

Школа новых производственных технологий _____
 Направление подготовки Химическая технология _____
 Отделение школы (НОЦ) Н.М. Кижнера _____

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Влияние условий получения порошков AlN на процесс спекания и свойства керамики
УДК 621.762.5:546.62'17:666.3-02

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г51	Нерушкина Елизавета Сергеевна		

Руководитель ВКР

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

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Криницына Зоя Васильевна	К.Т.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Скачкова Лариса Александровна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ревва Инна Борисовна	К.Т.Н.		

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ
ПО ООП 18.03.01 (240100) ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять базовые и специальные, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ПК-1, 2, 3, 19, 20), Критерий 5 АИОР (п. 1.1)
P2	Применять знания в области современных химических технологий для решения производственных задач	Требования ФГОС (ПК-7, 11, 17, 18, ОК-8), Критерий 5 АИОР (пп. 1.1, 1.2)
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии	Требования ФГОС (ПК-1, 5, 8, 9, ОК-2, 3), Критерий 5 АИОР (пп. 1.2)
P4	Разрабатывать технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование химической технологии	Требования ФГОС (ПК-11, 26, 27, 28), Критерий 5 АИОР (п. 1.3)
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных химических технологий	Требования ФГОС (ПК-4, 21, 22, 23, 24, 25, ОК-4, 6), Критерий 5 АИОР (п. 1.4)
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на химико-технологическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	Требования ФГОС (ПК-6, 10, 12, 13, 14, 15, 16 ОК-6, 13, 15), Критерий 5 АИОР (п. 1.5)
<i>Общекультурные компетенции</i>		
P7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-5, 9, 10, 11), Критерий 5 АИОР (пп. 2.4, 2.5)
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1, 2, 7, 8, 12), Критерий 5 АИОР (2.6)
P9	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-14), Критерий 5 АИОР (п. 2.2)
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК-3, 4), Критерий 5 АИОР (пп. 1.6, 2.3)

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ Н.М. Кижнера

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Г51	Нерушкиной Елизавете Сергеевне

Тема работы:

Влияние условий получения порошков AlN на процесс спекания и свойства керамики	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Объект исследования - высокотеплопроводный плотно-спеченный керамический материал на основе нитрида алюминия с применением спекающей добавки в виде оксида иттрия.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	Анализ литературных источников; постановка задач исследования; изучение методов исследования; анализ результатов экспериментов; финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; социальная ответственность; заключение по работе.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	Результаты экспериментов, рентгенофазовый анализ образцов, микрофотографии.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Криницына З.В., доцент ОСТН, к.т.н.
Социальная ответственность	Скачкова Л.А., старший преподаватель ООД ШБИП
Экспериментальная часть	Дитц А.А., доцент НОЦ Н.М. Кижнера, к.т.н.

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

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г51	Нерушкина Елизавета Сергеевна		

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий

Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология

Уровень образования бакалавриат

Отделение школы (НОЦ) НОЦ Н.М. Кижнера

Период выполнения _____ осенний / весенний семестр 2018 /2019 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы: _____

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

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

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

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ревва И.Б.	К.Т.Н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 103 страницы, 38 рисунков, 26 таблиц, 41 литературный источник.

Ключевые слова: нитрид алюминия, оксид иттрия, теплоемкость, спекание, удельная теплопроводность.

Объектом исследования является высокотеплопроводный плотно-спеченный керамический материал на основе нитрида алюминия с применением спекающей добавки в виде оксида иттрия.

Цель работы – оценить влияние условий получения порошков нитрида алюминия на процесс спекания и свойства керамики.

В процессе исследования проводились: приготовление шихты и получение гранулята на основе порошка нитрида алюминия, спекание сформованных образцов, определение фазового состава и микроструктуры сформованных образцов.

В результате исследования: установлено влияние условий получения порошков нитрида алюминия на процесс спекания и свойства керамики.

Степень внедрения: лабораторные испытания.

Область применения: электроника и электротехника.

Экономическая эффективность/значимость работы: в результате проведения анализа экономической эффективности выявлено, что данное исследование актуально, в связи с использованием нетоксичного, высокотеплопроводного нитрида алюминия, отличающегося дешевизной получения.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	10
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	12
1.1 Нитрид алюминия, строение и свойства	12
1.1.1 Физико-химические свойства	12
1.1.2 Теплофизические свойства	14
1.2 Основные способы получения нитрида алюминия	14
1.2.1 Карботермический синтез AlN	16
1.2.2 Прямое азотирование	17
1.2.3 Самораспространяющийся высокотемпературный синтез AlN	19
1.3 Способы формования	20
1.3.1 Горячее прессование	21
1.3.2 Литье на пленку	24
1.3.3 Холодное прессование в пресс-формах	27
2 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И МАТЕРИАЛЫ	29
2.1 Цели и задачи	29
2.2 Методы исследований	29
2.2.1 РФА рентгенофазовый анализ	29
2.2.2 РЭМ растровая электронная микроскопия	31
2.2.3 Гидростатическое взвешивание	33
2.2.4 Изготовление аншлифов	35
3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ	37
4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	65
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования	65
4.2 SWOT-анализ	67
4.3 Планирование научно-исследовательских работ	68
4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования	68
4.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ	69
4.3.3 Разработка графика проведения научного исследования	70
4.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	74
4.4.1 Расчет материальных затрат НТИ	74

4.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	74
4.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы	75
4.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	77
4.4.5 Накладные расходы	78
4.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	78
5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	83
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	84
5.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства	84
5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя	85
5.2 Профессиональная социальная безопасность	86
5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования	86
5.2.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований	87
5.2.2.1. Повышенная запыленность воздуха рабочей зоны	87
5.2.2.2 Повышенная температура воздуха рабочей зоны	88
5.2.2.3 Повышенный уровень вибрации	88
5.2.2.4 Токсическое воздействие на организм человека	89
5.2.2.5 Электрический ток.....	90
5.2.2.6 Движущиеся машины и механизмы.....	90
5.2.2.7 Повышенная температура поверхностей оборудования и обрабатываемых материалов	91
5.2.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов	91
5.3 Экологическая безопасность.....	92
5.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду	92
5.3.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду	93
5.3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	94
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	95
5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследования	95

5.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований	95
5.4.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	96
Выводы по разделу социальная ответственность	97
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	98
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА	100
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	101

ВВЕДЕНИЕ

Электроника и электротехника являются востребованными сегментами рынка в соответствии с мировыми тенденциями развития. Керамические элементы для электронной промышленности, в том числе для теплонагруженных элементов полупроводниковых приборов, мощных светодиодов, изоляторов различного применения для электротехники и энергетики, микросхем, микросборок и многокристальных модулей, термомодулей и подложек мощных светодиодов, а также других компонентов и устройств, где требуются высокие диэлектрические характеристики, прочность и теплопроводность материала. Проблема теплоотвода в полупроводниковых приборах, работающих при комнатной температуре и выше является одним из лимитирующих факторов в их работе, который решается путем закрепления полупроводникового прибора на диэлектрическую подложку с высокой теплопроводностью [1]. Применяемый в настоящее время разработчиками электронной аппаратуры оксид бериллия, имеющий лучшую среди диэлектриков теплопроводность, является остродефицитным, малодоступным и высокотоксичным материалом. В связи с этим приобретает особое значение поиск альтернативного материала. Применение керамических материалов растет, так как свойства современной керамики обладают преимуществом по сравнению с традиционными материалами, и перспективным направлением является производство высокотеплопроводных материалов и изделий. Одним из таких материалов является нетоксичный и экологически чистый нитрид алюминия.

Нитрид алюминия обладает комплексом уникальных свойств по сравнению с другими материалами, применяемыми в микроэлектронике [2]. Относительная дешевизна получения нитрида алюминия позволяет материалам на его основе находить новые и расширять известные области применения. Керамика на основе нитрида алюминия призвана заменить керамику из оксида бериллия, поскольку порошок оксида бериллия оказывает вредное действие на организм человека (канцерогенное действие) и на окружающую среду.

В настоящее время вся керамика с высокой теплопроводностью поставляется в Россию только по импорту и в России серийно не выпускается, но изготавливается уже в таких странах, как Япония, Германия, Китай и Тайвань [3]. Поэтому проблема получения высокотеплопроводной керамики на основе нитрида алюминия является актуальной и своевременной. К тому же, керамика из нитрида алюминия по коэффициенту теплового расширения ближе к кремнию и арсениду галлия, основа большинства кристаллов, применяемых в электронике, чем керамика из оксида бериллия.

В качестве спекающей добавки был введен оксид иттрия, который обеспечивает плотность, близкую к теоретической, чтобы устранить поры.

Объект исследования — высокотеплопроводный плотно-спеченный керамический материал на основе нитрида алюминия с применением спекающей добавки в виде оксида иттрия.

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Нитрид алюминия, строение и свойства

1.1.1 Физико-химические свойства

Нитрид алюминия обладает целым комплексом ценных свойств, которые могут быть востребованы в различных отраслях науки и техники.

Основные свойства нитрида алюминия [2]:

- Хорошие диэлектрические свойства.
- Высокая теплопроводность.
- Низкий коэффициент теплового расширения, близкий по значению к оксиду кремния.
- Не реагирует с обычными химикатами и газами, используемыми в промышленности полупроводников

Нитрид алюминия – материал с ковалентными связями, имеет гексагональную кристаллическую структуру, изображенную на рисунке 1.1, являющуюся аналогом структуры сульфида цинка, известной как вюрцит. Пространственная группа симметрии для этой структуры – $R\bar{6}3mc$ [2].

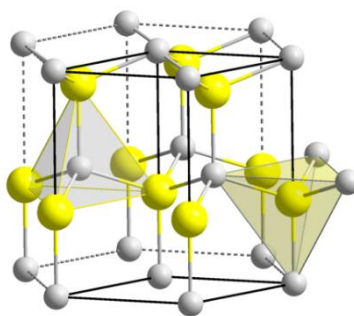


Рисунок 1.1 – Кристаллическая структура нитрида алюминия

Чистый нитрид алюминия имеет плотность $3,26 \text{ г/см}^3$. Цвет порошкообразного нитрида алюминия обычно светло-серый, цвет монокристаллов водянисто-белый (прозрачны).

Структура нитрида алюминия была тщательно исследована и выявлено, что отношение $c/a=1,600$, а параметр U , определяющий расстояние $Al-N$ вдоль тригональной оси, равен $0,385$, тем самым структура нитрида алюминия отличается от идеальной структуры вюрцита, который имеет отношение $c/a=$

1,633 и параметр $U=0,375$. В связи с этим немного искажается правильное тетраэдрическое расположение связей Al–N в структуре нитрида алюминия при сжатии тетраэдра вдоль оси C. Центр электронной плотности в каждом атоме не совпадает с центром тетраэдра, который образован его ближайшими соседями, а атом смещен вдоль оси c к основанию тетраэдра на 0,005 нм, на что указывает увеличение значения параметра U. Следовательно, расстояния между связями Al–N колеблются в интервале от 0,1885 до 0,1917 нм, а углы Al–N - от $107,7^\circ$ до $110,5^\circ$ [4].

От 5 до 9–10 единиц составляет твердость по минералогической шкале Мооса, твердость по Кнупу (микротвердость при нагрузке 100 г) в среднем составляет порядка 1200 кг/мм². Ширина запрещенной зоны нитрида алюминия равна $\Delta E=4,26$ эВ, для полупроводников и диэлектриков характерна такая температурная зависимость электросопротивления.

Нитрид алюминия был открыт в 1862 Ф. Бриглером и А. Гейтэром, а первый синтез был осуществлен Дж.В. Маллетсом в 1877. Начиная с 1984 года, стала активно развиваться технология алюмонитридных керамических изделий. Первые высококачественные алюмонитридные керамические подложки появились в начале 1990-ых. Ассортимент продуктов из нитрида алюминия увеличивался резко, и отработка технологии была направлена к удешевлению, алюмонитридная керамика используется теперь во всем мире в коммерческих целях. Нитрид алюминия в основном используется в электронике, где важен теплоотвод от электронных устройств [5].

Нитрид алюминия является перспективным конструкционным и электротехническим материалом. Его уникальные свойства, такие как низкий коэффициент термического расширения, низкая электропроводность, высокая теплопроводность и устойчивость к обычным для полупроводниковой промышленности химикатам и газам, позволяют использовать его в керамических материалах с электрическими функциями.

1.1.2 Теплофизические свойства

Разложение нитрида алюминия на компоненты начинается до достижения температуры плавления, поэтому температура плавления нитрида алюминия представлена в широком интервале от 2000 до 2500 °С.

В инертной атмосфере материал устойчив к очень высоким температурам. Поверхностное окисление нитрида алюминия на воздухе происходит от 700 °С и выше. Поверхностный окисленный слой толщиной от 5 до 10 нм, защищающий материал от окисления до 1370 °С, образуется при комнатной температуре. Объёмное окисление материала происходит выше температуры 1370 °С. В атмосферах водорода и углекислого газа нитрид алюминия устойчив до 980 °С. В неорганических кислотах, когда происходит контакт жидкости с границами зёрен, материал распадается медленно, как и также взаимодействует с сильными щелочами. Даже при комнатной температуре материал быстро гидролизуется в воде [2].

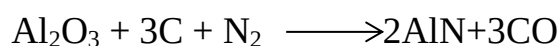
Практически не происходит взаимодействие с минеральными кислотами на холоде, с горячими кислотами происходит медленное разложение. Нитрид алюминия реагирует с растворами щелочей с выделением NH_3 при нагревании. С водяным паром образует $\text{Al}(\text{OH})_3$, с хлором - AlCl_3 . Устойчив к действию расплавов Al, Cu, Sn, Ca [5].

Нитрид алюминия характеризуется диэлектрическими свойствами, имеет большую ширину запрещённой зоны, высокое электросопротивление, которое доходит до 10^{19} Ом·м. Ширина запрещённой зоны AlN близка к зонам карбида кремния и оксида цинка, которые имеют сходную структуру и близкие значения показателей преломления (атомы Si могут замещать Al, а атомы C или O – атомы азота) [1].

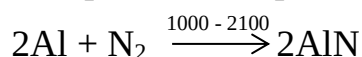
1.2 Основные способы получения нитрида алюминия

В настоящее время нитрид алюминия получают несколькими способами, основные из них [6]:

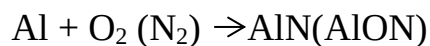
— Карботермическое восстановление-азотирование



— Прямое азотирование



— Горение на воздухе (СВС)



Первые два способа требуют высокочистого азота и стабилизаторов, кроме того реакции протекают с применением катализаторов и высоких температур, тем самым поднимают стоимость готового продукта. Параметры трех способов получения сведены в общую таблицу 1.1 [7-14].

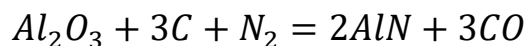
Таблица 1.1 – Параметры промышленных способов получения нитрида алюминия

Условия синтеза	Способ синтеза		
	Карботермическое восстановление – азотирование	Прямое азотирование	Самораспространяющийся высокотемпературный синтез
Основная реакция	$\text{Me}_x\text{O}_y + \text{N}_2 \rightarrow \text{MeN} + (\text{CO})$	$\text{Me} + \text{N}_2 (\text{NH}_3) \rightarrow \text{MeN} + (\text{H}_2)$	$\text{Me} + \text{N}_2 \rightarrow \text{MeN}$
Температура, °С	1600-2000	1000-2100	100-2500
Давление, МПа	—	—	10
Тип реакции	эндотермическая	экзотермическая	экзотермическая
Длительность, ч.	10-15	1-2	0,01
Выход нитрида на 1 стадии, %	30	30-40	55
Катализатор	Fe	—	—
Примечание	Продукты загрязнены углеродом, высокая степень очистки исходных компонентов Me (Al, Ti, Zr)	Высокая степень очистки исходных компонентов, используется высокочистый азот.	Разбавление продуктами реакции

Наименее энергозатратным и наиболее дешевым и перспективным среди данных способов получения нитрида алюминия является способ СВС, так называемый «синтез сжиганием» в воздухе. Сырьем для синтеза нитрида алюминия являются ультрадисперсный порошок алюминия (УДПА) и воздух. Другие способы получения нитрида алюминия являются многостадийными, энергоемкими и, как следствие, неконкурентоспособными на рынке [8].

1.2.1 Карботермический синтез AlN

Карботермический синтез нитрида алюминия предполагает, что в атмосфере азота проводится восстановление Al_2O_3 углеродом при 1600-1850 °С по реакции [7]:



По завершении реакции избыточный углерод удаляется. Порошок нагревается в кислородсодержащей атмосфере или, на воздухе в интервале температур 500-800 °С. Данная реакция эндотермическая, то есть идет с поглощением большого количества тепла. При использовании железа в качестве катализатора можно снизить температуру процесса до 1400 °С. Интервал 1200-1400 °С является нижним температурным пределом начала реакции. Скорость реакции непрерывно возрастает до 1600 °С до самой степени превращения Al_2O_3 50 % [8]. В начале реакции при 1700 °С образуется небольшое количество AlON. В целом, скорость синтеза нитрида алюминия растет при повышении температуры, а длительность синтеза падает. Порошок AlN с частицами, имеющими размер менее 1 мкм, в течение 0,12-2,0 часа при 1650-2000 °С подвергали синтезу, в результате выход нитрида алюминия составил практически 100 %. Основные факторы, которые обуславливают температурный диапазон реакции эффективного нитридообразования [8]:

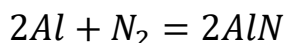
- характерный размер частиц реагентов, при его увеличении необходимо повышение температуры азотирования;
- время азотирования, увеличивая температуру реакции можно добиться снижение времени азотирования;
- требуемая дисперсность получаемого нитрида алюминия, используя мягкие температурные режимы можно добиться ее снижение.

По завершении реакции азотирования проводят обжиг смеси в течение 0,1-6,0 часов на воздухе при $T=600-900$ °С, для того, чтобы очистить нитрид алюминия от непрореагировавшего углерода. При этом процессе остаточное содержание кислорода в AlN снижается до 2 и менее %. Инициацию реакции азотирования некоторых металлов можно ускорить с помощью фторидов

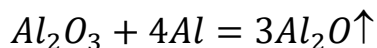
металлов. Процесс вызывает на поверхности оксидов расстекловывание защитной пленки. Начальную стадию реакции ускоряют с помощью добавок CaCl_2 , $\text{Ca}(\text{CN})_2$, CaC_2 , CaF_2 , CaB_4O_7 или La (1%). Снизить размер частиц получаемого нитрида алюминия можно при добавлении добавки в смесь порошков оксида алюминия, углерода, соединений щелочноземельных металлов или РЗЭ (например, GaO или Y) [9]. Чтобы увеличить теплопроводность и спекаемость получаемого нитрида алюминия применяют Al_2O_3 , площадь удельной поверхности которого составляет 20-130 $\text{м}^2/\text{г}$. При применении мелкодисперсных реагентов с уменьшением диаметра частиц скорость реакции увеличивается, в то же время существует некоторое оптимальное соотношение размеров частиц Al_2O_3 и C . Порошок углерода должен иметь более тонкий помол, чем Al_2O_3 . Чтобы получить порошок нитрида алюминия с размером частиц ≤ 2 мкм, реагенты должны иметь размеры: $\text{Al}_2\text{O}_3 \leq 1$ мкм, $\text{C} \leq 0,8$ мкм [8].

1.2.2 Прямое азотирование

При прямом азотировании происходит взаимодействие алюминиевой пудры с азотом при температуре 1200 °С [10]:



Особенностью данного способа получения нитрида алюминия является образование на поверхности частиц окисных пленок ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$), удаление которых происходит в результате образования летучих низших оксидов [10]:



Азот проникает к ювенильной поверхности алюминия в связи с нарушением пленки при перестройке Al_2O_3 в Al_2O и проводится азотирование.

Прямой синтез из элементов лежит в интервале температур 1000-2100 °С. При увеличении температуры увеличивается скорость процесса, а при температуре менее 1400 °С происходит образование прочной оболочки на поверхности частиц AlN , которая препятствует получению мелких монодисперсных частиц порошка. После перехода некоторой критической точки

при 1350 °C наблюдается увеличение скорости реакции нитридообразования, а при повышении давления может носить даже цепной характер. Тонкие алюминиевые порошки используют для ускорения реакции образования нитрида алюминия. Они являются более окисленными, тем не менее дают возможность более полно проводить реакцию с образованием нитрида. Спекание алюминиевого порошка, происходящее при азотировании одновременно, уменьшает реакционную поверхность [11].

Ступенчатые режимы азотирования используют, чтобы предотвратить спекание. Они рассчитаны на то, что уже при низких температурах происходит покрытие частиц пленками нитрида, задерживающее спекание.

Чтобы осуществить непрерывный процесс азотирования алюминия обычно применяют вертикальные трубчатые аппараты, сделанные из жаропрочных материалов. Они снабжены нагревательными устройствами, в которые поступает азот. Азот является носителем порошка алюминия и движется вверх, проходя последовательно все зоны нагрева. Представлен довольно распространенный метод распыления расплавленного алюминия в атмосфере азота, заключающийся в распылении расплавленного алюминия в азотирующей атмосфере при повышенных температурах и отверждении полученных жидких азотированных частиц алюминия. Устройство для получения нитрида алюминия по этому способу изображено на рисунке 1.1 [12].

Устройство состоит из: 1 – плавильная печь; 2 – сосуд, окруженный блоком нагревателей; 3,4 – сливная трубка, выходящая из сосуда и входящая в распылительное сопло 6; 5 – крышка загрузочного отверстия; 7 – камера азотирования; 8 – блок нагревателей вокруг камеры азотирования; 9 – камера охлаждения, снабженная фильтром или экраном; 10 – отверстие для выгрузки порошка; 11а – трубка, один конец которой соединен с разгрузочным отверстием компрессора 12, а другой, разветвленный в две трубки 11б и 14, причем трубка присоединена к сосуду 2 выше уровня расплавленного алюминия. Трубка 11а снабжена нагревателем 13, предназначенным для нагрева сжатого азота до 400-500 °C [12].

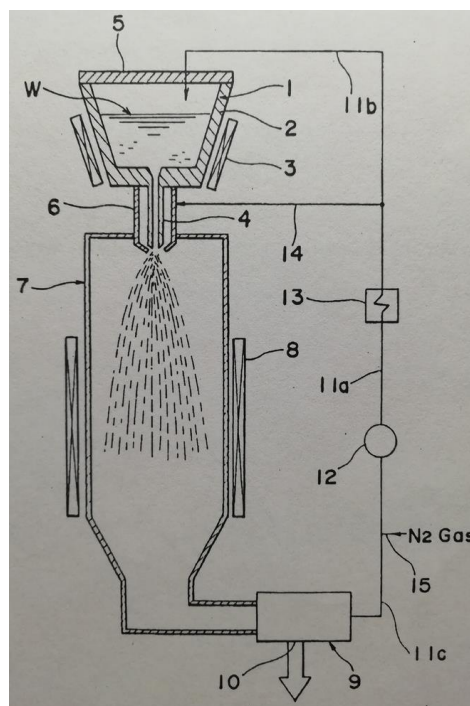


Рисунок 1.2 – Устройство для получения нитрида алюминия распылением расплавленного алюминия в атмосфере азота

Прямое азотирование требует высокой степени очистки исходных Al и N₂. Например, используют Al чистотой 99,5 % и N₂ чистотой 99,999 %. Этот способ позволяет получать высокочистый AlN. Содержание кислорода составляет в AlN менее 1,2 %, что достигается высокой чистотой азота [10].

1.2.3 Самораспространяющийся высокотемпературный синтез AlN

Одним из перспективных методов получения порошкового нитрида алюминия является самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС).

В работе предлагается метод, по которому готовят смесь порошков, содержащую 15-40 мас. % галогенида аммония, остальное – алюминий. Можно дополнительно ввести до 55 % нитрида аммония в расчете на всю смесь. Помещают в реактор, герметизируют, заполняют азотом до давления 12-15 Мпа, поджигают. Готовый продукт промывают горячей водой до полного удаления галогенида. Выход нитрида алюминия 96-99 мас. %, содержание кислорода 0,4-0,8 мас. %, железа 0,05-0,06 мас. %, удельная теплопроводность 150-170 Вт·м/к [13].

Известен другой способ получения нитрида алюминия по технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза с использованием азидов. По данному методу сначала готовят смесь зажигательного реагента, состоящую из порошка азиды (например, азид натрия) и порошка алюминия. Метод синтеза нитрида алюминия, в данном случае, заключается в инициировании зажигательного реагента, помещенного в сегменте зажигания реагентсодержащего тела, в среде с давлением, меньшим 1 атм, введением азота в реакционную камеру после зажигания [13, 14].

При получении нитрида алюминия данным синтезом, его выход составляет 30-40 % (из-за плавления металла перед фронтом горения, действующим как барьер для распространения газообразного азота в зону горения). Повысить выход продуктов можно снизив адиабатическую температуру с помощью применения разбавителей. Более эффективный способ увеличения выхода нитрида алюминия до 100 % можно достичь при использовании азиды натрия (NaN_3) вместо газообразного азота. Также повышенное давление азота (до 1000 МПа) позволяет увеличить выход нитрида алюминия и проводить процесс в режимах горения (при 10-40 МПа) и теплового взрыва (при 1000-630 МПа). В лабораторных условиях для проведения СВС чаще всего используют тигли из тугоплавких материалов (например, из BN) [13].

1.3 Способы формования

Существует несколько методов формования нитридной керамики, такие как горячее прессование, литье на пленку, холодное прессование в пресс-формах. Технологию спекания порошковых материалов делят на два класса: спекание без приложенного давления и спекание с приложенным давлением. В связи с простотой реализации наибольшее распространение в промышленности находят технологии атмосферного (свободного) спекания и горячего (в том числе изостатического) прессования.

1.3.1 Горячее прессование

Горячее прессование (спекание под давлением) является совмещенным процессом прессования и спекания. Процесс происходит обычно при температуре, составляющей 0,5 — 0,8 от температуры плавления формуемого материала, и при удельных давлениях от единиц до десятков МПа. Это зависит от характеристик порошков и ряда других факторов.

Метод горячего прессования возник в начале XX века и первоначально развивался как один из вариантов технологии порошковой металлургии. В России все попытки производства алюмонитридной керамики этим методом, закончились неудачей, так как исходный порошок обладал низким качеством; метод горячего прессования отличался низкой производительностью и высокой себестоимостью готовой продукции; отсутствие должного спроса на алюмонитридную керамику, в связи с отсутствием норм ТУ, и отсутствие на то время опыта по ее металлизации. Однако практическое применение он нашел в порошковой металлургии и в керамической технологии, при получении материалов из тугоплавких трудноспекающихся соединений (типа карбидов, нитридов, силицидов) [15].

Известен способ получения плотной теплопроводной керамики на основе нитрида алюминия, который включает спекание порошка нитрида алюминия, полученного карботермическим методом, в присутствии 2 мас. % оксида иттрия или оксида щелочноземельного металла при температуре 1850-1900 °С в среде азота. Далее следует отжиг спеченной керамики при температуре 1820-1880 °С в течение 4-12 часов в токе смеси азота и водорода.

Горячее прессование позволяет получить практически беспористые изделия, а также реализовать, наблюдаемое при повышении температуры, увеличение текучести материалов. Рост кристаллов прекращается и образуется мелкозернистая структура материала благодаря более низким температурам и меньшей длительности процесса по сравнению с обычным спеканием. Также данный способ можно применять тогда, когда не требуется полного спекания материала. При более низких температурах достигается заданная плотность

пористого керамического материала. При понижении температуры спекания сводится к минимуму рост зерен, регулируется пористость и получается материал с повышенной прочностью. Для получения некоторых типов керамики, где требуется усиленный рост кристаллов можно подобрать нужный режим [15, 16].

Физические свойства и технологические характеристики исходных порошков при обычном спекании играют исключительную роль, а процесс горячего прессования менее чувствителен к ним. Исходная активность порошков при этом процессе играет большую роль (по сравнению с обычным спеканием). Также в связи с активным состоянием исходных компонентов продолжительности процесса меньше. Это позволяет в большей степени перенести неравновесные дефекты строения порошков в область температур завершения процесса.

Возникновение пористости или некоторые возможные дефекты материала устраняются вследствие того, что при горячем прессовании временная технологическая связка не требуется. Горячее прессование имеет ряд специфических особенностей, так как операции прессования и спекания производятся одновременно. В отличие от холодного прессования выдержки под давлением значительно удлиняются. При наличии внешнего давления, значительно сокращается прохождение процесса спекания (по сравнению с обычным спеканием). Также давление прессования при этом может быть снижено на порядок и более. При горячем прессовании температура процесса чаще всего на 100 - 400°C ниже, чем при обычном спекании, тем самым устраняются нежелательные процессы, которые связаны с высокой температурой [16].

В зависимости от условия приложения давления горячее прессование можно осуществлять посредством одноосного или двухосного сжатия, а также всестороннего (изостатического) сжатия. Основные операции по технологии получения изделий горячим прессованием [16]:

- подготовить порошок и пресс-форму;

- загрузить порошок в пресс-форму и предварительно прессовать на холоде;
- горячее прессование;
- подвергнуть термической обработке – отжигу (например, в порошковой металлургии), а в отдельных случаях – и механической.

На рисунке 1.2 в качестве примера показаны схема установки и формы для горячего прессования [17].

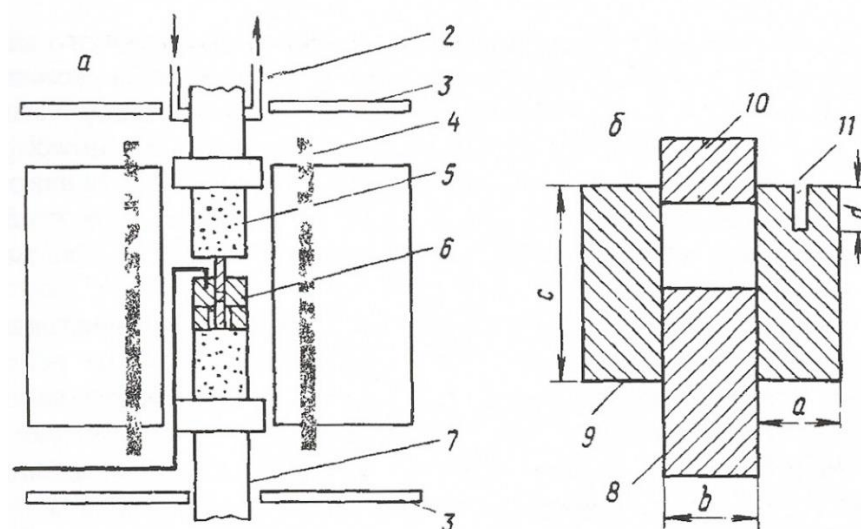


Рисунок 1.3 – Схема установки (а) и пресс-формы (б) для горячего прессования:

1 – термопара; 2 – система водного охлаждения; 3 – металлическая теплоотражающая плита; 4 – нагревательный силитовый стержень; 5 – корундовый стержень для передачи давления; 6 – пресс-форма; 7 – подвижный пуансон; 8 – нижний пуансон; 9 – корпус формы; 10 – верхний пуансон; 11 – щель для термопары

Данная установка состоит из печи, имеющей кольцевую форму и обогреваемой нагревательными слитковыми стержнями, и прессующего механизма высокого давления. Прежде всего проводится предварительное (холодное) прессование, а затем прессовки помещаются в формы для горячего прессования. При горячем прессовании устанавливается три основных параметра – максимальная температура процесса, максимальное давление при максимальной температуре, а также продолжительность приложения максимального давления при максимальной температуре [17].

Режимы горячего прессования выбирают с учетом размеров и форм изделий, влияющие на схему напряженного состояния при деформировании, а также физико-химических и механических свойств исходных порошков.

Способ горячего прессования является весьма сложным и дорогим. Значительные недостатки способа — низкая стойкость прессформ и прессующих пуансонов при температурах процесса, полная механизация и автоматизация процесса затруднена, получение изделий сравнительно простой формы.

1.3.2 Литье на пленку

Изготовления алюмонитридных подложек толщиной от 0,2 до 1 мм, применяемых в полупроводниковых приборах, возможно только методом литья на основу. При изготовлении изделий методом литья на основу используют неорганический (водный) шликер и на органической связке. Нитрид алюминия при взаимодействии с водой гидролизуется, в связи с этим литье нитрида алюминия водным шликером возможно при обработке порошка с созданием защитой поверхности, но это ведёт к снижению теплофизических свойств керамики, добавлению дополнительной стадии обработки порошка [18].

Требования к используемым материалам [19]:

- керамический порошок должен содержать около 99% основного материала, кислорода не более 0,2%, гранулометрический состав $d=50$ менее 1 мкм и обеспечение заданных электро – и теплофизических свойств;
- органическая связка должна иметь совместимость с растворителем и пластификатором, температура удаления должна быть ниже температуры окисления порошка нитрида алюминия и иметь хорошее связующее свойство;
- пластификатор должен иметь совместимость с растворителем и связкой, температура удаления должна быть ниже температуры окисления порошка нитрида алюминия; иметь хорошее пластифицирующее свойство; химическая и термическая стабильность;

– растворитель должен иметь совместимость с органической связкой и пластификатором, не взаимодействовать с порошком нитрида алюминия и легко удаляться из ленты.

Органическая фаза представлена несколькими компонентами, выполняющими различные функции, и позволяет сформировать из керамического наполнителя листовый материал. В качестве связки используются органические соединения с длинной цепью (полимеры).

Пластификатор делает материал более пластичным, позволяя листам деформироваться без разрывов, так как он окружает молекулы полимера и удерживает их на расстоянии, причем это расстояние может изменяться в определенных пределах. В качестве пластификатора предполагается использовать дибутилфталат, так как он хорошо растворяет этилцеллюлозу и соответствует всем требованиям. Количество пластификатора в органической фазе 50-80 % от массы.

Диспергатор позволяет связать частицы порошка и органического связующего посредством липофильной и гидрофильной групп, предотвращая их агрегацию. В качестве диспергатора предполагается использование стеарата алюминия в количестве 4-5 % от массы органической фазы.

Растворитель для органической фазы требуется только на начальной стадии процесса изготовления листового керамического материала [18, 19].

Для формования керамических подложек из нитрида алюминия используют литьевую машину. На рисунке 1.3 Полуавтоматическая конвейерная установка отливки керамической ленты КЕКО САМ-22 [19].



Рисунок 1.4 – Полуавтоматическая конвейерная установка отливки керамической ленты КЕКО САМ-22

На станине расположена транспортная система, состоящая из направляющих роликов, приводов и двух барабанов для протяжки рулона майларовой ленты, на которую осуществляется литье пластифицированного керамического шликера. Литейная масса 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. Толщина сформованной керамической пленки регулируется высотой поднятия шибера и ракеля. Для улучшения стабильности процесса литья рекомендуется обеспечить ультразвуковые колебания к фильерной части агрегата непрерывного литья пленки [18].

Керамическая пленка на майларовой ленте поступает в зону сушки, где под действием инфракрасного излучения или потока теплоносителя (горячего воздуха) происходит испарение растворителя. В структуре пленки остается связующее и пластификатор, которые объединяют частицы минерального

порошка, и придают прочность и эластичность пленке. После окончания процесса сушки производится наматывания в рулон сформированной пленки, которая поступает на дальнейшие стадии.

Соотношение количества органической и неорганической фазы влияют на следующие параметры [20]:

- Усадка материала. Чем больше органической фазы, тем выше усадка. Приблизительно усадка материала равна численному содержанию органической фазы по объему.
- Шероховатость. С увеличением доли органической фазы шероховатость уменьшается. Это объясняется тем, что промежутки между частицами заполняются органикой.
- Предел прочности и удлинение. С увеличением количества органической фазы предел прочности и удлинение увеличиваются.

1.3.3 Холодное прессование в пресс-формах

Применяемые пресс-порошки представляют собой сыпучую массу, поэтому холодное прессование в пресс-формах по-другому называется полусухое прессование. Сыпучая масса смешивается с пластификатором и происходит притирание через сетки для того, чтобы сформировались гранулы. Затем подсушивают и удаляют часть растворителя до достижения кондиционных свойств. Можно контролировать такие параметры пресс-порошков, как насыпную плотность, сыпучесть, влажность или содержание другого удаляемого растворителя в процентах [21].

Порошок засыпают в специальный мерный стаканчик, чтобы она была выше его краев, затем сравнивают поверхность пластиной, далее проводят взвешивание. Таким образом определяют насыпную массу. Специальная воронка с задвижкой необходима для измерения скорости прохождения порошком калиброванного отверстия. Таким образом определяют сыпучесть [21].

Если скорость прессования слишком высокая, то воздух захватывается заготовкой, так как он не успевает вытисниться в окружающую среду. Это негативно влияет на заготовку, в связи с этим снижается плотность и далее может привести к ее последующему разрушению.

Если применять слишком высокие значения давления прессования, то возникает перепрессовка, то есть появляются расслоения заготовок. В ходе прессования происходит увеличение плотности заготовки с увеличением давления, данная зависимость изображена на графике на рисунке 1.5 [22].

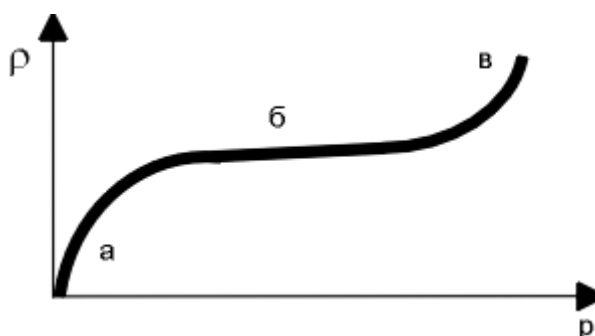


Рисунок 1.5 – Зависимость плотности изделия от давления прессования

На участке (а) частицы укладываются в основном за счет их скольжения и контактов без деформации с разрушением арок и мостиков, которые образуются частицами. На участке (б) появляется упругая деформация (отталкивание). Участок (в) характеризуется хрупким разрушением или пластической деформацией. После извлечения заготовок из пресс-формы происходит некоторое обратное расширение прессовок за счет действия сил упругой деформации частиц, из-за этого в дальнейшем иногда возрастает пористость изделия. Для того, чтобы предотвратить такое явление, заготовки подвергают выдержке при заданном давлении для релаксации напряжений. Также для уменьшения пористости полученного после спекания материала и уменьшения количества захватываемого заготовками воздуха применяют прессование при пониженном давлении или в вакууме [22].

2 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И МАТЕРИАЛЫ

2.1 Цели и задачи

Цель работы – оценить влияние условий получения порошков нитрида алюминия на процесс спекания и свойства керамики.

Задачи:

1. Исследовать свойства сырьевых материалов;
2. Рассчитать состав шихты;
3. Получить гранулят;
4. Выбрать режимы прессования и спекания;
5. Определить свойства спеченной керамики.

2.2 Методы исследований

2.2.1 РФА рентгенофазовый анализ

Метод рентгенофазового анализа (РФА) является одним из современных и качественных методов для определения фазового состава кристаллических тел. Основой РФА представляет собой явление дифракции (рассеяние) рентгеновских лучей на кристаллической решетке, возникающее при определенных углах падения и длинах волн. Суть метода заключается в том, что получается дифракционная картина при отражении рентгеновских лучей атомными плоскостями в структуре кристаллов, которая затем изучается. Уравнение Вульфа — Брэгга используется для количественной оценки [23, 24]:

$$2d \cdot \sin\theta = n \cdot \lambda,$$

Где d – межплоскостное расстояние, нм; θ – угол падения луча на плоскость, град.; n – порядок дифракции (целое число); λ – длина волны монохроматического излучения, нм.

На рисунке 2.1 изображена схема падения и отражения рентгеновского луча [25].

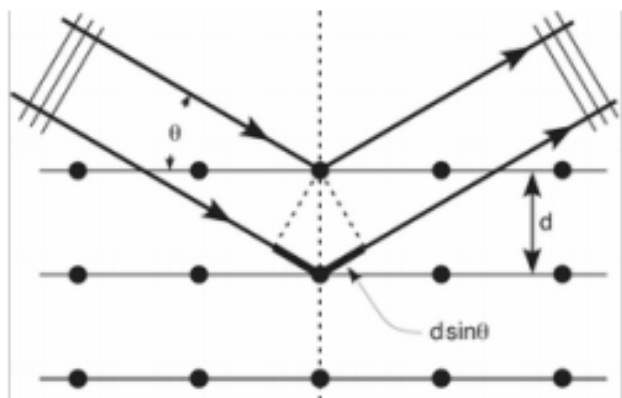


Рисунок 2.1 – Схема падения и отражения рентгеновского луча

Чтобы определить фазовый состав исследуемого материала необходимо рассчитать величину межплоскостного расстояния d и относительную интенсивность рефлекса на рентгенограмме, величина длины волны λ задается и имеет постоянное значение.

Сравниваются табличные значения рентгеновских характеристик чистых кристаллических фаз и полученного набора основных рефлексов исследуемого образца и определяется вещественный состав сырьевых материалов или фазовый состав готового керамического материала [24, 25].

Рентгеновские дифрактометры позволяют проводить анализ быстро и с большой точностью, чтобы выполнить качественный и количественный фазовый анализ. Чтобы получить достаточно хорошие рентгенограммы образцы для съемки тщательно готовят. Самый распространенный метод съемки – это метод порошка, по которому образец является поликристаллическим телом, полученным из тонко измельченного порошка.

Идентификации кристаллических веществ (фаз) порошка проводят на дифрактометре Shimadzu XRD – 7000 (Япония), изображенном на рисунке 2.2.



Рисунок 2.2 – Дифрактометр Shimadzu XRD – 7000

Программа «PowderCell 2.3» позволяет рассчитывать как количественное соотношение фаз (в случае многофазности образца), так и их структурные параметры (размеры кристаллитов, микроискажения, параметры решетки).

2.2.2 РЭМ растровая электронная микроскопия

С помощью растровой электронной микроскопии можно изучить форму отдельных кристаллов, частиц, зерен, определить размер, а также оценить пористость структуры материала.

Поверхность образца подвергается облучению сфокусированным пучком электронов (электронным зондом), который совершает возвратно-поступательное движение по линии или развертывающимся в растр - совокупность близко расположенных параллельных линий, вдоль которых пучок электронов обегает выбранный для исследования участок поверхности. В этом заключается суть метода РЭМ. На рисунке 2.3 показаны эффекты, которые возникают при взаимодействии пучка электронов с веществом [26].

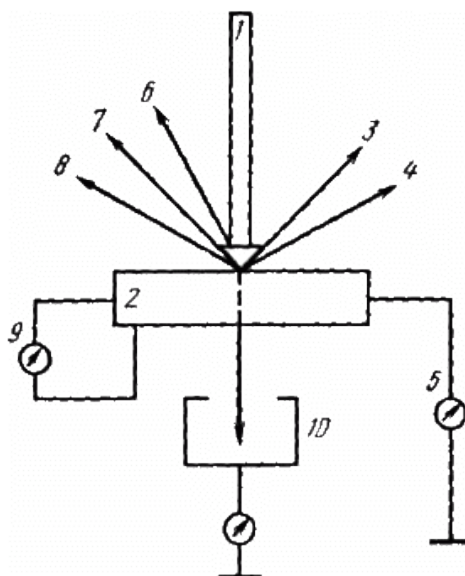


Рисунок 2.3 – Эффекты, возникающие при взаимодействии пучка электронов с веществом: 1 - электронный пучок; 2 - образец; 3 - отраженные электроны; 4 - вторичные электроны; 5 - ток поглощенных электронов; 6 - катодолуминесценция; 7 - рентгеновское излучение; 8 - Оже-электроны; 9 - наведенный ток; 10 - прошедшие электроны.

В каждой точке облучаемой поверхности происходит взаимодействие электронов пучка 1 с веществом, в результате чего возникает ряд эффектов [26]: образуются отраженные электроны 3, вторичные электроны 4, рентгеновское 7 и другие излучения. С помощью этих эффектов можно получить разнообразную информацию: о рельефе поверхности образца 2, химическом составе и кристаллографической ориентации объемов, прилегающих к поверхности.

Для исследования морфологии и дисперсности порошка, а также морфологии зёрненной структуры на изломах керамики, был использован сканирующий электронный микроскоп (СЭМ) JEOL JSM-7500FA (Япония), изображенный на рисунке 2.4.



Рисунок 2.4 – Сканирующий электронный микроскоп JEOL JSM-7500FA

Метод сканирующей электронной микроскопии заключается в том, что происходит сканирование поверхности образца максимально сфокусированным электронным пучком с одновременной регистрацией возбужденного этим пучком излучения. Низкоэнергетические (до 50 эВ) вторичные электроны чаще всего используют в качестве такого излучения. Материал образца генерирует вторичные электроны при релаксации, происходит облучение внешних электронных оболочек. Таким образом, можно наблюдать рельеф поверхности исследуемого образца [27].

2.2.3 Гидростатическое взвешивание

Гидростатическое взвешивание – метод измерения плотности жидкостей и твердых тел, основанный на законе Архимеда. Давление, действующее на погруженное в жидкость тело, увеличивается с глубиной погружения, поэтому сила давления жидкости на нижние элементы поверхности тела больше, чем на верхние. В результате сложения всех сил, действующих на каждый элемент поверхности, получится равнодействующая сила, направленная вверх. Это и есть поддерживающая сила. Если тело плотно лежит на дне, то давление жидкости только сильнее прижимает его ко дну.

Гидростатическое взвешивание необходимо для определения плотности образца. Вначале определяется масса образца в воздухе, затем – в жидкости

известной плотности (чаще всего дистиллированная вода), и по формуле рассчитывается плотность [28].

$$\rho = \frac{m_1 \cdot (\rho_1 - \rho_2)}{m_1 - m_2 + \rho_2}$$

где:

ρ – плотность образца;

ρ_1 – плотность жидкости;

ρ_2 – плотность воздуха;

m_1 – масса образца в воздухе;

m_2 – масса образца в рабочей жидкости.

Чаще всего устройство для определения плотности используется с аналитическими весами, однако некоторые лабораторные весы также могут быть ими оснащены. Многие из таких весов, к которым в качестве опции предлагается подобное устройство, самостоятельно рассчитывают плотность образца при помощи встроенного программного обеспечения.

Взвешивание под весами с помощью поддонного крюка (стоит удостовериться, что весы оснащаются им стандартно или в качестве опции) необходимо для определения плотности больших образцов или той массы, которую нельзя взвесить с помощью аналитических весов. В работе были использованы аналитические весы Sartorius ME235S (Германия), изображенные на рисунке 2.5.



Рисунок 2.5 – Аналитические весы Sartorius ME235S

Все материалы, полученные по керамической технологии, содержат поры. Их подразделяют на две группы [29]:

- закрытые поры – не сообщающиеся с окружающей средой;
- открытые поры – сообщающиеся с окружающей средой.

Путем взвешивания, измерения линейных размеров и расчета объема образца материала всегда определяется только кажущаяся плотность ρ_k . Если материал образца имеет минимальную пористость (менее 0,5%), то значение экспериментально определенной плотности можно считать за истинную (теоретическую) плотность $\rho_{\text{и}}$.

2.2.4 Изготовление аншлифов

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

Операции по изготовлению аншлифа [30]:

- Подготовка образца (распиловка или обдирка для получения плоской поверхности);
- Шлифовка;
- Доводка на стеклянных плитах;
- Полировка.

Плоская поверхность получается при быстром вращении тонкого отрезного круга резальной машины, на край которого нанесен порошок наждака (карборунда, алунда), из горной породы вырезают тонкую пластинку. Такую пластину прикрепляют к шлифовальной машине, придерживая его концами пальцев. Затем шлифуют плоскость, с помощью быстро вращающегося круга шлифовальной машины (чугунная планшайба), покрытой грубым мокрым наждаком. Должна получиться достаточно большая и ровная шлифованная плоскость, затем ее дошлифовывают с помощью более тонкого порошка абразива на стеклянной пластине; полируют особенно тонким порошком наждака [30, 31].

Изучение аншлифов ведется на специальных микроскопах, в которых аншлиф освещается с помощью опак иллюминатора через объектив. В аншлифах хорошо различаются цвет минералов, изучается его твердость, электропроводность, по характеру отражения света определяется анизотропность. С помощью аншлифов определяют минералы и последовательность их выделения [31].

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4Г51	Нерушкиной Елизавете Сергеевне

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	НОЦ Н.М. Кижнера
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	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 материалов
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Расчетные величины материалов, сырья и оборудования научно-технического проекта
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Премияльный коэффициент, районный коэффициент, коэффициент доплат и надбавок, заработная плата по тарифной ставке

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Доступность исходного сырья, экологичность, теплоизоляционные свойства, прочность, энергоэффективность
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Расчет основной заработной платы, баланс рабочего времени, общая стоимость оборудования и материалов, отчисления во внебюджетные фонды
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин финансовой эффективности и ресурсоэффективности

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Криницына З.В.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г51	Нерушкина Елизавета Сергеевна		

4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Проблемы эффективного ресурсопотребления и ресурсосбережения всегда являлись достаточно актуальными. Все технологические процессы сопровождаются потреблением первичных ресурсов, таких как земля, вода, воздух, топливо (энергия), материальные и трудовые ресурсы. Формирование и реализация стратегии ресурсосбережения на всех уровнях управления – один из важнейших вопросов стратегического менеджмента, так как ресурсоемкость является второй стороной товара, когда первой является его качество.

Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов.

Таким образом, целью раздела "Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение" является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Основными потребителями в России являются предприятия радиоэлектроники, силовой электротехники. Продукция широко используется в микроэлектронике и силовой электронике военного назначения. Радиоэлектронная промышленность России включает производство радиоэлектронных устройств и систем, электронной компонентной базы, специальных материалов и оборудования для производства изделий радиоэлектроники, силовой электротехники.

Применение подложек и корпусов можно разделить на следующие сегменты.

Радиоэлектроника. В данный сегмент входят предприятия радиоэлектронной отрасли, выпускающие средства связи, спутниковую

аппаратуру, средства навигации GPS/ГЛОНАСС, радарные станции. Также сюда входят компании, выпускающие микросборки для СВЧ устройств.

Силовая электроника. В данный сегмент входят предприятия электронной промышленности, выпускающие силовые транзисторные модули (IGBT-модули), тиристорные и диодные силовые сборки (модули).

Микроэлектроника. В данный сегмент входят предприятия электронной отрасли, выпускающие микросхемы, микросборки, полупроводниковые приборы (транзисторы, диоды). Также сюда входят компании, выпускающие ЖК-индикаторы, оптоэлектронные приборы. Применяются различные типы подложек, в зависимости от конкретного изделия. Применяются AlN подложки в качестве теплопроводящего, изолирующего материала.

Термоэлектроника. В данный сегмент входят предприятия, выпускающие термоэлектрические модули (элемент Пельтье).

Светодиоды. Потребители алюмонитридных подложек AlN, которые используются в качестве корпусов для чипов и светодиодов.

Основными потребителями разрабатываемых керамических материалов и изделий являются как производственные предприятия, так и научно-исследовательские организации: ЗАО "Оптоган" г. Санкт-Петербург, Федеральный научно-производственный центр ФГУП "РНИИРС", г. Ростов-на-Дону, Федеральный научно-производственный центр ФГУП "НИИ измерительных систем им. Ю.Е. Седакова" г. Н. Новгород, ФГУП ПО "Октябрь", г. Октябрьск, ОАО «Омский НИИ приборостроения», г. Омск, ОАО "НИИ полупроводниковых приборов", г. Томск, ОАО "Концерн радиостроения "ВЕГА", г. Москва, ОАО "Государственный Рязанский приборный завод", г. Рязань, ОАО "Фазотрон-НИИР" г. Москва. Большая часть из них входит в структуры ОАО «Российская электроника».

Наиболее крупный по размеру сегмент — керамика для электроники, на долю потребления которой приходится более 18% мирового рынка в денежном выражении. В настоящее время более чем две трети керамических подложек поставляется в Россию из-за рубежа.

Таблица 4.1 – Карта сегментирования рынка изделий из керамики для
электроники и радиоэлектроники

Размер компаний	Вид изделия		
	Керамические подложки	Поглотители мощности	Термоэлектрические преобразователи на основе элементов Пельтье
Крупные	+	+	-
Средние	+	+	+
Малые	+	-	-

4.2 SWOT-анализ

Базовым рынком сбыта продукции является рынок Российской Федерации и СНГ, в перспективе планируется выход на международные рынки.

Успех в достижении стратегических целей научно-исследовательской работы обеспечивается получением синергетических эффектов выгоды от вертикальной интеграции, выгоды от диверсификации, от доступа к новым каналам сбыта продукции и технологиям, увеличение доли на рынке.

SWOT-анализ представлен в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – SWOT-анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: 1. Развитая производственная, научная, энергетическая, транспортная, социальная инфраструктура; 2. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями; 3. Экологичность материалов; 4. Доступность для отечественных производителей; 5. Ведущие позиции НИ ТПУ в области разработки функциональной и	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: 1. Отсутствие прототипа научной разработки; 2. Высокие требования к продукту; 3. Технология не опробована на производстве.
--	---	---

	конструкционной керамики.	
Возможности: 1. Производство новых видов продукции для нужд текущих и новых потребителей; 2. Освоение новых сегментов рынка керамики; 3. Инновационные достижения в области керамики.	СИВ: 1. Повышение спроса из-за цены и доступности материалов; 2. Обширная база потребителей; 3. Подбор технологии под различное производство и оборудование.	СЛиВ: 1. Усовершенствование технологии позволяет применить ее для любых производств; 2. Из-за гибкости технологии, возможно производить любые изделия, что делает ее более привлекательной.
Угрозы: 1. Появление новых конкурентов – производителей с более развитыми технологиями и низкими издержками; 2. Появление на рынке продукта-заменителя (из нового сырья), а также рост его продаж; 3. Потеря спроса.	СИУ: 1. Сравнительно низкие издержки производства относительно западных аналогов; 2. Низкая себестоимость, уменьшение издержек, доступность для российских предприятий сделают данный материал более конкурентоспособным и поднимут спрос на данный продукт.	СЛиУ: 1. Внедрение технологий на производство с дальнейшим анализом издержек и проблем в процессе; 2. Устранение проблем, возникших при применении технологии, рационализация, повышение эффективности.

4.3 Планирование научно-исследовательских работ

4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

Порядок этапов работы и распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице.

Таблица 4.3 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
----------------	-------	------------------	-----------------------

Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы
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	Инженер
	6	Подготовка рабочего места: подготовка исходных веществ, растворителей и вспомогательных веществ	Инженер
	7	Проведение экспериментов	Инженер
	8	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Руководитель, инженер
Обобщение и оценка результатов	9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, инженер
	10	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель, инженер
Проведение ВКР			
Изготовление и испытание опытного образца	11	Получение опытных образцов	Инженер
	12	Лабораторные испытания опытных образцов	Инженер
Оформление комплекта документации по ВКР	13	Составление пояснительной записки	Инженер

4.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

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

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости t_{oji} используется следующая формула:

$$t_{oji} = \frac{3 \cdot t_{min i} + 2 \cdot t_{max i}}{5},$$

Где t_{oji} – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;
 $t_{min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{Pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i},$$

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

4.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении выпускной квалификационной работы наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

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

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

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

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 2019 году 365 календарных дней, из них выходных и праздничных дней 66. Тогда коэффициент календарности равен:

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,22$$

В таблице 4.4 представлены временные показатели проведения научно-исследовательской работы.

Таблица 4.4 - Временные показатели проведения научного исследования

№	Название работы	Трудоемкость работ						Исп ол- ните ли	Длительно сть работ в рабочих днях T_{pi}		Длительно сть работ в календарн ых днях T_{ki}	
		t_{min} , чел- дни		t_{max} , чел- дни		$t_{ож}$, чел- дни			T_{pi}	T_{ki}		
		Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2					
1	Разработка технического задания	0,3	0,3	1	1	0,6	0,6	Р	0,3	0,3	0,4	0,4
		0,3	0,3	1	1	0,6	0,6	И	0,3	0,3	0,4	0,4
2	Выбор направления исследований	0,5	0,5	2	2	1,1	1,1	Р	0,6	0,6	0,7	0,7
		0,5	0,5	2	2	1,1	1,1	И	0,6	0,6	0,7	0,7
3	Календарное планирование работ по теме	1	1	1,5	1,5	1,2	1,2	Р	0,6	0,6	0,7	0,7
		1	1	1,5	1,5	1,2	1,2	И	0,6	0,6	0,7	0,7
4	Подбор и изучение материалов	5	5	10	10	7	7	Р	3,5	3,5	4,3	4,3
		5	5	10	10	7	7	И	3,5	3,5	4,3	4,3
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	4	4	6	6	4,8	4,8	И	4,8	4,8	5,9	5,9
6	Проведение экспериментов	5	5	10	10	7	7	И	7	7	8,5	8,5
7	Получение опытных образцов	7	7	10	10	8,2	8,2	И	8,2	8,2	10	10
8	Лабораторные испытания опытных образцов	2	2	3	3	2,4	2,4	И	2,4	2,4	2,9	2,9

№	Название работы	Трудоемкость работ						Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
		t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ож}$, чел-дни			Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2
		Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2					
9	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическим и исследованиями	4	4	5	5	4,4	4,4	Р	2,2	2,2	2,7	2,7
		7	7	10	10	8,2	8,2	И	4,1	4,1	5	5
10	Оценка эффективности полученных результатов	3	3	4	4	3,4	3,4	Р	1,7	1,7	2,1	2,1
		5	5	7	7	5,8	5,8	И	2,9	2,9	3,5	3,5
11	Составление пояснительной записки	8	8	12	12	9,6	9,6	И	9,6	9,6	11,7	11,7

На основе таблицы 4.4 был построен календарный план-график проведения НИОКР.

Таблица 4.5 – Календарный план-график проведения НИОКР

№ работ	Вид работ	Исполнители	Т _{кi} , дн.	Продолжительность выполнения работ												
				февраль		март			апрель			май			июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Разработка технического задания	Руководитель, инженер	0,4 0,4													
2	Выбор направления исследований	Руководитель, инженер	0,7 0,7													
3	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, инженер	0,7 0,7													
4	Подбор и изучение материалов	Руководитель, инженер	4,3 4,3													
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер	5,9													
6	Проведение экспериментов	Инженер	8,5													
7	Получение опытных образцов	Инженер	10													
8	Лабораторные испытания опытных образцов	Инженер	2,9													
9	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Руководитель, инженер	2,7 5													
10	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, инженер	2,1 3,5													
11	Составление пояснительной записки	Инженер	11,7													

Руководитель	Инженер

4.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

4.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m Ц_i \cdot N_{рас\ xi},$$

Где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования; $N_{рас\ xi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.); $Ц_i$ – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.); k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Таблица 4.6 – Материальные затраты

Наименование	Марка, размер	Кол-во, кг	Цена за единицу, руб/кг	Сумма, руб.
Нитрид алюминия	СВС-И	0,250	5000	1250
Нитрид алюминия	Eno Material	0,250	15000	3750
Нитрид алюминия	Tog E	0,250	30000	7500
Оксид иттрия	В	0,040	35000	1400
Изопропиловый спирт	ХТ	2	150	300
Олеиновая кислота	—	0,010	87	0,87
Всего за материалы				14200,87
Транспортно-заготовительные расходы (3-5 %)				568
Итого по статье C_m				15068,87

4.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (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. Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{C_n \cdot H_a \cdot n}{100 \cdot k}$$

Где C_n – первоначальная стоимость оборудования; H_a – норма амортизации, %; n – число проработанных месяцев; k – количество месяцев в году.

Число проработанных месяцев n берем из расчета того, что на НТИ инженером было затрачено 1248 ч = 1,73 месяца.

Таблица 4.7- Расчет амортизации оборудования

Наименование оборудования	C_n , руб	H_a , %	A, руб
Весы аналитические Веста В153	15000	10	216
Пресс гидравлический	15000	8	173
Щековая дробилка ЩД-10	250000	10	3604
Виброплощадка	22500	12	389
РФА- установка ДРОН-3М	180000	12	3114
ДТА- установка STA 449 F3 Jupiter	3000000	12	51900
Пропарочная камера	15000	12	260
Печь камерная	70000	12	1211
Итого:	–	–	60867

4.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп},$$

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

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

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p$$

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

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

Где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня $M=11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя; $F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

В таблице 4.8 приведен баланс рабочего времени каждого работника НТИ.

Таблица 4.8 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
-выходные дни:	44	48
-праздничные дни:	14	14
Потери рабочего времени		
-отпуск:	56	28
-невыходы по болезни:	2	2
Действительный годовой фонд рабочего времени	249	273

Месячный должностной оклад работника:

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

Где $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.; $k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (30% от $Z_{\text{тс}}$); $k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5; $k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, для Томска равный 1,3.

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$З_{тс},$ руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	$З_m,$ руб.	$З_{дн},$ руб.	$T_p,$ раб. дн.	$З_{осн},$ руб.
Руководитель	33664	0,3	0,2	1,3	65644,8	2741,8	16	43868,8
Инженер	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2104	44	92576
Всего:								136444,8

Общая заработная исполнителей работы представлена в таблице 4.10.

Таблица 4.10 - Общая заработная плата исполнителей

Исполнители	$З_{осн},$ руб.	$З_{доп},$ руб.	$З_{зп},$ руб.
Руководитель	43868,8	4386,9	48255,7
Инженер	92576	9257,6	101833,6

4.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}),$$

Где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования).

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 - Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	43868,8	4386,9
Инженер	92576	9257,6
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
Итого:	40674,2	

4.4.5 Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по следующей формуле:

$$З_{внеб} = k_{нр} \cdot (\text{сумма статей} 1 \div 4)$$

Где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

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

$$З_{внеб} = 0,16 \cdot (15068,87 + 60867 + 136444,8 + 40674,2) = 40488,78$$

4.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведен в таблице 4.12.

Таблица 4.12 - Расчет бюджета затрат НТИ

№	Наименование статьи	Сумма, руб.	
		Исп.1	Исп.2
1.	Материальные затраты НТИ	15068,87	
2.	Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	60867,00	
3.	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	92576,00	43868,8
4.	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	9257,60	4386,9
5.	Отчисления во внебюджетные фонды	40674,2	
6.	Накладные расходы	40488,78	
7.	Бюджет затрат НТИ	307188,15	

Как видно из таблицы 4.12 основные затраты НТИ приходятся на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ и заработную плату исполнителей темы.

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

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i$$

Где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности; a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки; b_i – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки.

Сравнительная оценка характеристик вариантов объекта представлена в таблице 4.13.

Таблица 4.13 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,10	4	4	3
2. Сложность технологии	0,10	3	3	3
3. Диэлектрические свойства	0,25	5	4	5
4. Термофизические свойства	0,15	4	3	3
5. Энергосбережение	0,25	5	5	4
6. Материалоемкость	0,15	5	2	3
ИТОГО	1			

Рассчитанная сравнительная ресурсоэффективность разработки представлена в таблице 4.14.

Из расчетов выявлено, что текущий проект по интегральному показателю ресурсоэффективности вариантов является выгодным и превосходит аналоги. Так как данный проект является только научной разработкой и началом исследования, то интегральный финансовый показатель разработки рассчитать не представляется возможным.

Таблица 4.14 – Сравнительная ресурсоэффективность разработки

	Текущий проект	Исп. 1	Исп. 2
I_{pi}	4,55	3,7	3,75

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.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА

1. Нерушкина Е. С. Влияние состава шликера на качество отлитой ленты при шликерном литье на основу // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XVIII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени профессора Л.П. Кулёва, Томск, 29 Мая-1 Июня 2017. - Томск: Изд-во ТПУ, 2017 - С. 79-80.
2. Нерушкина Е. С. Влияние способа получения порошка нитрида алюминия на его структурнофизические и технологические свойства / Е. С. Нерушкина, Н. Е. Гришко, А. А. Денисова ; 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. 107-108].
3. Нерушкина Е. С. Влияние различных факторов на качество отлитой ленты методом шликерного литья на основу / Е. С. Нерушкина ; науч. рук. А. А. Дитц // Перспективы развития фундаментальных наук : сборник научных трудов XIV Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 25-28 апреля 2017 г. : в 7 т. — Томск : Изд-во ТПУ, 2017. — Т. 2 : Химия. — [С. 202-204].