав металлизационной пасты для керамики на основе AlN.
Ожидаемые результаты проекта:	Разработка состава металлизационной пасты на основе молибдена для керамики на основе AlN.
Критерии приемки результата проекта:	Соответствие свойств металлизационного покрытия указанным требованиям
Требования к результату проекта:	Требование:
	Вакуумная плотность, герметичность соединения.
	Прочность сцепления металлизационного покрытия с керамикой.
	Смачиваемость металлизационного покрытия жидким припоем и обеспечение с ним прочного сцепления.
	Высокая проводимость полученного металлизационного покрытия на основе пасты из молибдена.

В таблице 4.8 представлена организационная структура проекта (роль каждого участника, их функции, трудозатраты).

Таблица 4.8 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1.	Дитц А. А., НИ ТПУ, доцент 0,5 ставки НОЦ Н.М. Кижнера	Руководитель проекта	Выбор направления исследований, формулировка темы, консультации и обсуждение полученных результатов	600
2.	Бардовский И.А., магистрант ХТ ИШНПТ	Исполнитель по проекту	Разработка плана работ, выполнение работ, обсуждение полученных результатов	1600
ИТОГО:				2200

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» – параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованными в рамках данного проекта (таблица 4.9).

Таблица 4.9 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	1098857,1
3.1.1. Источник финансирования	НИ ТПУ
3.2. Сроки проекта:	01.09.2020-31.05.2022
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	15.09.2020
3.2.2. Дата завершения проекта	31.05.2022

### 4.3 Планирование управления научно-техническим проектом

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

План управления научным проектом должен включать в себя следующие элементы:

- иерархическая структура работ проекта;
- контрольные события проекта;
- план проекта;
- бюджет научного исследования.

#### 4.3.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта (рисунок 4.1).



Рисунок 4.1 – Иерархическая структура работ

### 4.3.2 План проект

В рамках планирования научного проекта построены календарный график проекта (таблица 4.10, 4.11).

Таблица 4.10– Календарный план проекта

Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
Утверждение темы магистерской диссертации	7	01.09.19	07.09.19	Дитц А.А. Бардовский И.А.
Согласование плана работ	7	08.09.19	15.09.19	Дитц А.А. Бардовский И.А.
Литературный обзор	138	16.09.19	31.01.20	Бардовский И.А.
Обработка полученных данных и обсуждение результатов	292	01.02.20	20.12.20	Дитц А.А. Бардовский И.А.

Написание отчета	162	21.12.20	31.05.21	Бардовский И.А.
Итого:	606			



#### 4.4 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты сгруппированы по статьям. В данном исследовании выделены следующие статьи:

1. Сырье, материалы, полуфабрикаты;
2. Специальное оборудование для научных работ;
3. Заработная плата;
4. Отчисления на социальные нужды;
5. Научные и производственные командировки;
6. Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями;
7. Накладные расходы.

*Сырье, материалы, полуфабрикаты (за вычетом отходов).* В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме (таблица 4.12).

Таблица 4.12 – Расчет затрат по статье «Сырье и материалы»

Наименование	Количество, шт	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Тетрадь	2	40,0	80,0
Ручка шариковая	3	31,0	93,0
Ластик	2	20	40,0
Печать	150	2	300,0
Зип-пакеты	38	8	304,0
Изопропиловый спирт, 1 литр	1	115	115
Этиловый спирт, 1 литр	2	59	118
Порошок нитрида алюминия, 1 кг	1	8700	8700
Порошок молибдена, 1 кг	1	1200	1200

Этилцеллюлоза, 1 литр	1	500	500
Альфа-терипиниол, 1 литр	1	1000	1000
Добавки	1	2500	2500
Всего за материалы	14950		
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)			747,5
<b>Итого по статье</b>			<b>15697,5</b>

*Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.* В данную статью включены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ по теме НИР (таблица 4.13).

Таблица 4.13 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1	Компьютер (HP)	1	30000,0	30000,0
2	Программное обеспечение MicrosoftOffice	1	5990,0	5990,0
3	Сушильный шкаф	1	30000	30000
4	Трубчатая печь	1	50000	50000
5	Разрывная машина	1	45000	45000
Итого, руб.:				160990

*Расчет основной заработной платы.* В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. Расчет основной заработной платы сводится в таблице 4.14.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

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

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата

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

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}},$$

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

$T_{\text{раб}}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

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

где:  $Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

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

Расчет заработной платы научно – производственного и прочего персонала проекта проводили с учетом работы 2-х человек – научного руководителя и исполнителя. Баланс рабочего времени исполнителей представлен в таблице 4.14.

Таблица 4.14 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистрант
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	99	99
- выходные дни	14	14
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	24	24
- отпуск	14	14
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	212	212

Месячный должностной оклад работника:

$$З_m = З_б * (1 + k_{пр} + k_d) * k_p, \text{ где}$$

$З_б$  – базовый оклад, руб.;

$k_{пр}$  – премиальный коэффициент (определяется Положением об оплате труда);

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок;

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

При расчете заработной платы научно-производственного и прочего персонала проекта учитывались месячные должностные оклады работников, которые рассчитывались по формуле:

$$З_m = З_б * K_p, \text{ где}$$

$З_б$  – базовый оклад, руб.;

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

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 4.15.

Таблица 4.15 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$З_б$ , руб.	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$З_m$ , руб.	$З_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$З_{осн}$ , руб.
Руководитель	33664	-	0,02	1,3	52515,84	2774,4	212	588177,4
Магистрант	1906	-	-	1,3	2477,8	130,9	212	27751,4

*Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала.* В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы).

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} * k_{\text{доп}}$ , где

$Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата, руб.

В таблице 4.16 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 4.16 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Магистрант
Основная зарплата	588177,4	27751,4
Дополнительная зарплата	58817,7	2775,1
Итого по статье $C_{\text{зп}}$	646995,1	<b>30526,5</b>

*Отчисления на социальные нужды.* Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}})$ , где

$k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчисления на уплату во внебюджетные фонды.

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году, водится пониженная ставка – **27,1%**. Стипендиальные выплаты студентам, магистрам и аспирантам не облагаются налогом.

Отчисления на социальные нужды составляют:

$C_{\text{внеб}} = 0,271 \cdot (588177,4 + 58817,7) = 175335,7$  рублей

*Научные и производственные командировки.* В эту статью включаются расходы по командировкам научного и производственного персонала, связанного с непосредственным выполнением конкретного проекта, величина которых принимается в размере 10% от основной и дополнительной заработной платы всего персонала, занятого на выполнении данной темы.

Затраты на научные и производственные командировки составляют

Таблица 4.17 – Научные и производственные командировки.

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель	588177,4	58817,7
Магистрант	27751,4	2775,1
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,1	
Итого:	67752,2	

*Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями.*

На эту статью расходов в данном проекте относится использование Internet. Величина этих расходов определялась по договорным условиям и составляет 1560 руб.

Итого на оплату работ выходит 1560 руб.

*Накладные расходы.*

Величина накладных расходов определяется по формуле

$$Z_{\text{накл}} = k_{\text{нр}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}})$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов  $k_{\text{нр}}$  допускается взять в размере 16%. Таким образом, накладные расходы на данные НТИ составят:

$$Z_{\text{накл}} = 0,16 \cdot 677521,6 = 108403,5$$

Таким образом, затраты проекта составляет 847228,2, которые приведены в таблице 4.18.

Таблица 4.18 – Затраты научно-исследовательской работы

Вид исследования	Затраты по статьям									
	Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	Основная заработная плата	Доп-ая заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Научные и производственные командировки	Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями	Прочие прямые расходы	Накладные расходы	Итого плановая себестоимость
Данное исследование	15697,5	160990	615928,8	61592,9	175335,7	67752,2	1560	-	108403,5	<b><u>1098857,1</u></b>

Основным пунктом затрат НИИ являются затраты по основной заработной плате исполнителей.

#### 4.4.1 Организационная структура проекта

Из нескольких базовых вариантов организационных структур, используемых в практике, была выбрана проектная. Проектная организационная структура проекта представлена на рисунке 4.2.



Рисунок 4.2 – Проектная структура проекта

#### 4.4.2 План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта (таблица 4.19).

Таблица 4.19 – План управления коммуникациями

№ п/п	Какая информация передается	Кто передает информацию	Кому передается информация	Когда передает информацию
	Статус проекта	Магистрант	Руководителю	Еженедельно (понедельник)
	Обмен информацией о текущем состоянии проекта	Магистрант	Руководителю	Ежемесячно (конец месяца)
	Документы и информация по проекту	Магистрант	Руководителю	Не позже сроков графиков и к. точек
	О выполнении контрольной точки	Магистрант	Руководителю	Не позже дня контрольного события по плану управления

#### 4.4.3 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты.

Информация по возможным рискам сведена в таблицу 4.20.

Таблица 4.20 – Реестр рисков

Риск	Вероятность наступления	Влияние риска	Уровень риска	Способы смягчения риска
<b>Технические риски</b>				
Требования	1	4	средний	Отслеживание изменений требований к материалам, с помощью которых проводится исследование. Постоянный поиск путей оптимизации производства.
Технология	1	3	низкий	
Использование ненадежных источников	2	4	средний	
Качество	2	4	средний	
<b>Внешние риски</b>				
Качество предоставляемых расходных материалов	2	4	низкий	Изучение конъюнктуры рынка. Страхование имущества. Изучение изменений в российском законодательстве. Определение мер поощрений и наказаний по отношению к рабочим.
Предписания контролирующих органов	3	3	средний	
Рынок	3	4	средний	
Непредвиденные обстоятельства	1	4	средний	
Изменения российского законодательства	4	5	высокий	
Небрежность и недобросовестность сотрудников	3	3	низкий	

#### **4.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности**

#### 4.5.1 Оценка абсолютной эффективности исследования

В основе проектного подхода к инвестиционной деятельности предприятия лежит принцип денежных потоков. Особенностью является его прогнозный и долгосрочный характер, поэтому в применяемом подходе к анализу учитываются фактор времени и фактор риска. Для оценки общей экономической эффективности используются следующие основные показатели:

- чистая текущая стоимость (NPV);
- индекс доходности (PI);
- внутренняя ставка доходности (IRR);
- срок окупаемости (DPP).

*Чистая текущая стоимость (NPV)* – это показатель экономической эффективности инвестиционного проекта, который рассчитывается путём дисконтирования (приведения к текущей стоимости, т.е. на момент инвестирования) ожидаемых денежных потоков (как доходов, так и расходов).

Расчёт NPV осуществляется по следующей формуле:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{опt}}{(1+i)^t} - I_0$$

где: ЧДП<sub>опt</sub> – чистые денежные поступления от операционной деятельности;

$I_0$  – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году;

$t$  – номер шага расчета ( $t= 0, 1, 2 \dots n$ )

$n$  – горизонт расчета;

$i$  – ставка дисконтирования (желаемый уровень доходности инвестируемых средств).

Расчёт NPV позволяет судить о целесообразности инвестирования денежных средств. Если  $NPV > 0$ , то проект оказывается эффективным.

Расчет чистой текущей стоимости представлен в таблице 4.21. При расчете рентабельность проекта составляла **20-25 %**, норма амортизации - 10 %.  
 $Ag = \text{Сперв} * \text{На} / 100$ ,  $\text{себ} = \underline{1098857,1 \text{ р.}}$ ,  $\text{Выручка} = \text{себестоимость} * 1,2 =$

Таблица 4.21 – Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

№	Наименование показателей	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Выручка от реализации, руб.	0	<b>1318628,5</b>	<b>1318628,5</b>	<b>1318628,5</b>	<b>1318628,5</b>
2	Итого приток, руб.	0	1318628,5	1318628,5	1318628,5	1318628,5
3	Инвестиционные издержки, руб.	- <b>1098857,1</b>	0	0	0	0
4	Операционные затраты, руб. (35% от бюджета)	0	461519,9	461519,9	461519,9	461519,9
5	Налогооблагаемая прибыль(1-4)	0	857108,5	857108,5	857108,5	857108,5
6	Налоги 20 %, руб.(5*20%)	0	171421,7	171421,7	171421,7	171421,7
8	Чистая прибыль, руб.(5-6)	0	685686,8	685686,8	685686,8	685686,8
9	Чистый денежный поток (ЧДП), руб.(чистая прибыль+амортизация)	- 1098857,1	795572,5	795572,5	795572,5	795572,5
10	Коэффициент дисконтирования при $i=20\%$ (КД)	1	<u>0,833</u>	<u>0,694</u>	<u>0,578</u>	<u>0,482</u>
11	Чистый дисконтированный денежный поток (ЧДД), руб.(9*10)	- 1098857,1	<b>662711,9</b>	<b>552127,3</b>	<b>459840,9</b>	<b>383466,0</b>
12	$\Sigma$ ЧДД		<b>2058146,2 руб.</b>			
12	Итого NPV, руб.		<b>959289,1 руб.</b>			

$$NPV = 2058146,2 \text{ руб.} - 1098857,1 = 959289,1 \text{ руб.} > 0$$

Коэффициент дисконтирования рассчитан по формуле:

$$КД = \frac{1}{(1 + i)^t}$$

где:  $i$  – ставка дисконтирования, 20 %;

$t$  – шаг расчета.

Таким образом, чистая текущая стоимость по проекту в целом составляет 959289,1 рублей, что позволяет судить об его эффективности.

*Индекс доходности (PI)* – показатель эффективности инвестиции, представляющий собой отношение дисконтированных доходов к размеру инвестиционного капитала. Данный показатель позволяет определить инвестиционную эффективность вложений в данный проект. Индекс доходности рассчитывается по формуле:

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_t}{(1+i)^t} / I_0 > 1$$

где: ЧДД - чистый денежный поток, руб.;

$I_0$  – начальный инвестиционный капитал, руб.

Таким образом PI для данного проекта составляет:

$$PI = \frac{2058146,2}{1098857,1} = 1,87$$

Так как  $PI > 1$ , то проект является эффективным.

*Внутренняя ставка доходности (IRR)*. Значение ставки, при которой обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или IRR. Формальное определение «внутренней ставки доходности» заключается в том, что это та ставка дисконтирования, при которой суммы дисконтированных притоков денежных средств равны сумме дисконтированных оттоков или =0. По разности между IRR и ставкой дисконтирования  $i$  можно судить о запасе экономической прочности инвестиционного проекта. Чем ближе IRR к ставке дисконтирования  $i$ , тем больше риск от инвестирования в данный проект.

Между чистой текущей стоимостью (NPV) и ставкой дисконтирования ( $i$ ) существует обратная зависимость. Эта зависимость представлена в таблице 4.22 и на рисунке 4.3.

Таблица 4.22 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

№	Наименование показателя	0	1	2	3	4	NPV, руб.
1	Чистые денежные потоки, руб.	- 1098857,1	795572,5	795572,5	795572,5	795572,5	
2	Коэффициент дисконтирования						
	0,1	1	<b>0,909</b>	0,826	0,751	0,683	
	0,2	1	0,833	0,694	0,578	0,482	

	0,3	1	0,769	0,592	0,455	0,350		
	0,4	1	0,714	0,510	0,364	0,260		
	0,5	1	0,667	0,444	0,295	0,198		
	0,6	1	0,625	0,390	0,244	0,153		
	0,7	1	0,588	0,335	0,203	0,112		
	0,8	1	0,556	0,309	0,171	0,095		
	0,9	1	0,526	0,277	0,146	0,077		
	1	1	0,500	0,250	0,125	0,062		
3	Дисконтированный денежный поток, руб.							
	0,1	- 1098857,1	723175,4	657142,9	597474,9	543376,0	1422312,2	
	0,2	- 1098857,1	662711,9	552127,3	459840,9	383465,9	959289,0	
	0,3	- 1098857,1	611795,3	470978,9	361985,5	278450,4	624352,9	
	0,4	- 1098857,1	568038,8	405742,0	289588,4	206848,9	371360,9	
	0,5	- 1098857,1	530646,9	353234,2	234693,9	157523,4	177241,2	
	<b>0,6</b>	- 1098857,1	497232,8	310273,3	194119,7	121722,6	24491,3	
	<b>0,7</b>	- 1098857,1	467796,6	266516,8	161501,2	89104,1	-113938,3	
	0,8	- 1098857,1	442338,3	245831,9	136042,9	75579,4	-199064,6	
	0,9	- 1098857,1	418471,1	220373,6	116153,6	61259,1	-282599,7	
	1,0	- 1098857,1	397786,3	198893,1	99446,6	49325,5	-353405,7	

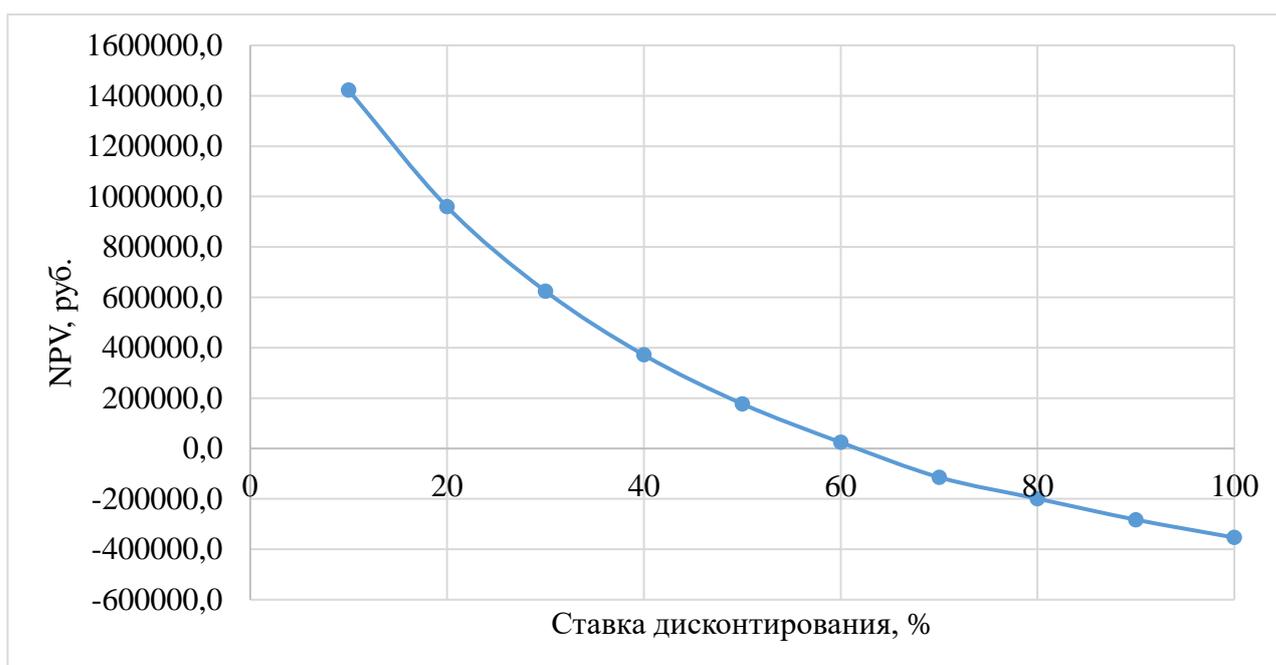


Рисунок 4.3 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

Из таблицы и графика следует, что по мере роста ставки дисконтирования чистая текущая стоимость уменьшается, становясь отрицательной. Значение ставки, при которой NPV обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или «внутренней нормы прибыли». Из графика получаем, что IRR составляет 0,61.

$IRR > i$ , проект эффективен.

Запас экономической прочности проекта:  $61\% - 20\% = 41\%$

*Дисконтированный срок окупаемости.* Как отмечалось ранее, одним из недостатков показателя простого срока окупаемости является игнорирование в процессе его расчета разной ценности денег во времени.

Этот недостаток устраняется путем определения дисконтированного срока окупаемости. То есть это время, за которое денежные средства должны совершить оборот.

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока (таблица 4.23).

Таблица 4.23 – Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателя	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Дисконтированный чистый денежный поток ( $i=0,20$ ), руб.	-1098857,1	662711,9	552127,3	459840,9	383466,0
2	То же нарастающим итогом, руб.	-1098857	-436145	115982,1	575823	959289
3	Дисконтированный срок окупаемости	<b><math>DPP_{диск} = 1 + (436145 / 552127,3) = 1,79</math></b> года				

#### 4.5.2 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его

нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}$$

где  $I$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

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

$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 1098857,1$  руб,  $\Phi_{\text{исп.1}} = 1253450,91$  руб,  $\Phi_{\text{исп.2}} = 1292755,62$  руб.

$$I_1 = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{1098857,1}{1292755,62} = 0,85$$

$$I_2 = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{1253450,91}{1292755,62} = 0,97$$

$$I_3 = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{139755,62}{1292755,62} = 1$$

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

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

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

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

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

$n$  – число параметров сравнения.

Сравнительная оценка характеристик вариантов объекта представлена в таблице 4.24. Рассчитанная сравнительная ресурсоэффективность разработки представлена в таблице 4.25.

$$I_{p\text{-исп1}} = (0,16 \cdot 5 + 0,35 \cdot 5 + 0,07 \cdot 5 + 0,07 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,05 \cdot 4) = 4,78$$

$$I_{p\text{-исп2}} = (0,16 \cdot 3 + 0,35 \cdot 3 + 0,07 \cdot 4 + 0,07 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,05 \cdot 3) = 3,64$$

$$I_{p-исп3} = (0,16 \cdot 3 + 0,35 \cdot 5 + 0,07 \cdot 5 + 0,07 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,05 \cdot 4) = 4,53$$

Таблица 4.24 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта.

Объект исследования / Критерий	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп. 2	Исп. 3
1. Время производства	0,16	5	3	3
2. Адгезия	0,35	5	3	5
3. Реологические свойства	0,07	5	4	5
4. Диэлектрическая проницаемость	0,07	4	4	5
5. Конкурентоспособность продукта	0,1	4	4	4
6. Цена	0,2	5	5	5
7. Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	4	3	4
Итого:	1	4,78	3,64	4,53

**Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки** определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = I_{p-исп.i} / I_i$$

Из расчетов выявлено, что текущий проект по интегральному показателю ресурсоэффективности вариантов является выгодным и превосходит аналоги. Данный проект является научной разработкой, поэтому интегральный финансовый показатель разработки не рассчитывается.

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет судить о приемлемости текущей разработки и позиции финансовой и ресурсной эффективности.

Таблица 4.25 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки, $I_{финр}$	0,85	0,97	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки, $I_p$	4,78	3,64	4,53

3	Интегральный показатель эффективности, <i>I</i>	5,62	3,75	4,53
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,5	1	1,21

Выводы: с целью полной оценки стоимости проведения научного исследования был сформирован его бюджет. Все имевшееся на момент начала проведения исследования химическое сырье было принято, как вновь купленное по текущим ценам.

В данном разделе проанализировали все плюсы и минусы данной работы, с точки зрения экономической части. Сформулировали цели и ожидаемые результаты.

В ходе выполнения раздела финансового менеджмента определена чистая текущая стоимость, (NPV), равная 959289,1 руб.; индекс доходности PI=1,87, внутренняя ставка доходности IRR=61%, срок окупаемости DPP<sub>дск</sub>=1,79 года.

В результате работы над разделом "Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение" определена эффективность проекта, на основании интегрального показателя эффективности, можно сказать, что проект является эффективным.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
4ГМ03		Бардовский Игорь Александрович	
Школа	Инженерная школа новых производственных технологий	Отделение (НОЦ)	Н. М. Кижнера
Уровень образования	Магистратура	Направление/ специальность	18.04.01 Химическая технология

Тема ВКР:

<b>Разработка состава для металлизации алюмонитридной керамики</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<p><b>Введение</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.</li> <li>– Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации</li> </ul>	<p><i>Объект исследования: металлизационная паста на основе молибдена, керамический материал на основе нитрида алюминия.</i></p> <p><i>Область применения: электроника, электротехника, микроэлектроника.</i></p> <p><i>Рабочая зона: лаборатория</i></p> <p><i>Размеры помещения: 9×5,75 м.</i></p> <p><i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны: гидравлический пресс, шаровая мельница, электронные весы, печь для обжига, сушильный шкаф, магнитная мешалка.</i></p> <p><i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: подбор и изготовления состава металлической пасты с наилучшими, требуемыми, характеристиками.</i></p>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p><i>Технический регламент таможенного союза ТР ТС 019/2011 от 9 декабря 2011 года «О безопасности средств индивидуальной защиты»</i></p> <p><i>Приказ Министерства здравоохранения и социального развития РФ от 17 декабря 2010 г. N 1122н</i></p> <p><i>ГОСТ 12.2.049-80 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие эргономические требования</i></p> <p><i>ПНД Ф 12.13.1-03 Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения)</i></p> <p><i>ГОСТ 22269-76 Система "Человек-машина". Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования</i></p>
<p><b>2. Производственная безопасность при разработке:</b></p>	<p><b>Вредные факторы:</b></p> <p><i>Отклонение показателей микроклимата</i></p> <p><i>Отсутствие или недостатка необходимого искусственного освещения</i></p>

<ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</li> <li>– Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора</li> </ul>	<p><i>Повышенный уровень шума</i> <i>Повышенная концентрация вредных веществ в воздухе</i></p> <p><b>Опасные факторы:</b> <i>Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий</i> <i>Движущиеся машины и механизмы</i> <i>Повышенная температура поверхностей оборудования и обрабатываемых материалов</i></p> <p><b>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов:</b> <i>тепловая изоляция нагревательного оборудования, использование защитных костюмов, виброизолирующие рукавицы, перчатки, беруши, наушники, защитные ограждения.</i> <i>Расчет: расчет системы искусственного освещения</i></p>
<p><b>3. Экологическая безопасность при разработке</b></p>	<p><i>Воздействие на селитебную зону: не оказывается.</i> <i>Воздействие на литосферу: утилизация нагревательных, аккумуляторных и осветительных приборов.</i> <i>Воздействие на гидросферу: попадание изопропилового и этилового спирта, шликера, компонентов металлической пасты, и органических связок в воду.</i> <i>Воздействие на атмосферу: выбросы газообразных органических соединений, соединений азота в вентиляционные системы при работе.</i></p>
<p><b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке</b></p>	<p><b>Возможные ЧС:</b> <i>Техногенные аварии (авария электроэнергетических систем, пожар, взрыв).</i></p> <p><b>Наиболее типичная ЧС:</b> <i>Пожар.</i></p>
<p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</p>	

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич Ольга Алексеевна	к.б.н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ГМ03	Бардовский Игорь Александрович		

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Нитрид алюминия – Википедия [Электронный ресурс] // ru.wikipedia.org. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Нитрид\\_алюминия](https://ru.wikipedia.org/wiki/Нитрид_алюминия).
2. Madan A. et al. Stabilization of cubic AlN in epitaxial AlN/TiN superlattices //Physical Review Letters. – 1997. – Т. 78. – №. 9. – С. 1743.
3. Ильин А. П., Громов А. А. Горение алюминия и бора в сверхтонком состоянии //Томск: Изд-во Том. ун-та. – 2002. – Т. 154. – С. 6.
4. Давыдов С. Ю. Оценки параметров нитридов элементов третьей группы: BN, AlN, GaN и InN //Физика и техника полупроводников. – 2002. – Т. 36. – №. 1. – С. 45-47.
5. Самсонов Г. В. Нитриды. - Киев: Наук. Думка, 1969. - 377с.
6. Андреева, Т. В. Теплофизика высоких температур [Текст] / Т. В. Андреева, В. К. Казаков, А. А. Рогозинская. - М.: Металлургия, 1964. -829 с.
7. AlShaikhi A., Srivastava G. P. Theoretical investigations of phonon intrinsic mean-free path in zinc-blende and wurtzite AlN //Physical Review B. – 2007. – Т. 76. – №. 19. – С. 195205.
8. Никитушкин И.В., Аненков Ю.Н. Российская молодежная научная конференция «Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи» Круглый стол 3. Стратегия энергосбережения в энергетике. /Теплопроводная нанокерамика из нитрида алюминия и сопутствующие материалы, полученные методами высокоинтенсивных технологий. 2016, с 58-61.
9. Воронов С.М. Газы в алюминиевых сплавах и методы дегазации расплавов / С.М. Воронов. ОНТИ. – М.: – 1938. – С. 10.
10. Андреева Т.В. Теплофизика высоких температур/ Т.В. Андреева – 1964. – №2. – С. 829.
11. Geffrey G.A. / G.A.Geffrey, G.S Parri // J. Chem. Phys. – 1955. – 22. – P. 201.

12. Long G. / G. Long. L.M. Foster // – J. Electrochem. Soc.. – 1962. – 109. – P. 1176.
13. А. А. Громов. Закономерности процессов получения нитридов и оксинитридов элементов III и IV групп: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 199 с.
14. Slack G. A. et al. The intrinsic thermal conductivity of AlN //Journal of Physics and Chemistry of Solids. – 1987. – Т. 48. – №. 7. – С. 641-647.
15. С. В. Матренин, А. И. Слосман. М 34 Техническая керамика: учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 75 с.
16. В. И. Костенко, В. С. Серегин, Л. А. Грошкова, А.И. Василевич. Перспективы использования высокотеплопроводной керамики из нитрида алюминия в космическом приборостроении. М.: Институт космических исследований РАН. - 7 с.
17. Дитц А. А. Оксинитридные керамические материалы на основе продуктов сжигания промышленных порошков металлов в воздухе: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: спец. 05.17. 11 : дис. – 2006.
18. Керамические подложки и корпуса [Электронный ресурс] // [www.nevz-ceramics.com](http://www.nevz-ceramics.com). URL: <http://www.nevz-ceramics.com/ru/produktyi-i-materialyi/podlozhki.html>.
19. Макаров Н.А. Металлизация керамики: Учебное пособие. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2004. – 76 с.
20. Роткоп Л.Л., Спокойный Ю.Е. Обеспечение тепловых режимов при конструировании радиоэлектронной аппаратуры. - М., 2006.
21. В.Г. Красов, Н. Д. Колдаева, Г. Б. Петраускас. Пасты в микроэлектронике./ Обзоры по электронной технике, серия 6 «Материалы» - 1976, выпуск 2 (365), 56с.
22. Белинская Г.В., Харитонов Ф.Я., Смирнова Е.П., Костюков Н.С. Металлизация и пайка оксидной керамики. Препринт. АмурКНИИ ДВО АН СССР. Владивосток ДВО АН СССР. 1988. 69 с.

23. Патент США №5165983/ Н 05 В 3/10, 24.11.1992.
24. Ю.К. Непочатов, И.Б. Красный, В. Грибанов, С. Кумачева, А.А. Денисова. Выбор составов металлизационных паст и разработка технологии металлизации керамики из нитрида алюминия. Современная электроника. – 2016, №9, с.16 – 19.
25. В.Н. Батыгин, И.И. Метелкин, А.М. Решетников. Вакуумно-плотная керамика и ее спай с металлами. Под ред. Н.Д. Девяткова. М., «Энергия», 1973. – 408 с.
26. Технология изделий электронно-оптической техники: Учебно-методический комплекс. – Минск, 2007. – 145с.
27. Палацкий А.В. Техническая керамика, М.–Л.: Госэнергоиздат, 1959. 173 с.
28. Пат. 1760890. Н 01 В 3/12. Органическое связующее пасты для трафаретной печати/ Ивлюшкин А. Н, Покрывайло А. Б., Устьянцев В. Л., Холостов Н. В., Чуриков С.А. Заявлено 22.05.90; Оpubл. 10.01.97.
29. Рентгенофазовый анализ нанопорошков [Электронный ресурс]: методические указания к выполнению лабораторной работы по курсу «Отрасли nanoиндустрии. Области применения наноматериалов» для магистрантов, обучающихся по направлению 150600 «Материаловедение и технология новых материалов» / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ); сост. И. А. Курзина, А. Ю. Годымчук, А. А. Качаев. — 1 компьютерный файл (pdf; 786 KB). — Томск: Изд-во ТПУ, 2010.
30. Михайленко, Ю. В. Изготовление прозрачных и полированных шлифов: методические указания. – Ухта: УГТУ, 2012. – 43 с.
31. ТУ 6365-006-59839838-2004. Пасты проводниковые на основе драгоценных металлов. – Москва, 2014.
32. Постановление Правительства РФ от 24 декабря 2009 г. N 1213 "Об утверждении технического регламента о безопасности средств индивидуальной защиты".

33. Приказ Министерства здравоохранения и социального развития РФ от 17 декабря 2010 г. N 1122н "Об утверждении типовых норм бесплатной выдачи работникам смывающих и (или) обезвреживающих средств и стандарта безопасности труда "Обеспечение работников смывающими и (или) обезвреживающими средствами".

34. "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ. Статья 100. Режим рабочего времени

35. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»

36. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

37. ГОСТ 12.1.007–76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.

38. ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.

39. ГОСТ 12.2.003–91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.

40. ГОСТ 12.1.003 – 2014. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности

41. СП 52.13330.2016 СНиП 23-05-95\* Естественное и искусственное освещение

42. ГН 2.2.5.1313 – 03. Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

43. Охрана окружающей среды: Учеб. Пособие для студентов вузов / Под ред. Белова С.В. – М.: Высш. Школа, 1983. – 264 с.

44. ГОСТ 12.1.003-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности (с Изменением N 1)

45. Сердюк В. С. Исследование уровней шума при специальной оценке труда: метод. указан. к лаб. работам. – 2015.

46. ГОСТ 12.4.011-89 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.

47. Ветошкин А. Г. Защита литосферы от отходов //Учебное пособие/АГ Ветошкин.–Пенза: Изд-во Пенз. гос. Унта. – 2005.

48. Суфиянов Р. Ш. Утилизация автомобильных аккумуляторов, утративших потребительские свойства //Colloquium-journal. – Голопристанський міськрайонний центр зайнятості= Голопристанский районный центр занятости, 2019. – №. 5-1 (29). – С. 57.

49. Чепелев Н. И., Орловский-Красноярск С. Н. Основы эргономики и безопасность труда. – 2018.

50. ГОСТ 9805-84 Спирт изопропиловый. Технические условия (с Изменением N 1, с Поправкой)

51. ГОСТ 5962-2013 Спирт этиловый ректификованный из пищевого сырья. Технические условия

52. Постановление Правительства РФ от 16.09.2020 N 1479 (ред. от 21.05.2021) "Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации"

53. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 30.04.2021) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности"

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

(справочное)

### CHARTER 1 LITERATURE REVIEW

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ГМ03	Бардовский Игорь Александрович		

Консультант школы ИШНПТ отделения НОЦ им. Н.М. Кижнера:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ревва Инна Борисовна	к.т.н.		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ШБИП	Евсеева Арина Михайловна	Старший преподаватель		

## Literature review

### 1.1 aluminum nitride

#### 1.1.1 general information

Aluminum nitride (aluminum nitride) is an inorganic binary chemical compound of Al with N, first synthesized in 1877, the chemical formula is AlN [1]. Several crystalline modifications of aluminum nitride are known [2]: the most stable (and well-studied) has a hexagonal lattice like wurtzite (w-AlN) (Figure 1.1), and the known metastable phases have a cubic structure like sphalerite (s-AlN) and rock salt (r-AlN).

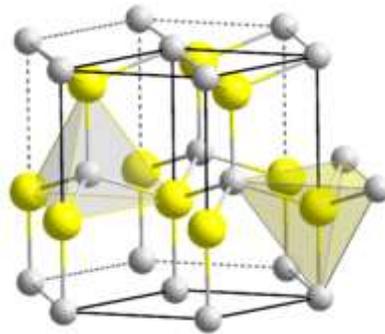


Figure 1.1 - Crystal structure of w-AlN

#### 1.1.2 Physical properties

Aluminum nitride is a (primarily) covalently bonded material that has a hexagonal crystal structure that is analogous to the zinc sulfide structure known as wurtzite. Depending on the degree of purity of the preparation, the values of the lattice periods, according to various data, range from  $a=3,10 - 3,13$ ;  $c=4,93 - 4,98$  Å. Crystallographic group for this structure —  $C_{6v}^4 - P6_3mc$ . Nitrogen is practically insoluble in aluminum [3, 4].

Powdered aluminum nitride is usually white (Figure 1.2), single crystals are watery white (transparent), when contaminated with impurities of aluminum oxycarbide  $Al_2OC$ , the nitride becomes blue or bluish in color.



Figure 1.2 - Powdered aluminum nitride.

Aluminum nitride decomposes into Al and N at high temperatures, which is why it is not possible to accurately record the melting point of aluminum nitride. The temperature of the start of decomposition is determined by the characteristics of the conditions for determining the "melting point". According to various data, this temperature ranges from 2000 to 2500 °C [5].

Knoop hardness (microhardness at a load of 100g) is about 11768 MPa. Hardness on the mineralogical Mohs scale is determined in a wide range (from 5 to 9-10 units). The physical properties of aluminum nitride are most fully studied in [6]. The temperature dependence of the electrical resistance is typical for semiconductors and dielectrics, the calculated AlN band gap is  $\Delta E = 4,26$  eV.

The physical properties of aluminum nitride show that AlN is a typical dielectric with a large band gap (3,8 – 5 eV), high electrical resistance, reaching, according to [5], up to  $10^{20}$   $\Omega \cdot \text{cm}$ .

### 1.1.3 Thermophysical properties

The thermodynamic and heat-conducting properties of AlN, as a ceramic material, are completely determined by phonons. The mean free path of phonons is the

most important physical characteristic, which plays a decisive role in determining such properties [7].

The strength of aluminum nitride at high temperatures (about 1400 °C) can be compared with the strength of oxide ceramics, at ordinary temperatures it is somewhat inferior to them.

Aluminum nitride with a cubic microstructure has a higher thermal conductivity (up to 600 W/m·K) compared to hexagonal aluminum nitride. The thermal conductivity of technical AlN is an order of magnitude lower than the thermal conductivity of dense carborundum and 2–3 times higher than the thermal conductivity of ceramics on Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. As the impurity concentration increases, the thermal conductivity decreases. The change in porosity and phase composition has the greatest effect on the level of thermal conductivity and its temperature dependence [5].

On the whole, the thermal conductivity of polycrystalline ceramics (70–210 W/m·K) is lower than the thermal conductivity of its single crystals (275 W/m·K) [8]. This reduction largely depends on the thermal conductivity and purity of the materials included in the ceramics, the grain sizes of the initial components, the amount of sintering additive, and the characteristics of the sintering process, which is very important, since these factors affect the microstructure of ceramics and, consequently, the mechanism of thermal conductivity. In addition, the decrease in thermal conductivity in polycrystalline ceramics occurs due to two main factors: the random orientation of individual grains and the distribution of random discrete secondary phases.

Thermal expansion at medium temperatures slightly exceeds the thermal expansion of carborundum. At 100-500 °C, the thermal expansion coefficient is  $4,5 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ .

The resistance to thermal shock is high, so during thermal cycles of 2200 - 20 °C, the products do not collapse during several cycles. After 30 heating cycles for 2,5 minutes to 1400°C and rapid cooling to room temperature in air, the strength loss is 12% [5].

#### 1.1.4 Chemical properties

Aluminum nitride is very stable. It has high resistance against oxidation, against the action of molten metals, hot mineral acids, various aggressive gases, dry halogens slowly act on nitride [9-11].

Various strong acids have little effect on aluminum nitride powder. HF also has no effect on AlN. Only a concentrated high-temperature alkaline solution is able to decompose the nitride with the formation of ammonia.

A densely sintered sample of aluminum nitride is more resistant to the negative effects of concentrated acids than a powdered one. Thus, a small dense specimen stably tolerates boiling in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and no damage occurs when exposed to other strong concentrated acids.

Powder oxidation in air begins at a temperature of 1200°C [12].

The corrosion rate under the action of hot gases depends on the density of nitride products.

Aluminum nitride exhibits high resistance to many semiconductor compounds. It is exceptionally resistant to molten GaAs, which makes it possible to use aluminum nitride containers for purification and obtaining single crystals from this semiconductor. It is also stable in contact with graphite up to high temperatures, with tungsten and molybdenum up to 1800°C [5].

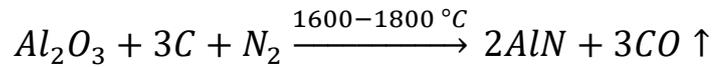
#### 1.1.5 Methods of obtaining

The following variants of AlN synthesis are known and available [13]:

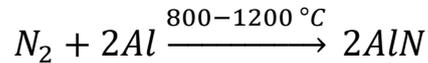
- Carbothermy;
- Nitriding with ammonia Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>;
- Nitriding of metallic Al;
- Nitriding of metallic Al in plasma;
- SHS;

- Decomposition of  $AlCl_3 \cdot NH_3$  and other precursors in the gas phase.

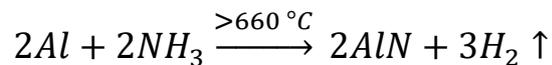
Aluminum nitride is obtained by reducing  $Al_2O_3$  with coal in a nitrogen atmosphere [1]:



Aluminum nitride can also be obtained by nitriding aluminum powder [1]:



When ammonia is passed through aluminum, hydrogen is obtained and, in the form of a precipitate, aluminum nitride [1]:



## 1.2 Ceramics based on aluminum nitride

Ceramics based on aluminum nitride is of great interest, especially in the field of microelectronics and mechanical engineering, due to its unique properties: relatively high thermal conductivity (350 W/(m·K)), low dielectric constant (9,0), low coefficient of thermal expansion ( $5.4 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ C^{-1}$ ), high mechanical strength (bending strength over 300 MPa), melting point 2400 °C, chemical resistance in aggressive environments. At a temperature of 1600–1700 °C, in the absence of nitrogen pressure, AlN decomposes. [14,15].

The low level of knowledge of aluminum nitride compared to other advanced ceramic materials makes it the most promising. The combination of aluminum and nitrogen is present only in aluminum nitride, which crystallizes in a hexagonal lattice (wurtzite). Like silicon carbide, aluminum nitride has several polytypes of its own.

### 1.2.1 Methods for obtaining ceramics

The quality of ceramic parts is largely determined by the chosen method of their molding. Ceramic samples are molded mainly in two ways, either by casting

ceramic films or by pressing workpieces followed by sintering. Currently, several methods are used to production of densely sintered ceramics from AlN

#### *Partial reaction sintering*

Powdered aluminum nitride is synthesized under the influence of nitrogen at 800-1200 °C or by regeneration of aluminum oxide with simultaneous nitriding. After sintering the pressed blanks at 1900°C, it is possible to obtain aluminum nitride ceramics. For the best adhesion during nitriding, no more than 10% of pure aluminum is introduced into the AlN powder. In this case, partial reaction sintering occurs [15].

#### *Full reaction sintering*

Most aluminum nitride samples will be made by reaction sintering. For this, pure pressed powdered Al is used, which is sintered in an N<sub>2</sub> medium. According to this method, the products do not reach a high density, it is no more than 0.5–0.6 of the theoretical one [15].

#### *Hot pressing*

High-density ceramics from AlN is obtained by hot pressing at a temperature of 2000–2100 °C and a pressure of 30 MPa.

Ceramics made of pure aluminum nitride has a low level of mechanical properties: bending strength is not higher than 350 MPa and is used as refractories against nickel and copper melts. Pure AlN has broad prospects for application in optoelectronic technology for the manufacture of photoresistors [15].

#### *Sialon*

Currently, a ceramic composite material Si-Al-O-N - Sialon has been developed. They combine unique properties such as high hardness, strength and crack resistance, resistance to aggressive chemical environments at high temperatures, large gap width, high thermal and electrical insulating properties, and much more. A notable advantage over nitride is the lower synthesis temperature. The most common is  $\beta$ -sialon ( $\beta$ -Si<sub>6-x</sub>Al<sub>x</sub>N<sub>8-x</sub>O<sub>x</sub>), which has a bending strength of up to 1200 MPa and a Vickers hardness of 13–17 GPa, used in mechanical engineering, the space industry, and in the manufacture of cutters [15].

#### *Sintering with the addition of yttrium oxide*

There is also a method in which yttrium oxide  $Y_2O_5$  is added to aluminum nitride. During the sintering process, yttrium aluminum garnets are formed in such a mixture, due to which the sintering temperature decreases, but the properties of the sintered ceramic deteriorate.

### 1.2.2 Strengths and weaknesses

The pace of development of power semiconductor devices is growing every year. This is due to the constant work of specialists on new materials and technologies. In the production of the electronic component base of power electronics, various types of ceramics are widely used, mainly based on oxides, carbides and nitrides.

Beryllium oxide (BeO) is the most demanded in the production of high-power semiconductor devices that operate at a power of more than  $2 \text{ kW/mm}^2$ , since ceramics based on it have a very high thermal conductivity of about  $250 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ . However, despite the high performance and ease of use of ceramics based on beryllium oxide, it is toxic and its industrial production in Russia is not envisaged.

In terms of physical parameters, aluminum nitride ceramics (AlN) are closest to beryllium ceramics. It also has a sufficiently high thermal conductivity of the order of  $170\text{-}200 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$  and the stability of electrical resistance with an increase in temperature of  $10^{14}\text{-}10^{13} \Omega\cdot\text{cm}$ .

Table 1 lists the most important comparative electrophysical characteristics of aluminum nitride (AlN) ceramics and beryllium oxide (BeO) and aluminum oxide ( $Al_2O_3$ ) ceramics proposed for use in the development of scientific equipment according to domestic and foreign sources [16].

Table 1.1 - Characteristics of the properties of heat-conducting ceramics [16]

Parameter	AlN	BeO	$Al_2O_3$
Thermal conductivity, $\text{W/m}\cdot\text{K}$	170–200	220–240	18–24
Bending strength, MPa	250–300	170–230	300–350
Electrical strength, $\text{kV/mm}$	14–18	10	14–18
Electrical resistivity (at $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ), $\Omega\cdot\text{m}$	$>10^{12}$	$>10^{11}$	$>10^{12}$
Dielectric constant (at 1 MHz)	9	8	9-10
Dielectric loss tangent: at 1 MHz	$1\cdot 10^{-4}$	$1\cdot 10^{-4}$	$1\cdot 10^{-4}$

at 10 MHz	$5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$
Thermal linear expansion coefficient (25 °C), $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	4,6	7,8	8,0
Density, $\text{g}/\text{cm}^3$	3,26	2,9	3,9

Also, one of the advantages of aluminum nitride is its coefficient of thermal expansion, which is close to the coefficient of thermal linear expansion of silicon in a wide range. Therefore, AlN is excellent as a structural material for devices and devices based on silicon crystals.

The main issue is the sintering of AlN ceramics to obtain dense materials with high specific properties, on the one hand, the covalent nature of the Al-N bond determines the need for high sintering temperatures, on the other hand, aluminum nitride is present in the original powder. oxygen impurities. The decrease in thermal conductivity occurs as a result of the integration of the oxygen atom into the nitride lattice, which leads to the scattering of phonons on aluminum vacancies [17]. To solve this problem, the addition of yttrium oxide is used, which leads to the formation of a low-melting eutectic favorable for the sintering process.

### 1.2.3 Application

Nitride ceramics is a highly promising material for applications in various fields from the production of machines and tools to microelectronics.

Metallized ceramic substrates based on aluminum nitride are used in the electronic and electrical industries.

Applications [18]:

- production of housings and carriers of LED chips;
- production of monolithic integrated circuits, microassemblies;
- production of highly reliable Peltier thermoelectric elements;
- production of switching microstrip boards for semiconductor devices;
- production of heat-conducting insulators for various purposes, cooling systems;
- production of precision resistors;

- production of thick-film heaters;

Thin plates of aluminum nitride ceramics are used as substrates for mounting microprocessors and related elements and circuits. Aluminum nitride ceramics have good long-term electrical and chemical stability. It is strong enough to withstand the high thermal and mechanical loads that some electrical appliances can generate. Dielectric ceramic materials, which make it possible to reduce capacitors, play an important role in the development of semiconductor electronic device technology.

## Приложение Б – внешний вид образцов до и после вжигание пасты

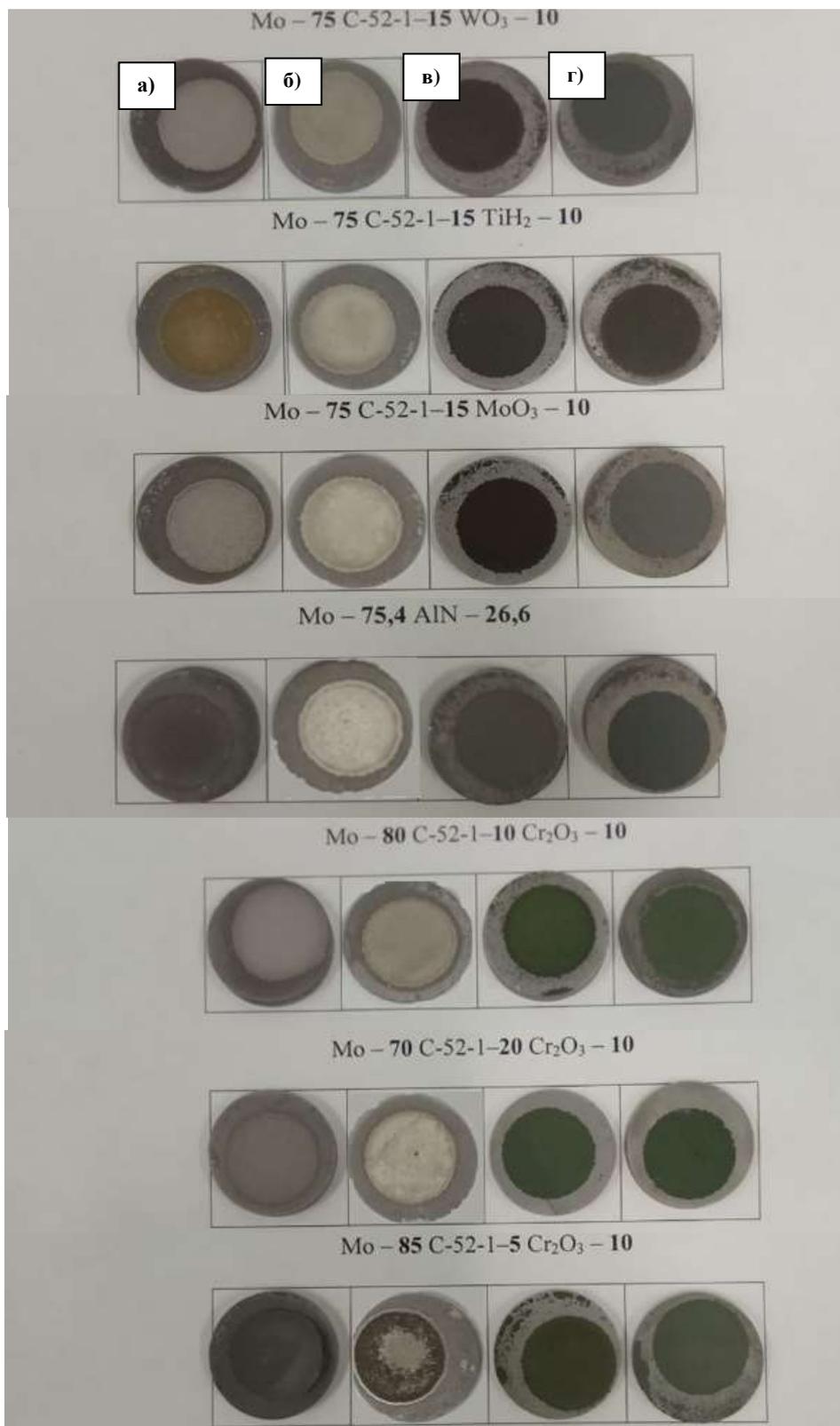


Рисунок 3.18 – внешний вид образцов до и после вжигание пасты при различных режимах. а) 1650 °C; б) 1850 °C; в) после удаления органики; г) после сушки