

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

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

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Влияние состава шликера на свойства готовой керамики
<u>УДК 666.3.022.66</u>

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4-ГМ-82	Бородич Ольга Викторовна		

Руководитель ВКР

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

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу: «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Спицына Л. Ю.	к.э.н.		

По разделу: «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2020 г.

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

Школа ИШНПТ

Направление подготовки Химическая технология

Отделение школы (НОЦ) НОЦ им Н.М. Кижнера

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ Казьмина О.В.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
4-ГМ-82	Бородич Ольге Викторовне

Тема работы:

Влияние состава шликера на свойства готовой керамики	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 50-28/с от 19.02.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2020
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объект исследования: высокотеплопроводная керамика на основе нитрида алюминия Используемые материалы – нитрид алюминия, поливинилбутираль, дибутилфталат, толуол, этанол
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Аналитический обзор литературных данных; 2. Постановка цели и задач исследования; 3. Выбор и описание методов исследования; 4. Экспериментальные исследования; 5. Анализ полученных результатов и оценка дальнейших перспектив развития работ.
Перечень графического материала	Презентация в MS PowerPoint: - Характеристика исходного сырья; - Результаты экспериментов; - Выводы по работе.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
1. Литературный обзор. 2. Методы исследования 3. Экспериментальная часть	Дитц Александр Андреевич

Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Спицына Любовь Юрьевна
Социальная ответственность	Романцов Игорь Иванович
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
1 Обзор литературы	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	09.03..2020
---	-------------

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4-ГМ-82	Бородич Ольга Викторовна		

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

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять <i>глубокие</i> естественно-научные, математические и инженерные знания для создания <i>новых</i> материалов.	Требования ФГОС (ПК–2, 10, 12), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR–ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P2	Применять <i>глубокие</i> знания в области современных технологий химического производства для решения <i>междисциплинарных</i> инженерных задач.	Требования ФГОС (ПК–2, 4–7, ОК–4), Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.1, 5.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR–ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P3	Ставить и решать <i>инновационные</i> задачи <i>инженерного анализа</i> , связанные с созданием материалов и изделий, с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов химической технологии.	Требования ФГОС (ПК–2), Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR–ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P4	Разрабатывать химико-технологические процессы, <i>проектировать</i> и использовать <i>новое</i> оборудование для создания материалов, конкурентоспособных на <i>мировом</i> рынке.	Требования ФГОС (ПК–1, 17), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR–ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P5	Проводить теоретические и экспериментальные <i>исследования</i> в области создания <i>новых</i> материалов, современных химических технологий, нанотехнологий.	Требования ФГОС (ПК–14–16, ОК–2–6), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR–ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P6	Внедрять, <i>эксплуатировать</i> современные высокотехнологичные линии автоматизированного производства, обеспечивать их <i>высокую эффективность</i> , соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на химическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	Требования ФГОС (ПК–1, 10), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR–ACE</i> и <i>FEANI</i> .
<i>Универсальные компетенции</i>		
P7	Использовать <i>глубокие</i> знания по <i>проектному менеджменту</i> для ведения <i>инновационной</i> инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности.	Требования ФГОС (ПК–3, 8, 13), Критерий 5 АИОР (п. 5.3.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR–ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P8	<i>Активно</i> владеть <i>иностранным языком</i> на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности.	Требования ФГОС (ПК–7, ОК–3) Критерий 5 АИОР (п. 5.3.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR–ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве <i>члена и руководителя группы</i> , состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность <i>следовать корпоративной культуре</i> организации.	Требования ФГОС (ПК–9, ОК–4, 5), Критерий 5 АИОР (п. 5.3.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR–ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P10	Демонстрировать <i>глубокие</i> знания <i>социальных, этических и культурных аспектов</i> инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах <i>устойчивого развития</i> .	Требования ФГОС (ПК–5, 6, 10), Критерий 5 АИОР (п. 5.3.4, 5.3.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR–ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P11	<i>Самостоятельно учиться</i> и непрерывно <i>повышать квалификацию</i> в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ПК–11, ОК–1, 2, 6), Критерий 5 АИОР (5.3.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR–ACE</i> и <i>FEANI</i> , ПС per. 853 от 19.09.2016.

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

Школа ИШНПТ
 Направление подготовки Химическая технология
 Уровень образования магистр
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ им Н.М. Кижнера
 Период выполнения (осенний / весенний семестр 2019/2020 учебного года)

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2020
--	-------------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
07.06.2020	Основная часть	75
05.06.2020	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
05.06.2020	Социальная ответственность	10

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

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

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

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

СОДЕРЖАНИЕ

РЕФЕРАТ	9
ВЕДЕНИЕ.....	10
ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	11
1.1 Свойства керамики из нитрида алюминия	11
1.2 Способы получения порошка нитрида алюминия.....	13
1.3 Область применения.....	14
1.4 Способы формования AlN	15
1.4.1 Методы выдавливания и вальцевания	15
1.4.2 Метод гелевого литья	16
1.4.3 Метод шликерного литья	17
1.4.4 Структурная технологическая схема.....	19
1.5 Характеристика материалов, применяемых для получения шликера	21
1.5.1 Минеральная часть.....	21
1.5.2 Растворители.....	22
1.5.3 Органическая часть	24
1.5.4 Примеры составов шликера для литья керамической ленты.....	28
1.6 Описание физико-химических процессов, протекающих при термообработке.....	32
1.6.1 Особенности спекания керамики из нитрида алюминия	32
1.6.2 Спекание нитрида алюминия с добавкой оксида иттрия	34
ГЛАВА 2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	37
2.1 Методы исследования	37
2.1.1 Растровый электронный микроскоп (РЭМ).....	37
2.1.2 Рентгеновская порошковая дифракция (XRD) РФА.....	38
2.1.3 Измерение вязкости	40
2.1.4 Методика определения соотношений компонентов.....	44
2.1.5 Гидростатическое взвешивание (определение плотности, пористости, водопоглощения).....	44
2. 2 Характеристика сырьевых материалов для получения шликера	45
2.2.1 Минеральная часть.....	45
2.2.2 Растворитель	47
2.2.3 Органическая часть	48
ГЛАВА 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	50
3.1 Приготовление шликера.....	50
3.2 Описание установки для изучения кинетики испарения растворителя	51

3.3 Влияние состава шликера на его реологические свойства	52
3.4 Влияние времени вакуумирования на толщину отливаемой ленты	57
3.5. Влияние времени вакуумирования на качество отлитой ленты.....	59
3.6 Влияние состава шликера на качество отлитой ленты	60
3. 7 Характеристики готовой ленты	62
3.8 Рассмотрение поведения состава керамической массы в двойной диаграмме с построением кривой плавкости	62
3.9 Выводы.....	67
ГЛАВА 4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	70
4.1 Предпроектный анализ.....	70
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	70
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	73
4.1.3 Диаграмма Исикава.....	75
4.1.4 SWOT-анализ.....	75
4.1.5 Оценка готовности проекта к коммерциализации	77
4.1.6 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования	79
4.2 Инициация проекта.....	79
4.2.1. Цели и результат проекта	79
4.2.2. Организационная структура проекта	80
4.2.3. Ограничения и допущения проекта.....	81
4.3 Планирование научно-исследовательских работ	81
4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования	81
4.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ	83
4.3.3 Разработка графика проведения научного исследования	83
4.3.4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	88
4.3.4.1 Расчет материальных затрат НТИ	88
4.3.4.2 Расчет затрат на оборудование для научно экспериментальных работ.....	88
4.3.4.3. Основная заработная плата исполнителей темы	90
4.3.4.4. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	92
4.3.4.5. Накладные расходы.....	92
4.3.4.6. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского	92
проекта	92
4.3.5 Реестр рисков проекта	93

4.4 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и	95
экономической эффективности исследования	95
ГЛАВА 5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	100
5.1 Производственная безопасность	100
5.1.1. Описание рабочего места	101
5.1.2 Анализ вредных факторов при исследовании материалов	102
5.1.3 Анализ опасных факторов производственной среды	106
5.2. Экологическая безопасность	108
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	109
5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	111
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	114
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА	115
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	116
ПРИЛОЖЕНИЕ А	122

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 143 с., 36 рис., 59 табл., 64 источников, 1 прил.

Ключевые слова: шликер, нитрид алюминия, шликерное литье на основу, подложки из ALN, вязкость, вакуумирование, реологические свойства.

Объектом исследования является влияние состава шликера на свойства готовой керамики.

Цель работы – является снижение себестоимости подложки из ALN, за счет получение керамической без дефектной ленты толщиной 700 мкм.

В процессе исследования проводились эксперименты по исследованию влияния растворителя на свойства шликера. Были приготовлены два состава шликера, отлиты методом литья на основу.

В результате исследования сделаны выводы о влияние состава шликера на свойства готовой керамики.

Степень внедрения: НИОКР.

Область применения: электроника, микроэлектроника, светодиодная и осветительная техника.

Экономическая эффективность/значимость работы: применение новой технологии и состава позволит создавать более конкурентные подложки, за счет снижения себестоимости подложки из ALN, за счет получение керамической без дефектной ленты толщиной 700 мкм.

В будущем планируется оценить возможность использования других составов шликера для получения подложек заданной толщины.

ВЕДЕНИЕ

Прогресс в развитии СВЧ и вакуумной техники в значительной степени связан с увеличением потребности отводить с поверхности приборов все большее количество вырабатываемой тепловой энергии, что, безусловно, влечет за собой необходимость снижения теплового сопротивления цепи в местах контакта теплоотвод-излучающий прибор. В связи с этим приобретает большое значение поиск неметаллического твердого материала с высоким значением коэффициента теплопроводности. Простым и удобным средством снижения теплового сопротивления цепи и, соответственно, температуры полупроводниковых элементов является рассеяние тепла через термоинтерфейс, на котором расположены теплонагруженные элементы. Одним из перспективных материалов, на который стоит обратить внимание, является AlN. Подложки можно назвать диэлектрическим скелетом современной электронной схемы. Их размеры варьируются от 2x2 мм до 150x150 мм. AlN обладает свойствами, которые превосходят другие материалы. Это низкий коэффициент термического расширения, высокая теплопроводность и совсем не проводит электричество.

Учитывая, что одним из востребованных и хорошо развивающимся сегментов рынка в мире является электроника и электротехника, требуется разработать более экономичный способ производства подложек. Один из самых прогрессивных и производительных методов производства подложек из керамики является метод шликерного литья на основу, который позволяет получать многослойные изделия.

Целью данной работы является получение плотноспеченной керамики из сырой керамической ленты толщиной более 700 мкм.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Рассмотреть технологические особенности получения AlN керамики;
2. Исследовать кинетику испарения растворителей из шликера;
3. Исследовать влияние состава шликера на его реологические свойства и на свойства отлитой ленты и спеченную керамику;
4. Рассмотреть физико-химические процессы, протекающие при обжиге керамического материала;
5. Рассмотреть поведение состава керамической массы в 2-ой диаграмме.

ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Свойства керамики из нитрида алюминия

Керамика AlN относится к технической керамики. Сырье, используемое для керамики – синтетическое. Нитрид алюминия (AlN) – керамика высокой чистоты с однородной микроструктурой и химической однородностью. Нитрид алюминия – материал, который относится к диэлектрикам, с ковалентными связями, имеющий гексагональную решетку структурного типа вюрцита (ZnS). Вюрцит это полупроводник с высокой шириной запрещённой зоны 6 эВ, поэтому растет интерес к порошкам AlN для выращивания монокристаллов [1]. Нитрид алюминия это тугоплавкое соединение. Жаропрочный нитрид обладает химической стойкостью к жидким металлам, хорошей стабильностью при высоких температурах и превосходной устойчивостью к тепловым ударам, но легко реагирует с водой при выделении NH_3 . В разбавленной соляной, серной и азотной кислоте при 20 °C AlN разлагается медленно [2]. Нитрид алюминия стоек в восстановительной среде: с водородом он не реагирует до 1700 °C.

Физические свойства

Цвет порошка AlN зависит от примесей, входящих в порошок. Может быть от белого до светло – желтого цвета или водянисто-белые прозрачные кристаллы. В табл. 1.1 представлены физические свойства нитрида алюминия.

Таблица 1.1 – Физические свойства нитрида алюминия

Свойства	Значения
Молярная масса	40,9882 г/моль
Температура плавления	от 2200 до 2500 °C
Температура возгонки (сублимации)	2000 °C
Плотность, ρ	3,05 г/см ³

Уникальные свойства нитрида алюминия представляют интерес для применения в различных устройствах электроники.

Керамические подложки изготавливают из BeO, Al_2O_3 и AlN. Подложки из AlN более предпочтительны, т.к. AlN обладает свойствами, которые превосходят другие материалы. Сравнительные характеристики подложек из разной керамики отображены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Электрофизические характеристики керамических материалов из нитрида алюминия (AlN), оксида алюминия (Al_2O_3), карбида кремния (SiC), и оксида бериллия (BeO) по данным отечественных и зарубежных источников [2,3]

Физические свойства	Al ₂ O ₃	SiC	AlN	BeO
Теплопроводность при 25°C, Вт/мК	20...30	150	160...240	220...240
Прочность на изгиб, МПа	300...350	320...350	250...300	170...230
Электрическая прочность при 25°C, кВ/мм	14...18	0,07	14...17	10
Удельное электросопротивление при 25°C, Ом см	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴
Диэлектрическая постоянная при 25°C на частоте 1 МГц	8,5...10,0	40,0...42,0	8,8...8,9	6,5...6,7
Тангенс угла диэлектрических потерь ($\times 10^{-4}$) на частоте 1 МГц	2...3	500	1...5	1...5
Коэффициент температурного линейного расширения ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) в диапазоне температур 25...400°C (для кремния 3,5...4,0 $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	6,7...7,3	3,7	4,3...4,6	7,5...8,0
Плотность, г/см ³	3,97	3,21	3,26	3,01
Модуль Юнга, ГПа	378	460	343	378

Преимущества керамики из нитрида алюминия по сравнению с другими материалами:

- Высокая теплопроводность;
- Инертность к воздействию почти всех видов кислот (исключение составляют горячие минеральные виды);
- Высокие диэлектрические показатели;
- высокое удельное объемное электрическое сопротивление (10^{13} Ом·см);
- коррозионная стойкость;
- Высокая стабильность, отсутствие токсичных свойств;
- высокая температура распада;
- Высокая механическая прочность;
- отличная устойчивость к термошоку;
- коэффициент теплового расширения почти аналогичен кремнию ($\sim 3,7 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{K}$);
- стабильность до 1380°C на воздухе и до 980°C в среде H₂ и CO₂;
- Совместимость практически со всеми технологиями металлизации.

Условия эксплуатации

Высокоплотная керамика из ALN может устойчиво применяться в инертной среде до 1800 °С, в вакууме – до 1600 °С, на воздухе – до 1300 - 1400 °С [4].

1.2 Способы получения порошка нитрида алюминия

В таблице 1.3 представлены самые распространенные способы, с помощью которых получают нитрид алюминия.

Таблица 1.3 – Способы получения AlN

Способы	Т, °С	Доп. требования	Форма и крупность частиц	Чистота ALN
Восстановление Al_2O_3 в контакте с N_2 или азотосодержащим веществом	1400-1900	Необходимость удаление углерода	Сферические, нитевидные частицы, от 50 нм до 10 мкм	98,0-99,1% O_2 : 0,97-1,61%; C: 0,05-0,18%
Взаимодействие AL в жидкой или в газовой фазе в виде паров, с газообразными N_2 или азотосодержащими соединениями	1400-1550	Магнитный импульс; лазерное излучение	Сферические 0,5-10 мкм, Игольчатые: L=2-15 мкм, H=04-1 мкм	99,3% O_2 : 0,5-1,2%;
Взаимодействие газовой фазе легколетучих неорганических соединений AL с N_2 или азотосодержащими газами	700-1250	Повышенное давление	Сферические, нитевидные частицы, игольчатые 0,05-1 мкм	До 99,9%
Взаимодействие неорганических соединений с AL с азотосодержащими органическими соединениями	800-1500	Измельчение, выпаривание растворов, сушка, вакуум	Сферические, 0,06-1 мкм	99,1-99,2%

Продолжение таблицы 1.3

Взаимодействие органических соединений, содержащих AL, с азотосодержащими органическими соединениями или N ₂	1100-2000	Выпаривание растворов, удаление углерода из продуктов взаимодействия	Сферические, игольчатые частицы 0,5-10 мкм	99,0-99,8%
CBC	800-1800	Измельчение	Игольчатые частицы, сферические, монокристалльные волокна	97,0-98,0%
Комбинированные методы	1000-1700		Сферические, нитевидные	99,0-99,5%

1.3 Область применения

Керамика из нитрида алюминия может использоваться в приборостроении в качестве:

- Подложек термоэлектрических преобразователей на основе элементов Пельтье в системе охлаждения до температуры 160 К;
- Подложек для улучшения отвода тепла в области схмотехники и микроЭВМ для ЧИПов;
- Термоизолирующих прокладок в системах теплоотвода элементов конструкций;
- Нагревателей активных термостатов приборных узлов, теплопроводящих изоляторов, [5].

Из ALN изготавливают:

- Основания и держатели кристаллов мощных полупроводниковых приборов (транзисторов, диодов и пр.);
- Носители схем датчиков отравляющих веществ, ионизирующего излучения, магнитного поля и др.;
- Пластины для ионизаторов и озонаторов воздуха;
- Экраны для радиочастотных генераторов плазмы [6].

Высокая стойкость к различным средам позволяет ALN использовать в качестве материала для тиглей и контейнеров.

Применяется в 3-х видах полупроводниковых устройствах: кремниевые эпитаксиальные транзисторы, GaALAs светодиоды, InGaAsP лазерные диоды.

Нанодисперсные порошки нитрида алюминия используются, в том числе, для модифицирования свойств теплопроводных полимерных материалов – клеев и заливочных компаундов.

В качестве модификатора электроизоляционных пропиточных лаков [7].

Применяется для материалов из нановолокна;

Использование AlN в медицине в качестве покрытия на традиционных металлических имплантационных материалах – титановых сплавах, нержавеющей стали, кобальтохромовых сплавах и т.д [8].

1.4 Способы формования AlN

Для формования тонких лент (пластин) определенной толщины, нашли применение нижеуказанные способы:

- литье (пластин) тонких пленок с помощью ракельного ножа (литьё на пленку);
- гелевое литье;
- вальцевание;
- метод выдавливания.

1.4.1 Методы выдавливания и вальцевания

Методом выдавливания (экструзии) ленту формуют при помощи щелевидного мундштука, который монтируют на ленточном прессе. Толщину ленты регулируют вертикальными установочными винтами. Так как выдавленная из мундштука лента обычно содержит 15—25% влаги, ее сушат в сушилке с непрерывно движущимся ленточным конвейером. Необходимо, чтобы высушенная лента обладала упругостью и мягкостью, достаточными для осуществления намотки. Данный способ позволяет обычно получать ленту толщиной 0,2—1,5 мм, однако в силу краевых эффектов трения, сохранения неоднородности текстуры массы, придаваемой шнеком, данному способу зачастую присущ повышенный отход сформованной ленты при нарезании из нее заготовок керамических подложек [9].

Способ формования вальцеванием (каландровый способ [10] — формование прокаткой, когда массу, полученную смешиванием сырых керамических порошковых материалов и термопластичных связок, прокатывают в тонкий лист.

Приготавливая массу, в сырой материал вводят термопластичные смолы — связки; затем соответствующие количества пластифицирующих добавок и воды для поддержания гибкости листа при обычной температуре. После этого проводят смешивание. В качестве

термопластичных смол широко применяются ацеталовые группы, полиоксалаты винила, акрилы и т. п.; в качестве пластифицирующих добавок — диакрилфталат (DOP), дибутилфталат (DBP), полиэтиленгликоль и т. д. Добавки обычно смешиваются и измельчаются мокрым способом в шаровых мельницах с последующей сушкой.

Для получения однородного листа с высокой плотностью формования необходимо специальным роликом перемешать в горячем виде высушенные исходные материалы и удалить из них воздух. Лента подготовленной смеси материалов проходит в зазоре между горячими валками и прокатывается.

По обеим сторонам прокатного стана стоят соответственно по две моталки. Моталка перед валками — питатель, поддерживающая керамическую пластичную ленту. Для того чтобы керамическая лента не слипалась, ее сматывают вместе с бумажной лентой. Бумажную ленту отделяют от пластичной между моталками № 1 и № 2 и сматывают на моталку № 2, а пластичную подают в зазор между валками, отделяя после прокатки бумажной лентой, идущей с моталки — питателя бумаги, и наматывают на моталку № 3, тем самым формируя питатель для следующего этапа прокатки. При прокатке непрерывно измеряют толщину керамической ленты после валков. На конечном этапе пером ставят отметки на участки с превышением допусков по толщине.

Во время прокатки лента нагревается, что значительно влияет на повышение пластичности термопластичного листа. Поэтому валки надо охлаждать, поддерживая постоянную температуру в диапазоне $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Для эффективного уменьшения толщины керамической ленты между валками требуется давление в несколько сотен мегапаскалей, поэтому для поддержания ширины зазора в процессе прокатки в заданных пределах необходимо очень прочное оборудование. Далее, для сведения к минимуму колебаний по толщине ленты, необходимо вести управление температурой поверхности валков, вести прокатку достаточно гладко с разделением на несколько этапов. Таким образом, процесс вальцевания достаточно капризен и имеет ограничения по получению керамической ленты малой толщины, когда требуется увеличение циклов вальцевания при постоянно увеличивающемся сопротивлении уплотненной массы процессу раскатки.

1.4.2 Метод гелевого литья

Гелевое литье является новым и простым методом, который основан на получении керамической суспензии с помощью смешения порошка с золью растворимого полимера с последующим формованием заготовки и затвердеванием полученной суспензии при гелеобразовании. Вследствие гелеобразования керамические частицы захватываются в жесткую, однородную полимерную сеть. После образования геля полуфабрикаты могут быть

легко извлечены из формы, а затем высушены в регулируемых в требуемом диапазоне условиях с дальнейшим спеканием.

Керамическую ленту из нитрида алюминия получают путем приготовления суспензии, для ее приготовления используется только две добавки: PIBM (водорастворимый сополимер изобутилена и малеинового ангидрида), действующий как диспергатор и гелеобразующий агент, и PEG (полиэтиленгликоль) действующий как пластификатор [11].

Гелевое литье обладает рядом свойств, позволяющих получить преимущество по сравнению с другими методами. К этим свойствам можно отнести: моментальное схватывание, возможность получения изделий сложной формы и высококачественных керамических тонколистковых материалов, и получение однородной микроструктуры заготовок. Чтобы получить образцы различной плотности от $49,2 \pm 1,5$ до $96,0 \pm 1,7$ необходимо изменять концентрацию исходных реагентов [12]. Следовательно, посредством этого метода можно получать как плотные, так и пористые керамические изделия.

Метод является перспективным, но этот метод еще не достаточно изучен.

1.4.3 Метод шликерного литья

Ленточное литье использовалось для изготовления тонких слоев керамики, которые можно использовать в качестве отдельных слоев или можно укладывать друг на друга и ламинировать в многослойные структуры. Отдельные слои спеченной ленты, обычно толщиной 100–1000 мкм, используются в подложках для электроники, в пористых мембранах, монолитных конденсаторах и износостойких пластин [13]. Литье с помощью ленты также известно как процесс «нанесение покрытия ракелем» или «нанесение покрытия ножом», поскольку ракель или нож является основным инструментом, участвующим в процессе формования.

Согласно этому способу формования вначале все сырьевые материалы, такие как растворители, пластификаторы, связки и т.д. смешивают в специальных барабанах до получения однородной суспензии (шликера) с требуемыми параметрами по вязкости, содержанию связки и растворителя. Оптимальными условиями для литья являются температура $22 - 25$ °C, вязкость $60 - 80$ Па·с. На завершающей стадии приготовления шликера, необходимо провести процесс дегазации для удаления газовых включений из объема шликера. В процессе вакуумирования температура шликера ощутимо снижается. Это происходит благодаря сильному улетучиванию растворителей. Вязкость шликера возрастает. Смешанный и подготовленный шликер при помощи насоса поступает в расходную емкость, в которой автоматически поддерживается постоянный уровень шликера. Это обязательное условие для осуществления качественного литья, поскольку гидростатическое давление столба массы оказывает влияние на процесс истечения шликера и его распределение по

майларовой ленте при помощи системы ракельных ножей льют на непрерывно движущуюся ленту. Схематично способ представлен на рисунке 1.1.

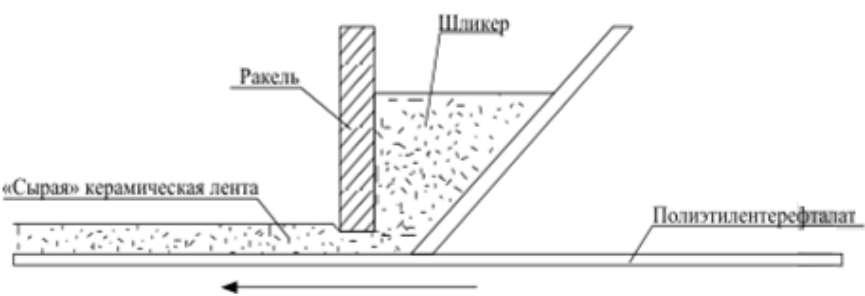


Рисунок 1.1 – Принципиальная схема метода литья на пленку

Толщину отливаемой пленки регулируют зазором между лентой и ножом, вязкостью шликера, скоростью движения ленты. На толщину пленки влияют форма и угол лезвия ножа. Конструкции ножей представлены на рис. 1.2.

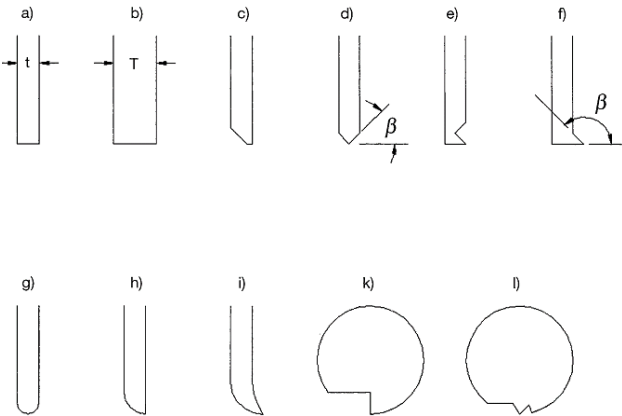


Рисунок 1.2 – Конструкции ножей, используемых при литье ленты

Лента-носитель, перемещаясь внутри литьевой машины, последовательно проходит несколько зон, в которых разлитый шликер поэтапно превращается в пленку (табл.1.4).

Таблица 1.4 – Описание зон литьевой установки

I зона	Зона интенсивного испарения легких включений органической части шликера. Длина участка составляет 1 м. Представляет собой колпак из оргстекла. Внутри образуется атмосфера из паров (например, трихлорэтилена и этилового спирта)
II зона	Зона сушки ИК лампами или потоком теплоносителя (горячего воздуха), протяженностью около 1 м. Здесь растворители удаляются как с поверхности, так и из внутренних слоев отлитой ленты. Благодаря этим мерам предотвращается образование трещин на следующем этапе сушки ленты

Продолжение таблицы 1.4

III зона	Зона вентиляторной сушки, в 1-й половине зоны воздух, имея температуру +45°C направляется по движению ленты, а во 2-й - воздух с температурой +55 °C подается против движения ленты
----------	---

По завершении последнего этапа сушки сформированная пленка сматывается в рулон на бобину. Помещенная в полиэтилен пленка может храниться продолжительное время (4-6 месяцев), сохраняя свои свойства. Способом литья можно получать пленку толщиной $0,2 \pm 0,02$ мм и $0,3 \pm 0,02$ мм [14].

Достоинства метода:

Позволяет получать изделия сложной формы различных размеров и высокой равномерности, не требует значительных капитальных затрат.

Недостатки метода:

Продолжительны процесс получения заготовок, потребность в мощном сушильном хозяйстве.

Шликерное литье из водных суспензий

По экономическим соображениям, токсичности и экологическим причинам водная суспензия для литья ленты становится очень привлекательной. Процесс изготовления на водной основе очень похож на отливку из неводной ленты. Тем не менее, водное ленточное литье имеет некоторые специальные методы, такие как медленное высыхание, более высокая чувствительность к трещинам, флокуляция и плохое смачивание. Высокая кажущаяся плотность отлитой пленки требует относительно высокого содержания неорганического и пластификатора [15]. Кроме того, часто требуется соответствующее измельчение керамического порошка и диспергатора в растворителе. Несмотря на все усилия, водное литье ленты остается неэкономичным. Хотя органические растворители более дороги, низкий выход и медленное время обработки делают водную ленточную отливку еще более дорогой.

1.4.4 Структурная технологическая схема

Технологическая схема процесса получения положки из керамики ALN при помощи метода шликерного литья на основу отражена на рисунке 1.3

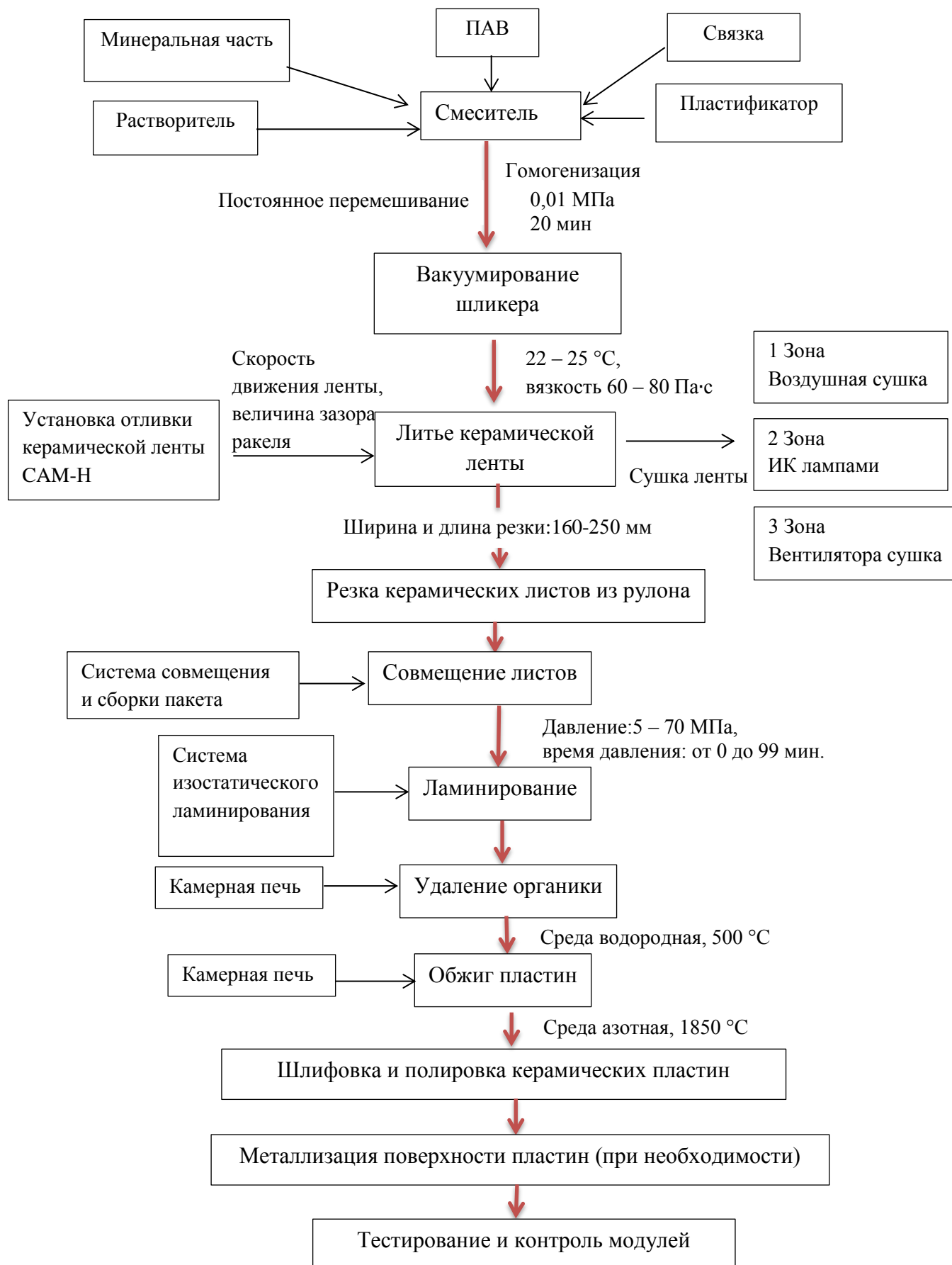


Рисунок 1.3 – Технологическая схема получения пластин из нитрида алюминия по технологии шликерного литья на основу

1.5 Характеристика материалов, применяемых для получения шликера

Керамический шликер представляет собой концентрированную суспензию порошка в жидкости. Шликер для формования ленты должен состоять из трех основных компонентов:

- Минеральная часть, которая после обжига образует твердое керамическое тело;
- Органическая часть, состоящая из связки, пластификатора, ПАВа. Связка требуется для формования пленки и удерживает частицы минеральной части, пластификатор обеспечивает пленке эластичность после удаления из нее растворителя, который удаляется в период сушки пленки;
- Растворитель, который, растворяет связку и распределяет минеральные частицы в объеме связующего.

1.5.1 Минеральная часть.

Одни из распространенных способов получения порошка ALN является синтез из простых веществ, метод газофазного осаждения и восстановление оксида алюминия при одновременном азотировании. Наиболее часто встречающийся метод получения ALN является самораспространяющийся синтез. Размер частиц порошков находится в пределах от 20 нм до 500 мкм. Форма частиц порошков губчатая, осколочная, округлая, ограниченная, изометрическая, волокнистая [16]. Примеры форм частиц, представлены на рис.1.4. Порошки получают с кристаллической и аморфной структурами.



Рисунок 1.4 – Примеры форм частиц

Губчатая форма получается при восстановлении, осколочная – при измельчении в шаровых и вибрационных мельницах, тарельчатая – при вихревом измельчении, дендритная – при электролизе, игольчатая или чешуйчатая – при высокоскоростном затвердевании расплава [17].

Требования к керамическим порошкам:

- содержание основного вещества более 98 мас.%;

- содержание кислорода менее – 1 мас. % (только для нитридной керамики);
- гранулометрический состав порошка D₅₀- менее 2-4 мкм;
- должен обеспечивать высокие эксплуатационные свойства [18];
- важное значение имеет форма частиц, материалы полученные из сферических частиц, имеют более равномерную структуру, т.к. они образуют более плотную упаковку.

Другой составляющей минеральной части является спекающая добавка. Для достижения получения плотных материалов, плотность которых будет близка к теоретической, а также для снижения температуры спекания, вводятся добавки – активаторы спекания.

В литературе встречается большое количество добавок: Y₂O₃, B₂O₃, Li₂O, La₂O₃, CaCO₃ и др., как правило, они работают по схеме образования эвтектик с оксидом алюминия [19].

1.5.2 Растворители

Растворители – летучие органические жидкости, применяемые для растворения пленкообразующих веществ. Растворитель для органической фазы требуется только в начале процесса изготовления ленты. Растворитель облегчает смешивание компонентов органической фазы и дает возможность получить органическую фазу нужной вязкости для более полной гомогенизации с порошками керамического наполнителя, помогает придать керамической композиции текучесть, что делает возможным формирование пленочного материала.

Требования к растворителю:

- совместимость с органической связкой;
- совместимость с пластификатором;
- не взаимодействовать с керамическим порошком;
- низкая стоимость;
- легкое удаление из ленты [14].

Быстрая сушка является важной частью работы растворителя. Скорость сушки литой ленты является определяющим фактором скорости литья. Основная причина, по которой некоторые производители не решаются переключиться на литье на водной основе является уменьшенная скорость сушки, что влечет уменьшению производственной мощности. Органические растворители сильно испаряются быстрее, чем вода.

Систематизация растворителей по группам приведена в табл. 1.5.

Таблица 1.5 – Систематизация растворителей по группам [20]

Группы растворителей по их растворяющей способности (т.е. по эффективности растворения)		
Слабая	Средняя	Сильная
Нитрометан Нитроэтан Сероуглерод Бензол Циклогексан	Ацетонитрил Ацетон Метилэтилкетон Метилизобутилкетон	Метиловый спирт Этиловый спирт N-пропиловый спирт N-гексановый спирт Диэтиленгликоль

Иногда в качестве растворителей применяют метилэтилкетон, толуол и изопропиловый спирт, но более распространено использование разных смесей растворителей. Применение смесей имеет свои плюсы при использовании:

- растворимость компонентов шликера различна в каждом сольвенте;
- возможность регулирования скорости высыхания ленты;
- возможность контролирования реологических свойств шликера.

Растворители также следует подбирать в зависимости от связки. Так, для поливинилбутирала рекомендуются следующие смеси растворителей: циклогексанол - 50%, N-пропанол - 40%, метанол - 10% или циклогексанол - 40%, толуол - 40%, N-пропанол - 10%, метилизобутилкетон - 10%. Но целесообразнее использовать смесь трихлорэтилена и тетрахлорэтилена, которая действует более эффективно и не образует взрывоопасной смеси с воздухом. Пригодны также в качестве растворителей амилацетат и этилацетат, хотя они менее эффективны.

Наличие в составе шликера амилацетата увеличивает длительность высыхания пленки, в результате обеспечивается более высокая плотность упаковки частиц в пленке и предотвращается образование микротрещин. С другой стороны, высокое содержание амилацетата существенно повышает вязкость шликера, что препятствует формированию тонких пленок. Для снижения влияния этого фактора, проводится процедура разжижения шликера (уменьшение его вязкости в два-три раза), что достигается введением в шликер этилацетата с добавлением амилацетата [21]. При отсутствии амилацетата этилацетат вследствие очень высокой летучести приводит к рыхлости пленки и появлению микротрещин. При совместном содержании амилацетата и этилацетата достигается необходимое сочетание свойств шликера (достаточно низкая вязкость и оптимальное структурообразование пленки).

1.5.3 Органическая часть

Связка формирует вокруг керамических частиц адсорбционные оболочки, что предотвращает укрупнение частиц, замедляет их седиментационное осаждение, обеспечивает упрочнение пленки после ее высыхания. Связка придает керамической ленте пластичность, гибкость, гладкость, прочность, твердость. Долю связующего компонента нужно держать в определенном диапазоне, поскольку это влияет на качество керамики (сырую плотность, наличие пор, прессуемость, температурную кривую удаления связки, геометрические размеры изделия).

Требования к связкам:

- температуры удаления связки ниже начала окисления керамического порошка;
- хорошее связующее свойство.
- компоненты связок должны быть инертны по отношению к керамическим порошкам, что позволяет исключить заметное изменение состава порошка (реакции восстановления, окисления, обмена).
- количество временной связки должно быть минимальным для выбранного вида формования.
- связки, а также продукты их окисления или пиролиза не должны обладать токсичностью или могут иметь минимальную допустимую токсичность.
- в процессе их удаления из керамических изделий связки должны достаточно легко удаляться полностью, иметь минимальный остаток в виде золы или продуктов пиролиза.

В табл. 1.6 представлены общие связующие вещества, используемые в керамической обработке.

Таблица 1.6 – Общие связующие вещества, используемые в керамической обработке [22]

Связующие	Растворим в воде	Растворим в органических растворителях	Степень вязкости (эффект для изменения вязкости растворителя)
Поливиниловый спирт	+		Низкая/средняя
Поли (акриловая кислота)	+		Средняя/высокая
Полиакриламид	+		Высокая
Полиэтиленгликоль	+		Низкая/средняя
Поли (этилен имин)	+		Низкая/средняя

Продолжение таблицы 1.6

Поли (метилакриловая кислота)	+		Средняя/высокая
Поливинилпирролидон	+		Низкая
Метилцеллюлозы	+		Низкая/высокая
Гидроксипропилметилцеллюлоза	+		Низкая/высокая
гидроксиэтилцеллюлоза	+		Низкая/высокая
Карбоксиметилцеллюлоза натрия	+		Низкая/высокая
Этилцеллюлоза		+	Средняя/высокая
Крахмал	+		Низкая/средняя
декстрины	+		Очень низкая
Альгинат натрия	+		Высокая
Альгинат аммония	+		Очень высокая
Поли (винилбутираль)		+	Средней высокая
Поли (винилформол)		+	Средней высокая
Полиметилметакрилат)		+	Средней высокая
Гуммиарабик	+		Очень низкая
Гуаровая камедь	+		Очень высокая

Пластификаторы - вещества, которые вводят в состав полимерных материалов для придания (или повышения) эластичности и (или) пластичности при переработке и эксплуатации. Это происходит в результате окружения пластификатором молекул полимера и удерживания их на расстоянии, которое может варьироваться в определённых пределах. Механизм работы пластификатора, представлен на рис. 1.5.

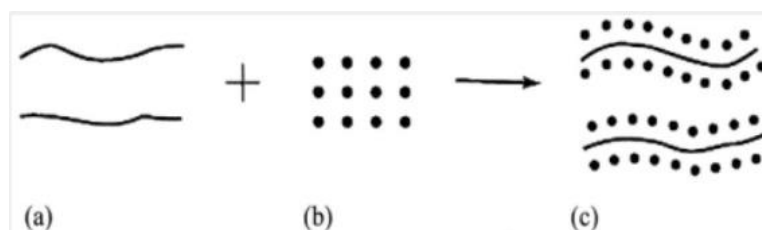


Рисунок 1.5 – Механизм работы пластификатора

а –связка, б – пластификатор, с - пластифицирующее воздействие

Пластификаторы облегчают диспергирование ингредиентов, снижают температуру технологической обработки композиций, улучшают морозостойкость полимеров, но могут снизить их теплостойкость. Некоторые пластификаторы могут повышать огне-, свето- и термостойкость полимеров.

Общие требования к пластификаторам:

- хорошая совместимость с полимером, растворителем;
- низкая летучесть, отсутствие запаха;
- температуры удаления пластификатора ниже начала окисления керамического порошка;
- хорошее пластифицирующее свойство;
- химическая инертность;
- стойкость к экстракции из полимера жидкими средами, например, маслами, моющими средствами.

Основная функция этого пластификатора – это добавить готовой продукции большей эластичности. Готовая продукция, имеющая в своем составе этот компонент, сохраняет изначальную форму, но в тоже время, она может быть гибкой и эластичной. На таком материале не появляются сколы или трещины. Также пластификаторы уместно добавлять в изделия, которые подвергаются частым перепадам температур.

Примеры технологически совместимых связующих веществ и пластификаторов, используемых в составе керамического шликера представлены в табл. 1.7.

Таблица 1.7 – Примеры технологически совместимых связующих веществ и пластификаторов, используемых в составе керамического шликера [23]

Связующее вещество	Пластификатор
Ацетат целлюлозы	Изобутиральацетат сахарозы
Полиакрилаты	Глицерин
Полиметакрилаты	Дибутилфталат
Поливиниловый спирт	Диизодецилфталат
Поливинилбутираль	Дибутилфталат (или дибутилсебацинат)

Полиакрилаты и полиметакрилаты проявляют себя примерно одинаково, но первые разлагаются медленнее. Полиметакрилаты, в частности поли-N-бутилметакрилат, обеспечивает хорошую адгезию пленок, не изменяет своих свойств со временем, не становится хрупким при комнатной температуре. Поливиниловый спирт требует длительного времени сушки. Отличительными пленкообразующими свойствами обладает поливинилбутираль. Худшие результаты были получены при использовании ацетата целлюлозы.

Из испытанных пластификаторов изобутиральацетат сахарозы характеризуется наиболее слабыми пластифицирующими свойствами. Диизодецилфталат имеет высокую

температуру разложения и способствует образованию липких поверхностей. Глицерин растворяется в воде.

К наиболее полно удовлетворяющим требованиям, предъявляемые к пластификаторам, относят такие пластификаторы как дибутилфталат и дибутилсебацинат.

Пеногаситель

Пеногасители используются для снижения концентрации воды в составе шликера, улучшения процесса гидратации и повышения прочности отливок почти на 30 – 50%. В шликер рекомендуется добавлять 0,1 – 0,5% раствора КМЦ, ПАВ и др. Ввод добавок (особенно ССБ) может вызвать вспенивание шликера. Пенистые шликеры плохо транспортируются по трубопроводам. В качестве пеногасителей рекомендуется использовать кремнийорганические полимеры (полиметилсиликон и др.) в небольших количествах — 0,001—0,003% массы сухих компонентов шликера. Пеногасители лучше вводить в шликер до введения ПАВ.

Примеры пеногасителей:

Пеногаситель «Emulgen L-40» -неионогенное ПАВ, производное полиоксиэтилена.

Диспергаторы

Диспергаторы снижают поверхностную энергию измельчаемых частиц, что позволяет проводить измельчение при меньших энергетических затратах, и препятствуют протеканию обратного процесса – агрегации, слипанию частиц. К диспергаторам также относят поверхностно-активные вещества (ПАВ), которые стабилизируют коллоидные системы и препятствуют осаждению и расслоению. После удаления растворителя ПАВ способно увеличивать адгезию связки и минеральных частиц, чем может значительно уменьшить пористость керамической пленки.

В качестве ПАВ обычно используют алкиламида, альгинаты, рыбий жир и др., Традиционным диспергатором в плёночном литье применяется рыбий жир (Menhaden Fish Oil). Он позволяет связать частицы порошка и органического связующего посредством липофильной и гидрофильной групп, предотвращая их агрегацию, но возможно приготовление шликера и с их заменителями, которые приведены в табл. 1.8.

Таблица 1.8 – Основные сведения о ПАВ [20]

ПАВ, заменяющие рыбий жир	Молекулярный вес	Вязкость шликера
Глицерин	92	Хорошая
Октадециламин	270	Удовлетворительная
Трихлорацетатная кислота	163	Хорошая

Продолжение таблицы 1.8

Олеиновая кислота	282	Хорошая
-------------------	-----	---------

Шликер с октадециламином обладает хорошими свойствами, но высушенную ленту невозможно отделить от подложки без трещин. В качестве ПАВ при подготовке шликера из корундовой керамики марки ВК 94-1 рекомендуется использовать полиоксиэтиленалкиламид, выпускаемый под маркой "Синтаид – 5", вводимый в шликер в виде спиртового раствора, для обеспечения лучшего смачивания частиц минеральной части.

1.5.4 Примеры составов шликера для литья керамической ленты

Керамический шликер представляет собой концентрированную суспензию порошка в жидкости. Ряд общих требований, предъявляемых к литьевому шликеру:

- качественные внутренняя и наружная поверхности набранной массы;
- гомогенность, агрегативная устойчивость шликера по всему объему;
- хорошая текучесть при относительно низкой концентрации связующего;
- снятие с ленты-носителя без затруднений.

В таблицах 1.9 – 1.19 представлены примеры составов шликеров.

Таблица 1.9 – Примеры составов шликеров № 1, позволяют получать ленту толщиной 100 – 150 мкм [24]

Компоненты	Состав компонентов, мас. %			
	1	2	3	4
95 мас.% AlN, сод. 10 мас.% кубич. фазы + 5 мас.% Y ₂ O ₃	35,0	-	-	-
94 мас.% AlN, сод. 15 мас.% кубич. фазы + 6 мас.% (3CaO+3MgO)	-	36,0	-	-
97 мас.% AlN, сод. 25 мас.% кубич. фазы + 3 мас.% Y ₂ O ₃	-	-	35,0	-
95 мас.% AlN, сод. 25 мас.% кубич. фазы + 2 мас.% Y ₂ O ₃ +4 CaO	-	-	-	36,0
Азеотропная смесь метилэтилкетона с этанолом, МЕК/EtOH	53,0	51,0	52,4	51,0
Фосфорнокислый эфир, Beycostat C213	0,6	0,4	0,5	0,4
Поливинилбутираль (PVB)	5,4	5,6	5,4	5,6
Полиэтиленгликоль: Дибутилфталат = 1:1	3,0	3,5	3,35	3,5

Таблица 1.10 – Пример состава шликера № 2, позволяет получать ленту толщиной 200 – 250 мкм [25]

Компоненты	Состав компонентов, мас.%
Керамический порошок и Y_2O_3	65,0
Толуол и этанол (соотношением 32/68)	27,0
Рыбий жир	0,4
Поливинилбутираль	3,8
Santisaizer	3,8

Керамическая лента отливается при зазоре ножа 600-1000 мкм с сушкой ленты при температуре 40°C в течение 90 мин.

Таблица 1.11 – Пример состава шликера № 3, позволяет получать ленту толщиной до 150 мкм [26]

Компоненты	Состав компонентов, мас.%
Керамический порошок	34,1
Y_2O_3	0,7
Метилэтилкетон / этанол	52,6
Бейкостат С 213	0,5
Поливинилбутираль PVB	5,4
Полиэтиленгликоль	3,2
Дибутилфталат DBP	3,5

Таблица 1.12 – Пример состава шликера № 4, позволяет получать ленту толщиной 700 мкм [27]

Компоненты	Функция	Состав компонентов, мас.%
Глинозем	Керамический порошок	66
Толуол	Растворитель	20
PMMA	Связующее вещество	8
Cardanol	Диспергатор и пластификатор	6

Таблица 1.13 – Пример состава шликера № 5, позволяет получать ленту толщиной 250 мкм [28]

Компоненты	Состав компонентов, мас.%
Керамический порошок	41,0-50,0
Толуол	35,0-40,0
Денатурированный этанол	2,5-2,9

Продолжение таблицы 1.13

Фталевая кислота	6,0
Поливинилбутираль	5,5-6,5

Таблица 1.14 – Пример состава шликера № 6, позволяет получать ленту толщиной 20-35 мкм [29]

Компонент	Содержание компонентов, мас. %		
	1	2	3
Керамический порошок	43,48	47,62	54,09
Поливинилбутираль	4,52	4,45	4,36
Этиловый спирт	40,52	37,37	32,53
Бутиловый спирт	10,13	9,34	8,13
Олигоэфиракрилат	1,30	-	0,87
Дибутилсебацат	-	1,19	-
Тетраэтоксисилан	0,05	-	0,02
Полиэтилсилоксановая жидкость ПЭС-5	-	0,03	-

Таблица 1.15 – Пример состава шликера № 7, позволяет получать ленту в широком интервале толщин [30]

Компоненты	Состав компонентов, мас. %		
	1	2	3
Вода деионизированная	25,0	27,5	30,0
Этиловый спирт	1,0	1,5	2,0
Оксихлорид алюминия	2,992	3,99	4,987
Гидроксид магния	0,008	0,01	0,013
Поливиниловый спирт	3,0	3,5	4,0
Глицерин	5,0	5,5	6,0
Глинозем марки ГЛМК	63,0	58,0	53,0

Таблица 1.16 – Пример состава шликера № 8 [31]

Компоненты	Состав компонентов, г
Мелющие тела	3400
Глинозем	3250
Стекло	
Каолин, тальк	150
Толуол	466

Продолжение таблицы 1.16

Этанол	990
Поливинилбутираль	340
Бутилбензилфталат	257
Рыбий жир	23,8

Таблица 1.17 – Пример состава шликера № 9 [20]

Компоненты	Состав компонентов, мас. %
Керамика ВК 94-1 (в виде порошка)	61,15
Поливинилбутираль ПШ-1	9,71
Дибутилфталат	7,76
Трихлорэтилен	21,22
Синтаид 5	0,16

Таблица 1.18 – Пример состава шликера № 10 [32]

Компоненты	Состав компонентов, мас. %
AlN	73,36
Оксид иттрия	0,7336
Фторид кальция	0,7336
Поливинилпирролидон	0,3668 (0,5 % от AlN)
Поливинилбутираль	3,6683 (5 % от AlN)
Бутилбензилфталат	3,6683 (5 % от AlN)
Этанол	18,2036

Таблица 1.19 – Пример состава шликера № 11, позволяет получать ленту толщиной 20 - 40 мкм [33]

Компоненты	Состав компонентов, мас. %		
Составы	1	2	3
Керамический порошок	48,80	56,85	64,90
Поливинилбутираль	3,66	3,18	2,70
Этиловый спирт	35,60	30,30	25,00
Бутиловый спирт	8,72	7,48	6,25
Дибутилсебагинат или олигоэфиракрилат	1,17	1,00	0,82
Полиэтилсилоксановая жидкость	0,08	0,05	0,02

Продолжение таблицы 1.19

Оксиэтилированный алкилфенол	0,52	0,33	0,13
Салициловая кислота	0,06	0,04	0,02
Глицерин	0,56	0,28	0,005
Этиленгликоль	0,37	0,26	0,15
Триэтаноламин	0,46	0,23	0,005

1.6 Описание физико-химических процессов, протекающих при термообработке

1.6.1 Особенности спекания керамики из нитрида алюминия

Для окончательного формирования керамической подложки необходима высокотемпературная термообработка пакета или отдельных модулей.

Этап удаление органики

На первой стадии обжига происходит разложение и удаление технологической связки. Процесс удаления связки заключается в пиролизе и удалении органических связок, необходимых во время формования. При очень медленном подъеме температуры в нагревательных печах идет медленный пиролиз органических связок вначале на поверхности отформованного изделия, а затем в его внутренних частях. При слишком большой скорости нагрева не удастся вывести все газы, образовавшиеся в процессе пиролиза внутри отформованного изделия, что приводит к образованию дефектов в последнем.

Удаление связки из керамики осуществляется в камерной печи в среде азота в течение 3-4 часов по специальному температурно-временному режиму:

- - подъем рабочей температуры до 500°C со скоростью 10°C/час;
- - обжиг при t 500°C в течение 2-3 часов;
- - охлаждение печи с достижением рабочей температуры в печи 20°C.

Выбор оптимальных условий удаления связки зависит от таких факторов, как виды, типы и количество органических связок, распределение керамического порошка по крупности, конфигурация формуемого изделия и т. д. При большой тонине помола порошка или большой толщине формуемого изделия, при резком перепаде его толщин удаление связки осуществляется очень трудно.

Требование к керамическим порошкам:

Гранулометрический состав порошка D_{50} - менее 2-4 мкм.

Предварительный обжиг для удаления связки проводится в среде водорода при 500°C. Заготовки укладывают на керамические пористые подставки. Подставку спрессовывают из двух компонентов: молотого и исходного глинозема с открытой пористостью до 30% (объем) и кажущейся плотностью не более 2,3 г/см³. При этом объем открытой пористости подставки равноценен полному объему заготовки подложки, что, в свою очередь, обеспечивает полноту улавливания пористой подставкой продуктов испарения полимерного связующего и тем самым способствует получению беспористого керамического материала.

Этап высокотемпературного обжига

При дальнейшем нагреве изделия из керамики до соответствующей, ниже их точки плавления, температуры частицы порошка соединяются и образуют прочное твердое тело; одновременно идут процессы усадки, уплотнения, роста зерен, — это и называется спеканием.

Окончательный обжиг осуществляется в среде азота по специальному графику с выдержкой образцов в течение 5 ч при температуре 1850°C (рис. 1.6).

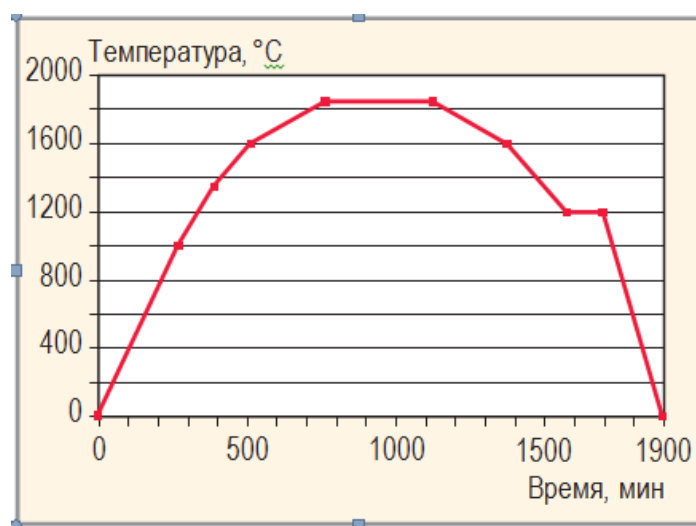


Рисунок 1.6 – Режим обжига алюмо-нитридной керамики

Далее заготовки подложек помещаются на керамические прокладки, изготовленные из смеси электрокорунда Ф-100 и глинозема ГЭФ в равных долях и обожжённые при температуре не ниже 1750°C. Заготовки подложек, помещенные на керамические прокладки, загружают в вакуумную печь для дальнейшего обжига. Обжиг подложки осуществляют при вакууме 10⁻⁴ мм рт.ст. в течение 3-4 часов по специальному температурно-временному режиму: выдержка в течение 1 часа при температуре 1600°C для прогрева объема загрузки;

- подъем рабочей температуры до 1850°C со скоростью 20°C/час;
- высокотемпературный обжиг при t 1850°C в течение 2,5-3 часов;

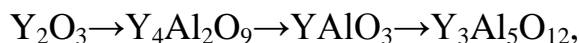
- охлаждение печи в течение 7 часов с достижением рабочей температуры в печи 300°C.

При обжиге подложек в вакууме обязательным условием является выдержка в течение 1 часа при температуре 1600°C для того, чтобы прогреть полностью изделия, что влечет за собой формирование заданной микроструктуры с равнокристаллической структурой, кристаллами изотермичной формы с когерентными границами при дальнейшем нагреве. Максимальная температура обжига составляет 1850°C.

1.6.2 Спекание нитрида алюминия с добавкой оксида иттрия

Есть две причины, определяющих сложности спекания плотных материалов из нитрида алюминия: Во-первых, это связано с ковалентным характером связи Al–N, что требует высоких температур спекания, а во-вторых, наличие в исходных порошках примеси кислорода, который при спекании внедряется в решётку нитрида алюминия, создавая вакансии алюминия, на которых и происходит рассеяние фононов, т.е. снижается теплопроводность материала. Для устранения этой проблемы используется спекающая добавка Y_2O_3 (от 1 до 5% мас.), которая вступает в химическое взаимодействие с AlN и кислородом, имеющимся в составе порошка нитрида алюминия, при этом образуя эвтектические расплавы.

В процессе спекания в структуре керамики возможно формирование трех различных фаз алюмината иттрия, образование которых зависит от соотношения Y_2O_3 к Al_2O_3 : $Y_3Al_5O_{12}$, $YAlO_3$ и $Y_4Al_2O_9$. Во время спекания при высокой температуре 1750-1800°C спекающая добавка Y_2O_3 формирует жидкую фазу и очищает зерна AlN от кислорода во время взаимодействия. Механизм очистки с помощью Y_2O_3 обусловлен реакцией с глиноземом Al_2O_3 , который частично расположен на поверхности частиц AlN и частично растворен в AlN. Кислород при нагреве вступает в реакцию с оксидом иттрия с образованием алюмоиттриевого граната, который осаждается на поверхности зёрен по схеме:



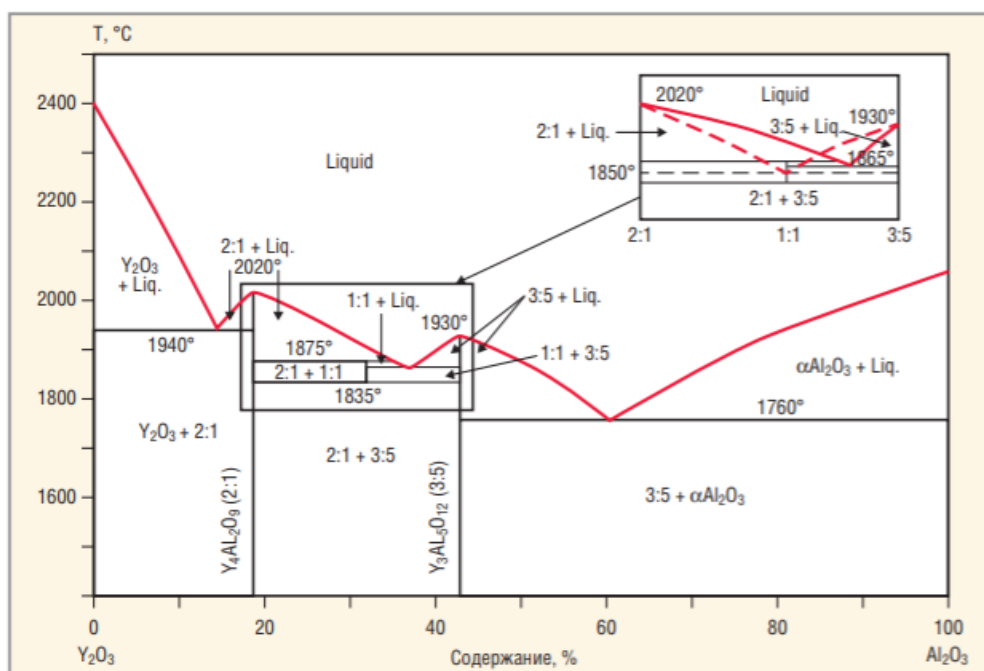


Рисунок 1.7 – Диаграмма состояния двухфазной системы $Y_2O_3-Al_2O_3$ [34]

с возрастанием числа атомов кислорода на один атом иттрия. Поэтому образование алюмоиттриевого граната $Y_3Al_5O_{12}$ требует добавочного кислорода, который изымается из кристаллической решетки нитрида алюминия в результате прохождения транспортных реакций. Алюмоиттриевый гранат $Y_3Al_5O_{12}$ позволяет изъять кислород из кристаллической решетки частиц нитрида алюминия. Расчет количества спекающей добавки Y_2O_3 для получения алюмоиттриевого граната определяется расчетным путем, что позволяет ввести в состав шихты оптимальное количество оксида иттрия, необходимого для очистки нитрида алюминия от кислорода, и получать материал, имеющий высокую теплопроводность. Обеспечение образования жидкой фазы при спекании, очистка кристаллов нитрида алюминия от кислорода и формирование плотной структуры керамики из нитрида алюминия осуществляется при добавлении спекающих добавок в виде нанопорошка Y_2O_3 суммарно в количестве не более 3 мас.% в составе шихты. При ультразвуковой обработке нанопорошка в спиртовом растворителе происходит его деагрегация, в результате чего достигается разбивка агломератов и равномерное распределение наночастиц по всему объему. Для того чтобы получить более однородную и плотную структуру керамики при спекании необходимо перемешивать шликер, в результате чего частицы нанопорошка более равномерно обволакивают крупные частицы нитрида алюминия.

Нижний предел добавки оксида иттрия объясняется тем, что при обжиге образуется количество расплава, недостаточное для полного удаления пор, таким образом, не происходит спекания изделий до высокой плотности и получения высокотеплопроводного материала.

Верхний предел добавки Y_2O_3 обусловлен тем, что образуется большое количество второй фазы в керамике, что ведет к снижению теплопроводности материала. Увеличение количества добавки Y_2O_3 ведет к деформации изделий при обжиге.

ГЛАВА 2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Методы исследования

2.1.1 Растровый электронный микроскоп (РЭМ)

Растровый электронный микроскоп (РЭМ, англ. Scanning Electron Microscope, SEM) с помощью него исследуют топографию неоднородностей дефектов и состояния поверхности: например, топологию поверхности (границы зерен, поры, трещины, неоднородности состава и др.), распределение элементного состава по поверхности образца - в характеристическом рентгеновском излучении [35].

Принцип его работы основан на зондировании поверхности изучаемого образца электронным пучком (зондом), при этом возникает несколько видов излучения: вторичные и отраженные электроны, прошедшие электроны, рентгеновское тормозное излучение, световое излучение. Электронные линзы фокусируют электронный пучок в пятно очень малых размеров. Это пятно непрерывно обегает некоторый участок образца. Электрический сигнал, возникающий при бомбардировке объекта электронами пучка, улавливается специальным детектором и усиливается, и используется для формирования изображения на экране компьютера и его фотографируют. Сигналами для получения изображения в РЭМ служат вторичные, отраженные и поглощённые электроны. Разрешающая способность РЭМ зависит от электронной яркости пушки и составляет 5-10 нм (до 2-3 нм) [36].

Основа сканирующего электронного микроскопа – электронная пушка и электрооптическая колонна, функции которых состоят в формировании острогофокусированного электронного зонда средних энергий (200 эВ – 50 кэВ) на поверхности образца [35]. Электронная пушка состоит из катода, цилиндра Венельта и анода. Обычно в качестве катода используется вольфрамовая V-образная проволока, согнутая под углом. Прибор обязательно должен быть оснащен вакуумной системой для создания необходимого разряжения ($\sim 10^{-3}$ Па). Также в РЭМ есть предметный столик, позволяющий перемещать образец минимум в трех направлениях.

Сильные стороны и ограничения сканирующей электронной микроскопии (СЭМ)

Сильные стороны:

По сравнению с традиционной световой микроскопией она имеет преимущество в большей разрешающей способности и глубиной резкости; относительной легкостью в интерпретации полученных изображений благодаря их трёхмерному представлению; возможностью подключения дополнительных приборов для анализа в микродиапазоне при достаточной простоте в адаптации и управлении этими приборами. Предъявляются низкие

требования к подготовке пробы. По сравнению со сканирующей зондовой, сканирующая электронная микроскопия позволяет исследовать существенно бóльшие участки поверхности; работать с сильно рельефными поверхностями; использовать значительно более широкий диапазон увеличений; получать информацию не только о поверхности, но и о прилегающих к поверхности «подповерхностных» слоях [37]. Большинство СЭМ сравнительно просты в эксплуатации, имеют дружественные интуитивно понятные интерфейсы. Многие приложения требуют минимальной подготовки образца. Для многих приложений сбор данных происходит быстро (менее 5 минут / изображение для SEI, BSE, точечный анализ EDS.) Современные SEM генерируют данные в цифровых форматах, которые являются очень переносимыми.

Ограничения:

Образцы должны быть сплошными и помещаться в камеру микроскопа. Максимальный размер в горизонтальных размерах обычно составляет порядка 10 см, вертикальные размеры, как правило, гораздо более ограничены и редко превышают 40 мм. Для большинства приборов образцы должны быть стабильны в вакууме порядка 10^{-5} - 10^{-6} Торр. Образцы, которые могут выбрасывать газ при низких давлениях (горные породы, насыщенные углеводородами, «влажные» образцы, такие как уголь, органические материалы или набухающие глины, и образцы, которые могут дряхнуть при низком давлении), не подходят для исследования в традиционных СЭМ. Тем не менее, существуют также "SEM" низкого вакуума и "окружающей среды", и многие из этих типов образцов могут быть успешно исследованы в этих специализированных инструментах. EDS детекторы СЭМ не может обнаружить очень легкие элементы (H, He и Li), и многие приборы не могут обнаружить элементы с атомными номерами менее 11 (Na) [38]. Большинство СЭМ используют твердотельный детектор рентгеновских лучей (EDS), и хотя эти детекторы очень быстры и просты в использовании, они имеют относительно низкое энергетическое разрешение и чувствительность к элементам, присутствующим в небольших количествах, по сравнению с детекторами рентгеновского излучения с дисперсией по длине волны (WDS) на большинстве электронно-зондовых микроанализаторов (EPMA). Электропроводящее покрытие должно наноситься на электроизолирующие образцы для исследования в традиционных СЭМ, если только прибор не способен работать в режиме низкого вакуума.

В работе использовался растровый электронный микроскоп JEOL JSM 6000 с вольфрамовым источником электронов.

2.1.2 Рентгеновская порошковая дифракция (XRD) РФА

Рентгеновская порошковая дифракция (XRD) – это метод быстрого анализа, который в основном используется для идентификации фазы кристаллического материала и может

предоставлять информацию о размерах элементарной ячейки. Анализируемый материал тонко измельчен, гомогенизирован и определен средний объемный состав. Дифракция рентгеновских лучей основана на конструктивной интерференции монохроматических рентгеновских лучей и кристаллического образца. Эти рентгеновские лучи генерируются электронно-лучевой трубкой, фильтруются для получения монохроматического излучения, коллимируются для концентрирования и направляются к образцу [37]. Взаимодействие падающих лучей с образцом создает конструктивную интерференцию (и дифрагированный луч), когда условия удовлетворяют закону Брэгга ($n \lambda = 2 d \sin \theta$).

Где, λ – длина волны электромагнитного излучения;

θ – угол дифракции;

d – расстояние между решетками в кристаллическом образце.

Эти дифрагированные рентгеновские лучи затем детектируются, обрабатываются и подсчитываются. Сканируя образец в диапазоне 2θ углов, все возможные направления дифракции решетки должны быть достигнуты из-за случайной ориентации порошкообразного материала. Преобразование дифракционных пиков в d -расстояние позволяет идентифицировать минерал, поскольку каждый минерал обладает набором уникальных d -расположений. Как правило, это достигается путем сравнения d -интервалов со стандартными образцами. Дифракция рентгеновских лучей представлена на рис. 2.1.

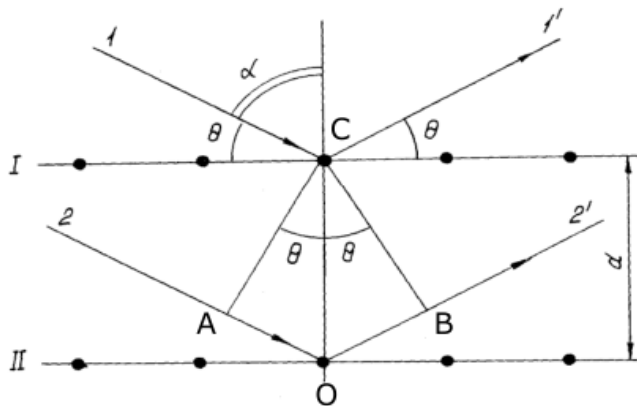


Рисунок 2.1 – Дифракция рентгеновских лучей от плоскостей

С помощью метода XRD можно характеризовать образцы тонких пленок [38]:

- определение несоответствия решетки между пленкой и подложкой и определение напряжения и деформации;
- определение плотности дислокаций и качества пленки с помощью измерений кривой качания;
- измерение сверхрешетки в многослойных эпитаксиальных структурах;
- определение толщины, шероховатости и плотности пленки с использованием измерений отражательной способности рентгеновского отражения [39].

Сильные стороны и ограничения порошковой дифракции рентгеновских лучей (XRD) [40]:

Сильные стороны:

- Мощный и быстрый (<20 мин) метод идентификации неизвестного минерала;
- В большинстве случаев это обеспечивает однозначное определение минералов;
- Предъявляются минимальные требования к пробоподготовке;
- Рентгеновские аппараты широко доступны;
- Интерпретация данных относительно проста.

Ограничения:

- Для идентификации неизвестного минерала наиболее лучше подходит однородный и однофазный материал;
- Должен иметь доступ к стандартному справочному файлу неорганических соединений (d-интервалы, hkl s);
- Требуется десятые доли грамма материала, измельченного в порошок;
- Для смешанных материалов предел обнаружения составляет ~ 2% образца;
- Для определения элементарной ячейки индексация образцов для неизометрических кристаллических систем сложна;
- Пиковое наложение может возникнуть и ухудшится для «отражений» под большим углом.

2.1.3 Измерение вязкости

Вязкость – это сила сопротивления относительно перемещения слоев жидкости, приходящуюся на единицу площади слоя и отнесенную к скорости сдвига.

Первоначально вязкость была определена Ньютоном, как константу по отношению к скорости сдвига. В дальнейшем выяснялось, что вязкость многих жидкостей значительно изменяется при высоких скоростях сдвига, а вязкость некоторых даже изменяется при низких скоростях сдвига [41]. Для неньютоновских жидкостей подразделение на другие классы также может быть выполнено в соответствии с тем, как вязкость изменяется в зависимости от скорости сдвига, как показано в табл. 2.1.

Таблица 2.1 – Классификация неньютоновских и вязкоупругих материалов

Реологический класс материалов	Подкласс	Описание	Примеры
Вязкоупругие	Тело Максвелла	Последовательное линейное соединение упругого и вязкого элемента	Механические модели, получаемые сочетанием механических эквивалентов простых реологических тел
	Тело Кельвина (Фойгта)	Параллельное линейное соединение упругого и вязкого элемента	
Вязкопластичные	Тело Бингама	Параллельное соединение вязкого и элемента сухого трения	
Вязкость материала не изменяется с продолжительностью механического воздействия (стационарные)	Бингамовский пластик	Минимальное напряжение (напряжение сдвига) необходимо для течения	густые суспензии (различные пасты, Зубная паста, маргарин, глины, шоколад, масляные краски и т.п.).
	Псевдопластичные	Кажущая вязкость понижается с увеличением напряжения сдвига	Бумажная масса в воде, мороженное, кровь, сироп
	Дилатантные	Кажущая вязкость возрастает с увеличением напряжения сдвига	Суспензия крахмала или песка в воде, суспензия (высокая концентрация), глиняный шликер, краска, клеи

Продолжение таблицы 2.1

Вязкость материала изменяется с продолжительностью механического воздействия	Реопексные	Кажущая вязкость возрастает с продолжительностью сдвига	Взбитые кремы
	Тиксотропные	Кажущая вязкость понижается с продолжительностью сдвига	Некоторые глины, многие краски, чернила, паяльная паста, жир, томатный кетчуп, мед, вязкость которых снижается при взбалтывании

Принцип ротационной вискозиметрии

Принцип метода заключается в измерении силы, противодействующей вращению ротора при постоянной угловой скорости в жидкости. Ротационные вискозиметры используются для измерения вязкости ньютоновских жидкостей (вязкость не зависит от напряжения сдвига) и неньютоновских жидкостей (вязкость зависит от напряжения сдвига, кажущаяся вязкость). Существует два вида ротационных вискозиметров: абсолютные и относительные. В абсолютных вискозиметрах поток жидкости в измеряемой форме вполне определенный. Измерения приводят к значениям абсолютной вязкости, которые можно сравнить с любыми другими абсолютными значениями. В относительных вискозиметрах поток жидкости в измеряемой форме не вполне определен. Измерения приводят к значениям относительной вязкости, которые нельзя сравнить с любыми другими абсолютными значениями или другими относительными значениями, если они не определены с помощью того же метода относительной вискозиметрии [42].

Определение динамической вязкости осуществлялось на ротационном вискозиметре Brookfield RVDV-II+ Pro. Принцип работы прибора основан на измерении закручивания калиброванной пружины при вращении шпинделя (цилиндра и др.) в тестируемой жидкости с постоянной скоростью. Схема прибора представлена на рис. 2.2 [43].

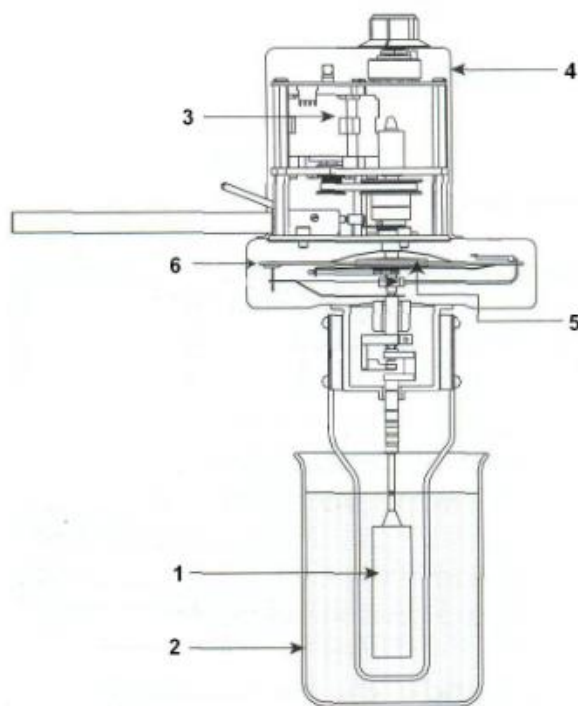


Рисунок 2.2 – Схема ротационного вискозиметра Brookfield [43]

Шпиндель (1) , контейнер (2), мотор (3), корпус (4) , калибровочная пружина (5), дисплей (6)

Ротационные вискозиметры, в принципе, предоставляют высокоточный метод измерения. Однако они требуют использования нескольких видов роторов, для того чтобы обеспечить измерения в широком диапазоне. Диапазон измерений одного ротора узок, и, следовательно, замена роторов вызывает прерывание измерений и потерю времени. Кроме того, точность измерений гарантирована только для полной шкалы, а значит, при измерениях в низком диапазоне вязкости ошибки измерений неизбежны [44]. В наихудшем варианте, точное значение вязкости не может быть получено, поскольку вязкость изменяется при постоянном росте температуры образца после начала измерений, как в низком, так и в высоком диапазоне вязкости. Это происходит потому, что в низком диапазоне вязкости требуется больший ротор для обнаружения вращательного момента, превышающего определенный уровень; в высоком диапазоне вязкости на ротор воздействует большая кинетическая сила, вызванная большой силой трения.

Технические характеристики:

- От 18 до 54 скоростей шпинделя;
- Диапазон измерения температуры: $-100\text{ }^{\circ}\text{C} - 300\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- Точность измерения вязкости: $\pm 1,0\%$;
- Точность измерения температуры: $\pm 1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ в диапазоне $-100 - 149\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\pm 2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ в диапазоне $-150 - +300\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2.1.4 Методика определения соотношений компонентов

Методика необходима для определения доли содержания твердого, растворителя и органики в процентном выражении методом потери массы при 110 °С и 500 °С в сушильном шкафу. Первая температура соответствует потери растворителя, вторая – окислению органической составляющей. Количество твердого определяется вычитанием из 100. Прокаливание проводят в муфельных (или тигельных) печах, в тиглях, доведённых до постоянной массы. После прокаливания тигли помещают в эксикатор для предотвращения поглощения влаги из воздуха. Взвешивание производят на аналитических весах. Как правило, погрешность взвешивания составляет 0,1 мг.

2.1.5 Гидростатическое взвешивание (определение плотности, пористости, водопоглощения)

Гидростатическим взвешиванием измеряют плотность жидкостей и твёрдых тел, основан метод на законе Архимеда. Плотность твёрдого тела определяется его двукратным взвешиванием — сначала в воздухе, а затем в жидкости, плотность которой известна (обычно в дистиллированной воде); при первом взвешивании определяется масса тела, по разности результатов обоих взвешиваний — его объём [45]. При измерении плотности жидкости производят взвешивание в ней какого-нибудь тела (обычно стеклянного поплавка), масса и объём которого известны. Гидростатическое взвешивание в зависимости от требуемой точности производят на технических, аналитических или образцовых весах.

Водопоглощение материалов – важный показатель с точки зрения его эксплуатации. При насыщении материала водой снижается его прочность, увеличиваются средняя плотность, теплопроводность, наблюдаются коррозионные процессы.

Пористость. Общая пористость материала состоит из объема замкнутых пор, изолированных от внешней среды и открытых (капиллярных), доступных проникновению воды, газов. В зависимости от характера пор эксплуатационные свойства материалов – морозостойкость, теплопроводность, звукопоглощение, водонепроницаемость, коррозионная стойкость различны. Так при одинаковой общей пористости свойства материалов будут зависеть от объема открытых пор.

Методика определения:

Подготовленные образцы в количестве не менее трех взвешивают на технических весах с точностью до 0,01 г. Для насыщения пор образцов жидкостью применяют кипячение либо метод вакуумирования. Эти метода равноценны по результатам, но вакуумирование требует меньше времени. Для насыщения кипячением сухие взвешенные образцы помещают на подставке с отверстиями в сосуд и заливают водопроводной водой на 2-3 см от поверхности образцов. Кипячение проводится в течение 2 - 3 часов. Испарившуюся часть

воды необходимо возмещать, так как кипячение образцов, не полностью погруженных в воду, приводит к существенным ошибкам. После кипячения образцы необходимо охладить в воде до комнатной температуры. Для насыщения вакуумированием сухие взвешенные образцы помещают в вакуумную ячейку, присоединенную к вакуум-насосу. После откачки воздуха (остаточное давление 15 - 20 мм рт. ст.) ячейку соединяют с сосудом, содержащим воду или керосин. Под действием разрежения жидкость поступает в сосуд, насыщая поры образцов. Когда образцы насытятся жидкостью, вакуум-насос отключают и ячейку соединяют с атмосферой. Образцы, насыщенные жидкостью, на воздухе и в погруженном состоянии, взвешивают на гидростатических весах.

Водопоглощение V , открытую пористость P_o и кажущуюся плотность ρ подсчитывают по следующим формулам [46]:

$$V = \frac{m_1 - m}{m} \cdot 100, P_o = \frac{m_1 - m}{m_1 - m_2} \cdot 100, \rho = \frac{m \cdot \gamma_{\text{ж}}}{m_1 - m_2}$$

где: m - масса сухого образца при взвешивании на воздухе, г;

m_1 и m_2 - масса образца, насыщенного жидкостью, при взвешивании, соответственно на воздухе и в жидкости, г;

$\gamma_{\text{ж}}$ - плотность использованной жидкости, г/см³.

2. 2 Характеристика сырьевых материалов для получения шликера

2.2.1 Минеральная часть

Минеральная часть представлена порошком AlN производства России марки СВС-И, с содержанием нитрида алюминия 97% и спекающей добавкой Y₂O₃ производства Германии, Н.С. Starck g C.

Физические свойства: Порошкообразный нитрид алюминия обычно белого цвета, монокристаллы водянисто-белого (прозрачны).

Площадь удельной поверхности по данным БЭТ порошка AlN составила 1,549 м²/г, средний размер частиц – 3,1 мкм.

На рисунке 2.3 представлены данные электронной микроскопии исходного порошка, выполненные на растровом электронном микроскопе JEOL JSM 6000 при разном увеличении. На микрофотографиях видно, что частицы порошка нитрида алюминия имеют округлую форму. При этом встречаются конгломераты размером не более 5 мкм и не менее 1 мкм, сложенные более мелкими частицами [9].

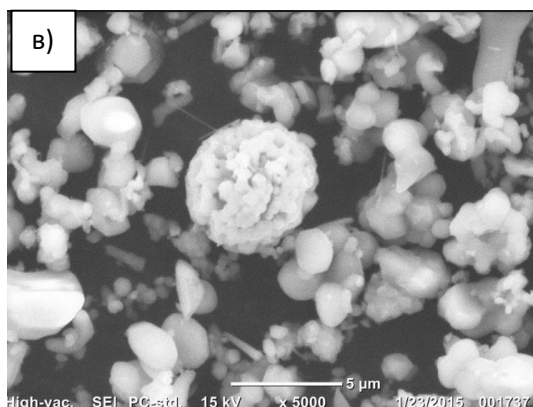
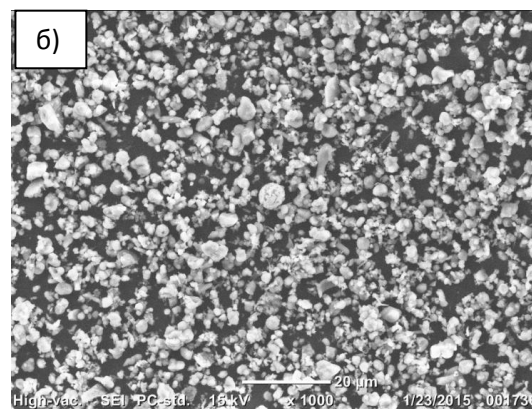
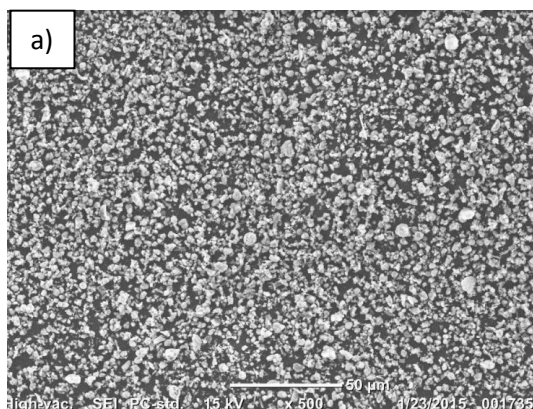


Рисунок 2.3 – Микрофотографии порошка AlN

а) увеличение x500,

б) увеличение x1000,

в) увеличение x5000 [9]

Спекающая добавка

Оксид иттрия — бинарное неорганическое соединение металла иттрия и кислорода с формулой Y_2O_3 , бесцветные (белые) кристаллы, нерастворимые в воде.

В табл.2.2 представлены физические свойства оксида иттрия.

Таблица 2.2 – Физические свойства оксида иттрия

Свойства	Значения
Молярная масса	225,81 г/моль
Температура плавления	2415 °C
Температура кипения	4300 °C
Плотность, ρ	4,84 г/см ³
Стандартная энтальпия образования ΔH (298 К, кДж/моль)	-1904 (т)
Стандартная энтропия образования S (298 К, Дж/моль·К)	99,2 (т)
Стандартная молярная теплоемкость C_p (298 К, Дж/моль·К)	96 (т)

Не растворим в щелочах, реагирует с кислотами.

2.2.2 Растворитель

Толуол – бесцветная, прозрачная, легко воспламеняющаяся жидкость с характерным запахом, нерастворим в воде, растворим в ацетоне, смешивается в любых соотношениях с абсолютным спиртом и эфиром.

Формула C_7H_8

Физические константы представлены в табл. 2.3 [48].

Таблица 2.3 – Физические константы толуола [48]

Физическая константа	Единица измерения	Величина
Температура кипения	°C	110,62
Температура плавления	°C	-94,99
Плотность d^{25}	г/см ³	0,8623
Показатель преломления		1,49693
Вязкость, при 20°C (абсолютная)	сПз	0,584
Вязкость (кинематическая)	сПз	0,675
Теплота образования, ΔH_f^0 , жидкость	кДж/моль	12,0

Получают толуол в основном из нефти при вторичной ее переработке: риформинге низкокипящих продуктов, полученных при прямой перегонке нефти или каталитическом крекинге, пиролизе газойля и рафинатов риформинга, направленном одновременно на получение непредельных и ароматических углеводородов. Очистку нефтяного толуола осуществляют методом экстракции или экстрактивной ректификации.

Требования безопасности [49]:

Толуол токсичен. По степени воздействия на организм человека относится к 3-му классу опасности. Предельно допустимая концентрация толуола в воздухе рабочей зоны производственных помещений – 50 мг/м³. При увеличении концентрации толуол действует раздражающе на слизистые оболочки и кожу, а также вызывает поражение жизненно важных органов и систем.

Толуол – легковоспламеняющаяся жидкость. Температура самовоспламенения 536 °C. Температура вспышки 4 °C. Пределы самовоспламенения: нижний 0 °C, верхний 30 °C.

Этанол – этиловый спирт (этанол, метилкарбинол, винный спирт) одноатомный алифатический с формулой C_2H_5OH . Молекулярная масса (по международным атомным массам 1971 г.) - 46,05.

Внешний вид - прозрачная бесцветная жидкость без посторонних примесей. Этиловый спирт - легко воспламеняющаяся бесцветная жидкость с характерным запахом. Категория и группа взрывоопасной смеси этилового спирта с воздухом ПА-Т2.

Температурные пределы воспламенения насыщенных паров спирта в воздухе: нижний 11 °С, верхний 41 °С. Область воспламенения 3,6-19% (по объему). Предельно допустимая концентрация паров этилового спирта в воздухе производственных помещений (ПДК) - 1000 мг/м [50]. Характеристики этилового спирта, представлены в табл.2.4.

Таблица 2.4 – Свойства этилового спирта [50]

Характеристика	Значение
Плотность	0,7893 (20°С, г/см ³)
Показатель преломления (для D-линии натрия)	1,3611 (20°С)
Показатель диссоциации	pKa (1) = 18 (20 С, вода)
Стандартная энтальпия образования ΔН (298 К, кДж/моль)	-234,8 (г)
Стандартная энтропия образования S (298 К, Дж/моль·К)	281,38 (г)
Стандартная молярная теплоемкость Ср (298 К, Дж/моль·К)	1,197 (г)
Энтальпия плавления ΔНпл (кДж/моль)	4,81
Энтальпия кипения ΔНкип (кДж/моль)	839,3
Температура вспышки в воздухе (°С)	13
Температура самовоспламенения на воздухе (°С)	404

2.2.3 Органическая часть

Связка

Поливинилбутираль (PVB - 98) – аморфный синтетический полимер, полученный в результате взаимодействия поливинилового спирта и масляного альдегида.

Свойства поливинилбутираля характеризуются следующими показателями, представленными в табл. 2.5. [51]:

Таблица 2.5 – Показатели поливинилбутираля [51]

Показатели	Значения
Предел прочности при растяжении	450 – 500 кгс/см ²
Предел прочности при растяжении	800 – 1000 кгс/см ²
Модуль упругости при изгибе	20000 – 22000 кгс/см ²
Ударная вязкость	60 – 100 кгс · см/см ²
Относительное удлинение при разрыве	15 -25%
Теплостойкость по Мартенсу	50 – 55 °С

Поливинилбутираль стоек к взаимодействию кислорода и озона. Он хорошо растворим в спиртах, кетонах, сложных эфирах, смеси этанола с бензолом, не растворим в бензине, диэтиловом эфире [52].

Поливинилбутираль хранят в закрытом помещении при температуре не более плюс 25 °С [53].

Пластификатор

Пластификатор DBP – дибутилфталат (ди – н – бутиловый эфир ортофталевой кислоты). Эмпирическая формула $C_{16}H_{22}O_4$. Молекулярная масса 273,35.

Внешний вид: прозрачная маслянистая жидкость без механических примесей со сладким фруктовым запахом, цвет легко желтый. Пластификаторы представляют собой малолетучие высококипящие жидкости, практически не растворимые в воде, при обычных условиях устойчивые к гидролизу и к воздействию кислорода воздуха.

Хорошо растворим в органических растворителях (этаноле, бензоле, бензине, ацетоне), малорастворим в воде (~0,1 % при 20 °С).

Температура вспышки и воспламенения, предельно допустимая концентрация паров пластификаторов в воздухе рабочей зоны производственных помещений приведены в табл. 2.6 [54].

Таблица 2.6 – Свойства дибутилфталата [54]

Наименование показателя	Значения
Температура вспышки, °С	168
Температура воспламенения, °С	202
Предельно допустимая концентрация паров в воздухе рабочей зоны, мг/м ³	0,5

Основная функция этого пластификатора – это добавить готовой продукции большей эластичности. Готовая продукция, имеющая в своем составе этот компонент, сохраняет изначальную форму, но в тоже время, она может быть гибкой и эластичной. На таком материале не появляются сколы или трещины. Также пластификаторы уместно добавлять в изделия, которые подвергаются частым перепадам температур.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4ГМ82	Бородич Ольге Викторовне

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	им. Н.М.Кижнера
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	18.04.01 Химическая технология

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Рассчитана стоимость исходного сырья, материалов, спецоборудования, комплектующих изделий и покупных полуфабрикатов. Бюджет проекта – не более 100000 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Расчетные величины материалов, сырья и оборудования научно-технического проекта. Значение показателя интегральной ресурсоэффективности – не менее 3,5 баллов.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Система налогообложения (30% отчисления во внебюджетные фонды). Премияльный коэффициент (30 %), районный коэффициент (1,3 (для Томска)), коэффициент доплат и надбавок (20%), заработная плата по тарифной ставке.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Доступность исходного сырья, экологичность, теплоизоляционные свойства, прочность, энергоэффективность.
2. Разработка устава научно-технического проекта	Определение целей и требований, а также результатов исследования.
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Был построен календарный план-график проведения НИОКР. С целью полной оценки стоимости проведения НИ был сформирован бюджет научного исследования. Всё имевшееся на момент начала проведения НИ исходное сырьё было принято как вновь купленное по текущим ценам. Для оборудования рассчитана амортизация.
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Расчет интегрального показателя эффективности.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ
2. Сегментирование рынка
3. Матрица SWOT
4. График проведения и бюджет НТИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ
6. Потенциальные риски

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Спицына Любовь Юрьевна	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ГМ82	Бородич Ольга Викторовна		

ГЛАВА 4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Введение

В данном разделе магистерской диссертации выполняется анализ и расчёт основных параметров для реализации конкурентоспособного продукта, который приносит доход, но и отвечает современным требованиям ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Продуктом, для запуска на рынок, является керамическая подложка из ALN. Стоит отметить, что продукт должен обладать хорошими теплофизическими свойствами, и что самое главное - иметь способность выдерживать конкуренцию на рынке. В данной части происходит определение возможных альтернатив разработки проекта, которые будут отвечать требованиям финансовой и ресурсной эффективности.

Для того чтобы решить задачи, связанные с финансовой оценкой продукта, его ресурсоэффективностью и ресурсосбережением, в экономическом разделе нужно:

- провести анализ и исследования рынка покупателей;
- рассмотреть и исследовать разработки конкурентных решений;
- провести QuaD-анализ;
- провести SWOT-анализ;
- провести планирование НИР;
- рассчитать материальные затраты на изготовление.
- определить ресурсную (ресурсосберегающую), финансовую и экономическую эффективность исследования.

4.1 Предпроектный анализ

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа существующей конкуренции необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Основной продукт, получаемый в ходе научно-исследовательской работы, это керамические подложки из ALN толщиной более 700 мкм.

Керамические подложки используются в основном в производстве радиоэлектроники, приборостроении, в электронике разнообразных сфер применения. На рис. 4.1 представлен рост Российского рынка керамических подложек из разных материалов.

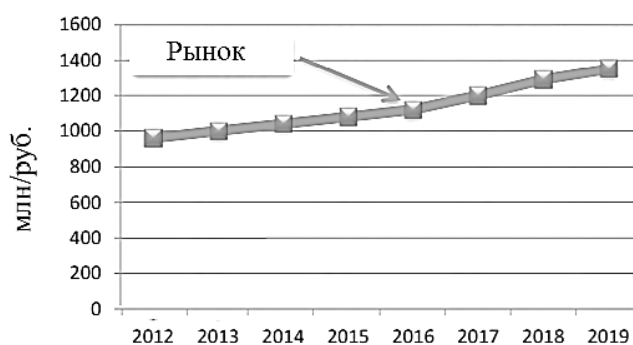


Рисунок 4.1 – Российский рынок керамических подложек Al_2O_3 , AlN , ZrO_2

По данным государственной программы Российской Федерации «Развитие электронной и радиоэлектронной промышленности на 2013-2025 годы» был составлен прогноз российского рынка радиоэлектроники, представленный на рис.2.

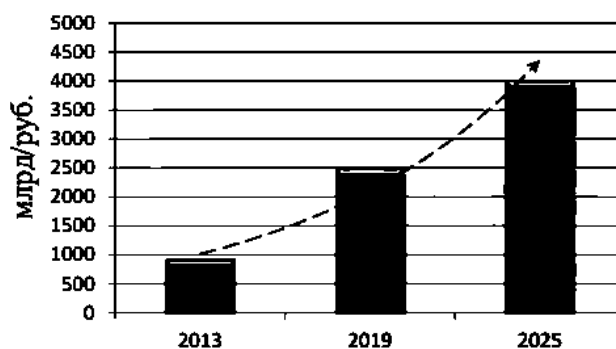


Рисунок 4.2 – Прогноз роста российского рынка радиоэлектроники

Исходя из данных, представленных в прогнозе, можно сделать вывод, что керамические подложки являются перспективным материалом для разных областей промышленности в России. Они изготавливаются в основном из ALN , Al_2O_3 и ZrO_2 .

Самым распространенным керамическим материалом является оксид алюминия. Материал отличается высокой прочностью, умеренной теплопроводностью, устойчив к коррозии и износу. Технические характеристики AL_2O_3 свидетельствуют о преимуществах этого материала.

Неоксидная керамика – нитрид алюминия, также пользуется популярностью у потребителей. Материал интересен сочетанием высокой теплопроводности и отличных изоляционных свойств. ALN активно применяется в энергетике и микроэлектронике, в первую очередь, в качестве материала подложек мощных силовых и СВЧ полупроводниковых приборов - диодов, транзисторов, тиристоров, микросхем, микросборок и многокристальных модулей, термомодулей и подложек мощных светодиодов, как заготовка для керамических печатных плат, требующих высоких показателей надежности.

Главная функция керамики из ALN – отводить тепло от нагревательных элементов, около 60% используется в для рассеяния тепла.

Подложки из ZrO_2 обладают отличной стойкостью к трещинообразованию, прочностью и высокой ударной вязкостью, что делает их незаменимыми для использования в устройствах, работающих в условиях механических воздействий. За счет относительно низкой теплопроводности керамика на основе диоксида циркония является отличным теплоизолятором.

Основываясь на описанных выше достоинствах рассматриваемых материалов, можно сегментировать рынок производства керамической подложки по следующим критериям: отрасль применения, материал изделия табл.4.1.

Таблица 4.1 – Карта сегментирования рынка по виду применения материала

		Материал подложки		
		ALN	ZrO_2	Al_2O_3
Область применения	Электронная и электротехническая промышленность	+	+	+
	Радиотехническая промышленность	+	-	+
	Светодиодная промышленность	+	-	+

Как видно из приведенной карты сегментирования, подложки из ALN применяются во всех отраслях промышленности. Необходимо сосредоточиться на производстве подложек из ALN, т.к. этот материал является единственным техническим материалом, который сочетает крайне высокую теплопроводность и отличные изоляционные свойства в отличие от Al_2O_3 , который тоже занимает все ниши на рынке, т.к. является более дешевым материалом, чем ALN в России. Алумонитридные подложки с высокими показателями теплоотвода в России не производятся, а объем импорта подобной продукции превышает 500 млн руб, в связи с этим в 2015 г. «НЭВЗ –керамикс» (г.Новосибирск) запустил линию по изготовлению подложек. Основное ограничение для роста — жесткая конкуренция со стороны иностранных производителей, которая существенно затрудняет сбыт отечественных подложек. Соперничать в цене с тем же Тайванем или Китаем очень сложно. Существенный ряд потребителей предпочитает пусть и менее качественную, зато более дешевую продукцию. Поэтому целью магистерской диссертации является снижение себестоимости подложки из ALN, за счет получения керамической бездефектной ленты толщиной 700 мкм для «НЭВЗ – керамикс».

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Важно произвести анализ конкурентных разработок для того, чтобы иметь возможность оценить возможность составить конкуренцию другим производителям подобной продукции.

На сегодняшний день основные производители подложек из нитрида алюминия – это Япония (Kyocera и Murata). В России ведущими производителями являются ЗАО «НЭВЗ-КЕРАМИКС», которое находится в Новосибирской области.

Подложки должны обладать хорошей теплопроводностью, т.е. переносить тепло быстро ко всем остальным частям предмета, низким коэффициентом теплового расширения, чтоб при нагревании до высоких температур не увеличивалась подложка в размерах. Хорошими диэлектрическими свойствами, которые показывают, насколько хорошим изолятором являются подложки. Толщина пленки должна быть большой, чтоб тратить меньше сырья на создание пленок, из которых набирается подложка. Пленка должна быть гибкой (эластичной), чтоб не рвалась и не ломалась при использовании. Поверхность должна быть качественной (без пор, без пузырьков, трещин), т.к. это снижает теплопроводность и изоляцию.

В табл.4.2 представлена Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок).

Таблица 4.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентноспособность			Ранг
		Бф	Бк1	Бк2	Бф	Бк1	Бк2	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Химические критерии оценки ресурсоэффективности								
1 Термическая стойкость	0,11	8	7	8	0,84	0,74	0,84	1
2 Высокая теплопроводность	0,10	10	10	10	0,99	0,99	0,99	2
3 Удельное электрическое сопротивление	0,06	7	6	7	0,45	0,39	0,45	8
4 Толщина	0,08	4	3	3	0,30	0,23	0,23	6
5 Коэффициент теплового расширения	0,03	9	8	7	0,26	0,23	0,20	14
6 Прочность на изгиб	0,04	10	9	9	0,35	0,32	0,32	13

Продолжение таблицы 4.2

7 Хорошая изоляция	0,06	8	8	8	0,47	0,47	0,47	9
8 Качество поверхности	0,05	9	9	8	0,42	0,42	0,37	11
9 Плотность	0,04	3	5	4	0,12	0,20	0,16	12
10 Механическая и химическая стойкость, стойкость при высоких температурах	0,07	9	10	10	0,63	0,70	0,70	7
Экономические критерии оценки эффективности								
1 Конкурентоспособность	0,08	3	3	3	0,25	0,25	0,25	5
2 Уровень проникновения на рынок	0,02	8	7	6	0,19	0,16	0,14	15
3 Цена	0,02	8	7	6	0,14	0,12	0,11	16
4 Предполагаемый срок эксплуатации	0,09	2	3	3	0,18	0,26	0,26	4
5. Финансирование научной разработки	0,06	9	9	9	0,47	0,47	0,47	10
6. Срок выхода на рынок	0,01	7	7	7	0,04	0,04	0,04	18
7. Наличие сертификации разработки	0,09	10	10	10	0,94	0,94	0,94	3
Итого	1,00				7,14	7,03	7,03	

Б_ф – разрабатываемые подложки из ALN (Томск);

Б_{к1} – подложки из ALN (Япония, Maruwa);

Б_{к2} – подложки из ALN (ЗАО «НЭВЗ-КЕРАМИКС» Новосибирск).

Коэффициент конкурентоспособности: $K_{\text{ф}}/K_{\text{к1}} = 7,14/7,03 = 1,03$ Полученный коэффициент больше 1, что свидетельствует о том, что продукт исследовательской работы является конкурентоспособным. Следовательно, научная разработка является эффективной для производства.

К проблемной зоне относятся: толщина и срок эксплуатации. Рекомендации, что бы улучшить критерии продукта:

1. Это улучшить состав шликера, тем самым улучшить его свойства, попробовать перейти на более качественное сырье;
2. Уменьшить зазор между лентой и ножом, изменить угол, форму лезвия ножа;
3. Улучшить процесс приготовления пленок.

4.1.3 Диаграмма Исикава

Диаграмма причины-следствия Исикавы (Cause-and-Effect-Diagram) – это графический метод анализа и формирования причинно-следственных связей, инструментальное средство для систематического определения причин проблемы и последующего графического представления. Область применения диаграммы:

- Выявление причин возникновения проблемы;
- Анализ и структурирование процессов на предприятии;
- Оценка причинно-следственных связей.

Диаграмма Исикава для данного проекта на рисунке 1.

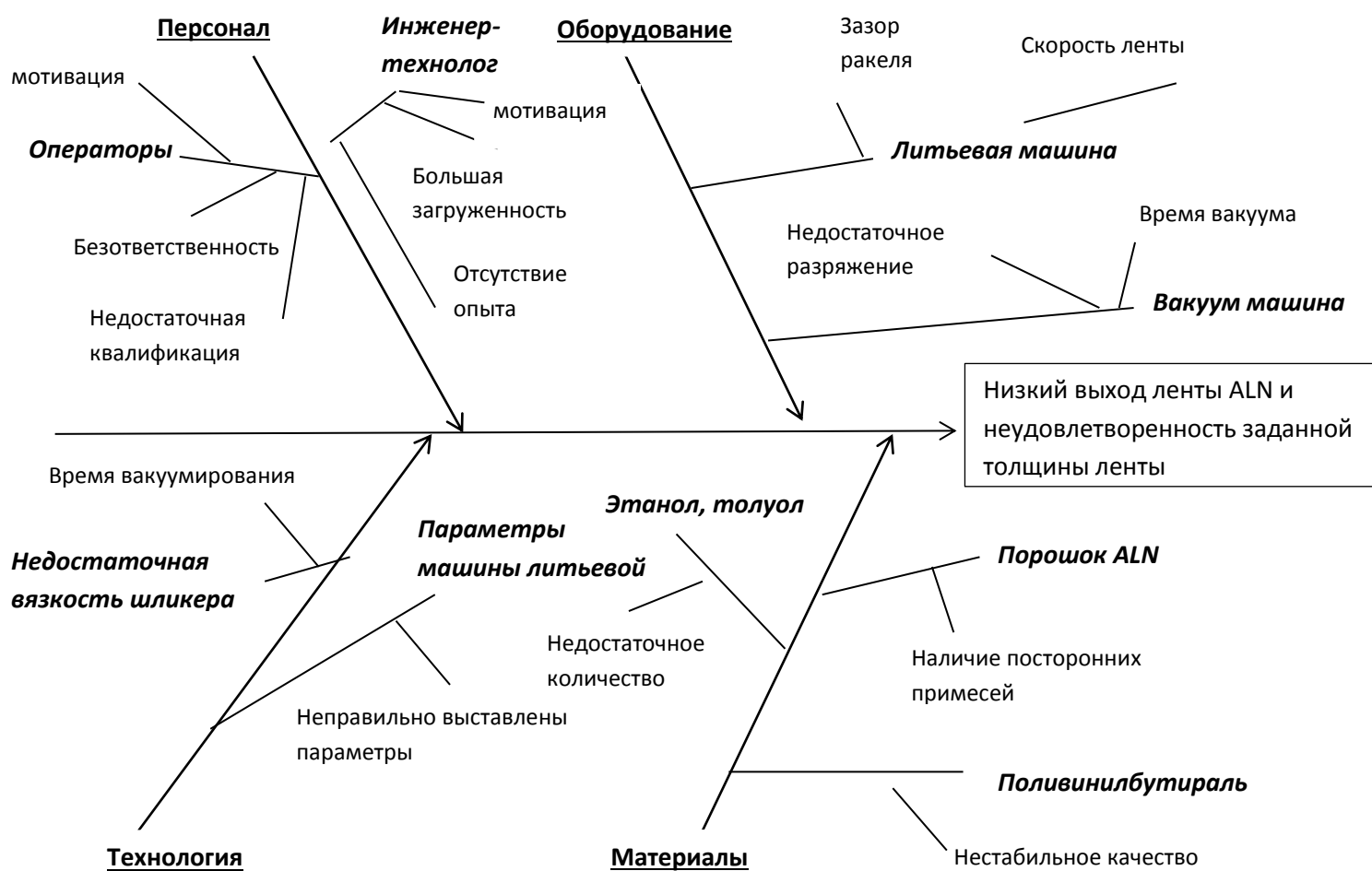


Рисунок 1 – Диаграмма Исикавы

4.1.4 SWOT-анализ

Базовым рынком сбыта продукции является рынок Российской Федерации и Япония. SWOT-анализ используют для исследования внешней и внутренней среды проекта. SWOT-анализ представлен в табл.4.3.

Таблица 4.3 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Безотходное производство. 2. Высокая термическая стойкость. 3. Хорошая гибкость. 4. Высокая теплопроводность. 5. Использование меньшего количества исходного сырья. 6. Быстрее набирается толщина подложки. 	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Высокие требования к продукту. 2. Малый рынок сбыта из-за конкуренции с большими зарубежными фирмами. 3. Использование импортного сырья 4. Малый круг потребителей.
<p>Возможности:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Использование нетоксичного экологически чистого нитрида алюминия 2. Инновационные достижения в области керамики (НИОКР) 3. Появление дополнительного спроса на улучшенный продукт 	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и возможности»</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Применение в сложных деталях, тем самым расширение области применения 2. Подбор состава для улучшения свойств и качества продукта 3. Увеличить толщину пленок, для уменьшения количества пленок для создания подложки 	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности»</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Расширить область применения за счет экологичности и улучшения качества по сравнению с другими нитридами 2. Анализ слабых сторон конкурентов и сосредоточение на этих свойствах в своем продукте
<p>Угрозы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Высокая стоимость оборудования (ремонт) 2. Производители с более развитыми технологиями 	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы»</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Совершенствование методики и состава шликера, в 	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы»</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Использовать разный механизм

3. Потеря поставщиков	соответствии	исполнения пленок
4. Изменение валютных курсов	с конкурентными преимуществами	2. Разработать более качественный продукт
5. Сложность продвижения	2. Переход на отечественное сырье	3. участие в грантах и конкурсах
6. Поступление на рынок альтернативных товаров	3. Создание собственного оборудования для производства пленок	4. Поддержка инвесторами

В результате выполнения SWOT-анализа можно сделать вывод о том, что продукт имеет преимущества перед конкурентами при выходе на рынок: безотходное производство, обладает высокой термической стойкостью, хорошей гибкостью, высокой теплопроводностью, используется меньшее количества исходного сырья для отливания пленок, быстрее набирается толщина подложки. Несмотря на преимущества, есть и слабые стороны продукта: высокие требования к продукту, малый рынок сбыта из-за конкуренции с большими зарубежными фирмами, использование импортного сырья, малый круг потребителей. Для улучшения и устранения слабых сторон необходимо: усовершенствовать свойства продукта и технологию изготовления пленок, улучшить состав или заменить компоненты, входящие в шликер отечественным сырьем.

4.1.5 Оценка готовности проекта к коммерциализации

В таблице 4.4 приведены данные оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации, по результатам которой можно сделать вывод об объемах инвестирования в текущую разработку и направления ее дальнейшего улучшения, об уровне компетенций недостающих разработчику и возможности привлечения требуемых специалистов в команду проекта.

Таблица 4.4 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
Определен имеющийся научно-технический задел	5	5
Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	4

Продолжение таблицы 4.4

Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	5
Определена товарная форма научнотехнического задела для представления на рынок	5	5
Определены авторы и осуществлена охрана их прав	3	3
Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	2
Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	1	1
Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	1
Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	3
Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	2	2
Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	1
Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	2	2
Имеется команда для коммерциализации научной разработки	2	2
Проработан механизм реализации научного проекта	2	2
ИТОГО	39	39

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. По итогам степени готовности научного проекта к коммерциализации $B_{\text{сум}} = 39$. Перспективность данной научной разработки можно считать средней. Для повышения степени эффективности проекта необходимо провести маркетинговые исследования, сформировать соответствующий бизнес-план, проработать вопрос финансирования данной разработки, а также оценить возможность использования услуг инфраструктуры для поддержки проекта.

4.1.6 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

В качестве методов коммерциализации рассматриваемой разработки были выбраны инжиниринг и торговля патентными лицензиями. В рамках осуществления первого метода заказчику будут предоставлены на основе договора инжиниринга все услуги, связанные с разработкой новых технологических процессов на предприятии заказчика или усовершенствованием уже имеющихся производственных процессов для производства разработанного композиционного материала и дальнейшего его сбыта. Также возможно осуществлять торговлю патентной лицензией на данную разработку, т.е. передавать третьим лицам право на использование данного объекта интеллектуальной собственности на лицензионной основе.

4.2 Инициация проекта

4.2.1. Цели и результат проекта

Информация по заинтересованным сторонам проекта представлена в табл. 4.4.

Таблица 4.4 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Кафедра ТСН	Разработка фундаментального исследования; Технологическая схема производства пленок из нитрид алюминия
ЗАО «НЭВЗ-КЕРАМИКС» Новосибирск	Технология производства нитрид алюминиевых пленок определенной толщины

Цели и результаты проекта представлены в табл. 4.5.

Таблица 4.5 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Разработать технологию получения пленок ALN, снижение себестоимости подложки из AlN, за счет получения керамической без дефектной ленты большой толщины
Ожидаемые результаты проекта:	Технологическая схема производства пленок ALN; готовый продукт, с высоким уровнем эксплуатационных свойств и с высокой толщиной
Критерии приемки результата проекта:	- соответствие требований к готовому продукту - воспроизводимость технологии
Требования к результату проекта:	Требование:
	Воспроизводимость технологической схемы
	Универсальность технологии
	Достижение поставленных целей
	Экологичность

4.2.2. Организационная структура проекта

На данном этапе работы необходимо решить следующие вопросы: кто будет входить в рабочую группу данного проекта, определить роль каждого участника в данном проекте, а также прописать функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте.

Таблица 4.6 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, Основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1	Дитц А.А., НИ ТПУ, ИШНПТ, кафедра технологии силикатов и	Руководитель проекта	Координирует деятельность	64

	наноматериалов, доцент		участников проекта	
2	Бородич О.В., НИ ТПУ, ИШНПТ, кафедра технологии силикатов и наноматериалов, магистрант	Исполнитель по проекту	Специалист, выполняющий отдельные работы по проекту	480
Итого:				544

Трудозатраты были рассчитаны на основании диаграммы Ганта.

4.2.3. Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а так же «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта.

Таблица 4.7 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
Бюджет проекта	100000 руб.
Источник финансирования	НИ ТПУ
Сроки проекта:	Февраль 2019 – май 2019 гг
Дата утверждения плана управления Проектом	март 2019
Дата завершения проекта	май 2020
Прочие ограничения и допущения	Время использования научного оборудования

4.3 Планирование научно-исследовательских работ

4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

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

Выполнение данной ВКР не требует большого количества участников. В рабочую группу входит научный руководитель и студент.

Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной научно-исследовательской работы, приведен в табл. 4.8.

Таблица 4.8 – Порядок этапов работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель, инженер
Выбор направления Исследований	2	Выбор направления Исследований	Руководитель, инженер
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Руководитель Инженер
	6	Проведение экспериментов	Инженер
	7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиям	Руководитель, Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка полученных результатов	Руководитель, Инженер
	9	Определение целесообразности проведения магистерской диссертации	Руководитель, Инженер
Проведение магистерской диссертации			
Разработка технической документации и проектирование	10	Разработка технологии	Руководитель, Инженер
Изготовление и испытание опытного образца	11	Получение опытных образцов	Инженер
	12	Лабораторные испытания опытных образцов	Руководитель, Инженер

Продолжение таблицы 4.8

Оформление комплекта документации по ВКР	13	Составление пояснительной записки	Инженер
--	----	-----------------------------------	---------

4.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

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

Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ож\ i}$ используется следующая формула:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{min\ i} + 2t_{max\ i}}{5}, \quad (4.1)$$

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

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости, рассчитывается продолжительность каждой работы в рабочих днях:

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

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дней;

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

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

4.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

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

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

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

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

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (4.4)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

В 2017 году 365 календарных дней, из них выходных/праздничных 118 и рабочих 247 дней. Тогда коэффициент календарности равен:

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48.$$

В таблице 4.9 представлены временные показатели проведения научно - исследовательской работы.

Таблица 4.9 – Временные показатели проведения научного исследования

Название Работ	Трудоемкость работ			Исполнители	Т _{рi} , раб.дн.	Т _{кi} , кал.дн.
	t _{min} , чел- дни	t _{max} , чел- дни	t _{ож} , чел- дни			
Составление и утверждение технического задания	1	2	1,4	Р	0,7	1
	1	2	1,4	И	0,7	1
Выбор направления исследований	1	2	1,4	Р	0,7	1
	1	2	1,4	И	0,7	1
Подбор и изучение материалов по теме	16	22	18,4	И	9,2	14
Календарное планирование работ по теме	1	2	1,4	Р	0,7	1
	3	4	3,4	И	1,7	3
Проведение теоретических расчетов и обоснований	20	22	20,8	И	10,4	15
Проведение экспериментов	21	23	21,8	И	10,9	16
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиям	3	4	3,4	И	1,7	3
Оценка полученных Результатов	1	2	1,4	Р	0,7	1
	4	7	5,2	И	2,6	4

Продолжение таблицы 4.9

Определение целесообразности проведения ВКР	2	3	2,4	Р	1,2	2
	3	4	2,8	И	1,4	2
Разработка технологии	2	4	2,8	Р	1,4	2
	2	4	2,8	И	1,4	2
Получение опытных образцов	9	11	9,8	И	4,9	7
Лабораторные испытания опытных образцов	17	20	18,2	И	9,1	13
Составление пояснительной записки	20	25	22	И	11	16
Итого	Р				5	8
	И				66	98

Р – руководитель; И – инженер.

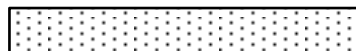
На основе таблицы 4.9 был построен календарный план-график в виде диаграммы Ганта.

Таблица 4.10 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Вид работы	Т _{кд} , Дней		Продолжительность выполнения работ									
	Р	И										
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
Составление и утверждение технического задания	1	1										
Выбор направления Исследований	1	1										
Подбор и изучение материалов по теме	-	14										
Календарное планирование работ по теме	1	3										
Проведение теоретических расчетов и обоснований	-	15										
Проведение экспериментов	-	16										

Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиям	-	3										
Оценка полученных результатов	1	4										
Определение целесообразности проведения ВКР	2	3										
Разработка технологии	2	2										
Получение опытных образцов	-	7										
Лабораторные испытания опытных образцов	-	13										
Составление пояснительной Записки	-	16										

Руководитель



Инженер



4.3.4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

4.3.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения.

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Результаты расчета затрат на сырье в процессе проведения НИР представлены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Затраты на сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед. руб.	Затраты на материалы $З_m$, руб.
Порошок нитрид алюминия	кг	2	20000	40000
Поливинилбутираль	кг	0,168	590	99,12
Дибутилфталат	л	0,168	300	50,4
Этанол	л	0,648	180	116,64
Толуол	л	0,324	56	18,14
Олеиновая кислота	кг	0,01	120	1,2
Всего за материалы				40285,50
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				2014,28
Итого по статье C_m				42299,78

4.3.4.2 Расчет затрат на оборудование для научно экспериментальных работ

Расчет сводится к определению амортизационных отчислений, так как оборудование было приобретено до начала выполнения данной работы и эксплуатировалось ранее, поэтому при расчете затрат на оборудовании учитываем только рабочие дни по данной теме. Все оборудование имеется в наличии. Насос, печь и весы не амортизируются, поскольку их стоимость составляет менее 100000 рублей, в затраты включается их полная стоимость.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле (4.5):

$$A = \frac{C_n \cdot H_a \cdot n}{100 \cdot k}, \quad (4.5)$$

где C_n – первоначальная стоимость оборудования;

H_a – норма амортизации, %;

n – количество дней использования оборудования;

k – количество рабочих дней в году.

$$A_1 = \frac{300000 \cdot 0,07 \cdot 4}{222} = 376,68;$$

$$A_2 = \frac{300000 \cdot 0,07 \cdot 6}{222} = 8475,34;$$

$$A_3 = \frac{300000 \cdot 0,14 \cdot 8}{222} = 502,24;$$

Таблица 4.12 – Расчет затрат на оборудование

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во ед.	Срок службы оборудования, год	время использования, дней	H_a , %	Цена оборудования, тыс. руб.	Амортизация
1	Печь муфельная ПМ-8	1	8	4	-	42300	-
2	Вискозиметр Брукфильда DVII+PRO	1	17	4	7	300000	376,68
3	Насос вакуумный мембранный	1	12	12	-	20000	-
4	Литьевая машина САМ-L252	1	15	6	7	4500000	8475,34
5	Шаровая мельница лабораторная	1	7	8	14	100000	502,24
6	Весы аналитические Веста В153	1	12	4	-	15000	-
ИТОГО: 86654,26							
Затраты электроэнергии: 5867,28							
Итого по статье: 92521,54							

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле 4.6.

$$Z_э = N \cdot t \cdot P, \quad (4.6)$$

где N – мощность электроприбора, кВт;

t – время использования оборудования, час;

P – стоимость электроэнергии, 5,8 руб./кВт.

$$Z_{э1} = 3 \cdot 192 \cdot 5,8 = 3340,8 \text{ руб};$$

$$Z_{э2} = 1,50 \cdot 8 \cdot 5,8 = 69,6 \text{ руб};$$

$$Z_{э3} = 2,40 \cdot 8 \cdot 5,8 = 111,36 \text{ руб};$$

$$Z_{э4} = 3,50 \cdot 48 \cdot 5,8 = 974,4 \text{ руб};$$

$$З_{э5} = 2,40 \cdot 96 \cdot 5,8 = 1336,32 \text{ руб};$$

$$З_{э6} = 1,50 \cdot 4 \cdot 5,8 = 34,8 \text{ руб};$$

Расчет затрат на электроэнергию представлен в табл.4.13.

Таблица 4.13 – Расчет затрат на электроэнергию

Наименование оборудования	N, кВт/ч	t, ч	Затраты, руб.
Печь муфельная ПМ-8	3,00	192	3340,8
Вискозиметр БрукфильдаDV-II+PRO	1,50	8	69,6
Насос вакуумный мембранный	2,40	8	111,36
Литьевая машина САМ-L252	3,50	48	974,4
Шаровая мельница лабораторная	2,40	96	1336,32
Весы аналитические Веста В153	1,50	4	34,8
Итого:			5867,28

4.3.4.3. Основная заработная плата исполнителей темы

Оклад руководителя от ТПУ (доцента, к.т.н) составляет 33664 рубля (без учета районного коэффициента). Оклад инженера составляет 9489 руб. (без учета районного коэффициента), (принято на основе данных с окладов профессорско-преподавательского состава и дипломников-студентов).

Статья включает основную заработную плату и дополнительную заработную плату:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (4.7)$$

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

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12 – 20 % от $З_{осн}$).

Основная заработная плата ($З_{осн}$) руководителя (инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p, \quad (4.8)$$

где $З_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб;

$З_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно – техническим работником, раб. дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле 4.9:

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_d}, \quad (4.9)$$

где $З_m$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

М – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

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

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн.

В таблице 4.14 приведен баланс рабочего времени каждого работника НТИ.

Таблица 4.14 – Баланс рабочего времени за 2020 г

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней (выходные дни/праздничные дни):	118	118
Потери рабочего времени		
Отпуск:	48	24
Невыходы по болезни:	0	0
Действительный годовой фонд рабочего Времени	200	224

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{\text{окл}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_d) \cdot k_r, \quad (4.10)$$

где $Z_{\text{окл}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (30% от $Z_{\text{окл}}$);

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

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

Расчёт основной заработной платы приведён в табл. 4.15.

Таблица 4.15 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{окл}}$, руб.	k_r	$k_{\text{пр}}$	k_d	Z_m , руб.	$Z_{\text{дн}}$, руб.	T_r , раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель	33664	1,3	0,3	0,2	43763,2	2275,69	5	11378,45
Инженер	9489	1,3	0,3	0,2	12335,7	616,79	66	40708,14
					Итого $Z_{\text{осн}}$ 52086,59			

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле (4.11):

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (4.11)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Общая заработная исполнителей работы представлена в таблице 4.16.

Таблица 4.16 – Общая заработная плата исполнителей

Исполнители	$Z_{\text{осн}}$, руб.	$Z_{\text{доп}}$, руб.	$Z_{\text{зп}}$, руб.
Руководитель	11378,45	1365,14	12743,59
Инженер	40708,14	4884,98	45593,12
Итого:			58336,71

4.3.4.4. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды рассчитывается последующей формуле (4.12):

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (4.12)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды, 30%.

В табл.4.17 представлены отчисления во внебюджетные фонды.

Таблица 4.17 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	11378,45	1365,14
Инженер	40708,14	4884,98
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,30	0,30
Итого: 17501,01		

4.3.4.5. Накладные расходы

Накладные расходы включают в себя следующие расходы: печать ксерокопирование материалов исследования, размножение материалов и т.д.

Величина накладных расходов определяется по формуле (4.13):

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (4.13)$$

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

4.3.4.6. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Расчет бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведен в таблице 4.18.

Таблица 4.18 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		Примечание
	Руководитель	Инженер	
1. Материальные затраты НТИ	40285,50		Табл.4.11
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	92521,54		Табл.4.13
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	11378,45	40708,14	Табл. 4.15
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	1365,14	4884,98	Табл. 4.16
5. Отчисления во внебюджетные Фонды	17501,01		Табл.4.17
6. Накладные расходы	33383,16		16 % от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат НТИ	242027,92		Сумма ст. 1-6

Как видно из таблицы 4.18 основные затраты НТИ приходятся на основную заработную плату исполнителей темы.

4.3.5 Реестр рисков проекта

На пути реализации проекта могут возникнуть разного рода риски, представляющие опасность того, что поставленные цели проекта могут быть не достигнуты полностью или частично. Полностью избежать риска практически 78 невозможно, но снизить их угрозу можно, уменьшая действие неблагоприятных факторов. Возможные риски представлены в таблице 4.19.

Таблица 4.19 – Реестр рисков

№	Риск	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска	Способы смягчения риска
Технические риски					
1	Требования	1	5	средний	Отслеживание изменений

2	Технология	2	4	средний	требований к материалом, с помощью которых проводится исследование. Постоянный поиск путей оптимизации производства и усовершенствования технологии
3	Качество	3	5	высокий	
4	Эффективность и надежность	2	4	средний	
Внешние риск					
5	Качество предоставляемых расходных материалов	2	5	средний	Изучение конъюнктуры рынка. Страхование имущества. Изучение изменений в российском законодательстве. Определение мер поощрений и наказаний по отношению к рабочим.
6	Предписания контролирующих органов	3	3	средний	
7	Рынок	2	4	средний	
8	Непредвиденные обстоятельства	2	3	средний	
9	Изменения российского законодательства	2	2	низкий	
10	Небрежность и недобросовестность сотрудников	3	5	высокий	

Высокий - реализация риска может привести к существенному снижению стоимости производства, существенным незапланированным дополнительным расходам или репутационному ущербу для производства. Средний - реализация риска может привести к среднему снижению стоимости производства, несущественному репутационному ущербу, однако потребуются дополнительные расходы со стороны производства. Низкий - Реализация рисков в данной категории может привести к несущественному снижению стоимости производства. Данный проект является перспективным с точки зрения ресурсопотребления,

так как в отличие от аналогов в проекте предусмотрены меньшие затраты на себестоимость будущей продукции за счет использования отечественных и качественных сырьевых материалов и возможное достижение требуемых литейных свойств шликера.

4.4 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (4.14)$$

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

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения.

$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 232375,16$ руб, $\Phi_{\text{исп.1}} = 250400$ руб, $\Phi_{\text{исп.2}} = 255460$ руб.

$$I_{\text{финр}}^{\text{тек.пр.}} = \frac{232375,16}{255460} = 0,91;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп1}} = \frac{250400}{255460} = 0,98;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп2}} = \frac{255460}{255460} = 1.$$

Интегральный показатель ресурс эффективности рассчитывается как:

$$I_{pi} = \sum (a_i \cdot b_i), \quad (4.15)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки.

Сравнительная оценка характеристик вариантов объекта представлена в таблице 4.20.

Таблица 4.20 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий Проект	Исп.2	Исп.3
1.Сложность технологии	0,3	5	4	2
2. Диэлектрические свойства	0,25	5	5	5
3. Теплофизические свойства	0,1	5	5	4
4.Коэффициент теплового расширения	0,1	4	3	3

5.Способность к металлизации	0,15	5	4	4
6.Материалоемкость	0,1	5	5	4
Итого	1,00			

Подложки должны обладать хорошим теплоотводом, отвод тепла от нагревательных элементов (теплофизические свойства), низким коэффициентом теплового расширения, чтоб при нагревании до высоких температур не увеличивалось в размерах. Хорошими диэлектрическими свойствами, которые показывают, насколько хорошим изолятором являются подложки. Сложность технологии, не каждая компания способна изготовить подложки.

$$I_{pт.пр.} = 0,3 \cdot 5 + 0,25 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 = 4,9;$$

$$I_{pисп.1} = 0,3 \cdot 4 + 0,25 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 = 4,35;$$

$$I_{pисп.2} = 0,3 \cdot 2 + 0,25 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 = 4,55;$$

Сравнительная оценка характеристик вариантов объекта представлена в таблице 4.21.

Таблица 4.21 – Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Текущий проект	Исп.1	Исп.2
Интегральный финансовый показатель разработки $I_{финр}$	0,91	0,98	1
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки I_p	4,9	4,35	3,55
Интегральный показатель эффективности I	5,325	4,439	3,55
Сравнительная эффективность вариантов Исполнения	1,5	1,200	1,250

В целом, данный проект является перспективным с точки зрения ресурсопотребления, так как в отличие от аналогов в проекте предусмотрены меньшие затраты на себестоимость будущей продукции за счет использования местных недорогих сырьевых материалов и возможное достижение требуемых характеристик.

Заключение по разделу

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. Основным преимуществом проекта, которое необходимо развивать, является использование отечественного сырья и частичный отказ от импортного, так же поиск оптимальных добавок

при использовании которых шликер будет соответствовать всем литейным требованиям, которые обеспечат технические характеристики шликера на уровне конкурентных разработок.

Проверили ресурсоэффективность, после чего можно сделать вывод, что технология производства подложек, проверяемая экспериментом, является экономически выгодной, так как расход сырья и электроэнергии незначителен. Согласно предложенной технологии получения «сырой ленты» подложку можно собрать из 2 слоев в отличие от других производителей, которые собирают подложку из 6 до 8 слоев. Общий бюджет НТИ составил 242027,92 руб., из них материально-технических затрат – 183691,21 руб., человеческих – 58336,71руб. Это в 3-4 раза дешевле аналогов.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА

1. Аксёнова (Полозова) Н. В., Шепетовский Д. В., Бородич О. В., Дубровская М. В. Модель ресурсоэффективного каркасного светильника // Молодой ученый. - 2015 - №. 9(89). - с. 142-146
2. O.V. Borodich Waste recycling as a problem of energy efficiency//Иностранный язык в контексте проблем профессиональной коммуникации: материалы II Международной научной конференции (Томск, 27–29 апреля 2015 г.). –Томск: Изд-во Томского политехнического университета, р 28-29
3. Бородич О. В. Влияние состава и реологических свойств шликера на качество отлитой ленты и спеченную керамику / О. В. Бородич ; науч. рук. А. А. Дитц // Химия и химическая технология в XXI веке : материалы XIX Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени профессора Л. П. Кулёва, 21-24 мая 2018 г., г. Томск. — Томск : Изд-во ТПУ, 2018. — [С. 52-53].
4. Бородич О. В. Влияние состава и реологических свойств шликера на качество отлитой ленты / О. В. Бородич, А. А. Дитц // Высокие технологии в современной науке и технике (ВТСНТ-2018) : сборник научных трудов VII Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, г. Томск, 26–30 ноября 2018 г. — Томск : Изд-во ТПУ, 2018. — [С. 62-63]