

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 (специальность) Материаловедение и технологии материалов

Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы

Синтез люминофора на основе лютеций - алюминиевого граната и исследование его спектральных характеристик

УДК: 661.143-091

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б72	Дин Юйчунь	<i>Дин Юйчунь</i>	

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОМ ИШНПТ	Хасанов О.Л.	д.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Былкова Т. В.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Сечин А.А.	д.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения материаловедения	Ваулина О.Ю.	к.т.н.		

**Результаты обучения по направлению
22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»**

Код компетенции СУОС	Наименование компетенции СУОС
	Универсальные компетенции
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
	Общепрофессиональные компетенции
ОПК(У)-1	Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности
ОПК(У)-2	Способен использовать в профессиональной деятельности знания о подходах и методах получения результатов в теоретических и экспериментальных исследованиях
ОПК(У)-3	Готов применять фундаментальные математические, естественнонаучные и общинженерные знания в профессиональной деятельности
ОПК(У)-4	Способен сочетать теорию и практику для решения инженерных задач

ОПК(У)-5	Способен применять в практической деятельности принципы рационального использования природных ресурсов и защиты окружающей среды
	Профессиональные компетенции
ПК(У)-1	Способен использовать современные информационно-коммуникационные технологии, глобальные информационные ресурсы в научно-исследовательской и расчетно-аналитической деятельности в области материаловедения и технологии материалов
ПК(У)-2	Способен осуществлять сбор данных, изучать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию по тематике исследования, разработке и использованию технической документации, основным нормативным документам по вопросам интеллектуальной собственности, подготовке документов к патентованию, оформлению ноу-хау
ПК(У)-3	Готов использовать методы моделирования при прогнозировании и оптимизации технологических процессов и свойств материалов, стандартизации и сертификации материалов и процессов
ПК(У)-4	Способен использовать в исследованиях и расчетах знания о методах исследования, анализа, диагностики и моделирования свойств веществ (материалов), физических и химических процессах, протекающих в материалах при их получении, обработке и модификации
ПК(У)-5	Готов выполнять комплексные исследования и испытания при изучении материалов и изделий, включая стандартные и сертификационные, процессов их производства, обработки и модификации
ПК(У)-6	Способен использовать на практике современные представления о влиянии микро- и нано- структуры на свойства материалов, их взаимодействии с окружающей средой, полями, частицами и излучениями
ПК(У)-7	Способен выбирать и применять соответствующие методы моделирования физических, химических и технологических процессов
ПК(У)-8	Готов исполнять основные требования делопроизводства применительно к записям и протоколам; оформлять проектную и рабочую техническую документацию в соответствии с нормативными документами
ПК(У)-9	Готов участвовать в разработке технологических процессов производства и обработки покрытий, материалов и изделий из них, систем управления технологическими процессами
	Профессиональные компетенции университета
ДПК (У)-1	Способен применять знания об основных типах современных

	неорганических и органических материалов, принципах выбора материалов для заданных условий эксплуатации с учетом требований технологичности, экономичности, надежности и долговечности, экологических последствий их применения при проектировании высокотехнологичных процессов
ДПК (У)-2	Готов реализовывать технологии производства объемных наноматериалов и изделий на их основе, включая технологии получения и предварительной подготовки сырья

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 – 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»
 Отделение (НОЦ) – Отделение материаловедения

УТВЕРЖДЮ:
 Руководитель ООП
 _____ О.Ю. Ваулина
 « 26 » апреля 2021 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
154Б72	Дин Юйчунь

Тема работы:

Синтез люминофора на основе лютеций - алюминиевого граната и исследование его спектральных характеристик	
Утверждена приказом директора ИШНПТ	Приказ №57-53/с от 26.02.220

Срок сдачи студентом выполненной работы:	10.06.2021г.
--	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Целью данной работы является синтез порошкового люминофора на основе Gd/LuAG методом твердофазного синтеза при температуре 1500°C и исследование оптических свойств полученного материала.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Синтез люминофора из порошков исходных прекурсоров. Исследование и анализ порошка Gd-LuAG. Изучение влияния различного соотношения Gd/Lu на оптические свойства порошков. Анализ социальной ответственности и финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережению. Анализ социальной ответственности и финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережению.
Перечень графического материала	График, рисунок, таблицы применяемых в работе
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Былкова Т. В.

Социальная ответственность	Сечин А.А.
----------------------------	------------

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	13.04.2021 г.
--	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОМ	Хасанов О.Л.	д.т.н.		13.04.2021 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б72	Дин Юйчунь	<i>Дин Юйчунь</i>	13.04.2021 г.

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

Студенту:

Группа	ФИО
154Б72	Дин Юйчунь

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	ОМ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление	22.03.02 Материаловедение и технологии материалов

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	1. Проведение сегментации рынка, выполнение анализа конкурентных технических решений, выполнение SWOT-анализа, определение альтернатив выполнения НИ
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	2. Расчет бюджета научного исследования
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	3. Оценка сравнительной эффективности вариантов исследования, выбор оптимального варианта

Перечень графического материала

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	01.02.2021 г.
--	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Былкова Татьяна Васильевна	К. Э. Н.		01.02.2021 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б72	Дин Юйчунь	<i>Дин Юйчунь</i>	

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
154Б72	Дин Юйчунь

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	ОМ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление	22.03.02 Материаловедение и технологии материалов

Тема ВКР:

Влияние фторида лития на светопропускание оптически прозрачной керамики на основе иттрий-стабилизированного диоксида циркония

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект: нанопорошок Gd-LuAG.
--	------------------------------

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Трудовой кодекс Российской Федерации ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	1. Анализ показателей микроклимата. 2. Анализ показателей шума. 3. Анализ освещенности рабочей зоны 4. Анализ электробезопасности
3. Экологическая безопасность:	Анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы). Анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы). Анализ воздействия объекта на литосферу (отходы)
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Авария, взрыв, пожар

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	13.04.2020 г.
--	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Сечин А.А.	д.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б72	Дин Юйчунь	<i>Дин Юйчунь</i>	

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 – 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»
 Отделение (НОЦ) – Отделение материаловедения
 Уровень образования – Бакалавриат
 Период выполнения – Осенний, весенний семестры 2020/2021 учебного года

Форма представления работы:

бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
 выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы: 06.06.2021 г.

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
30.03.2020	1. Литературный обзор	20
15.04.2020	2. Экспериментальная часть	20
15.05.2020	3. Обсуждение результатов и оформление работы	35
10.05.2020	Финансовый менеджмент	15
10.05.2020	Социальная ответственность	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОМ	Хасанов О.Л.	д.т.н.		06.06.2020

СОГЛАСОВАНО:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения материаловедения	Ваулина О.Ю.	к.т.н.		06.06.2020

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа: 67 с., 12 рис., 24 табл., 33 источников.

Ключевые слова: GdAG, LuAG, твердофазный синтез, порошковый люминофор, керамика, оптические характеристики.

Объектом исследования является: порошковый люминофор на основе порошка Gd-LuAG производится путем включения ионов гадолиния и проведения высокотемпературного твердофазного спекания.

Цель работы – исследование влияния соотношения компонентов Lu/Gd на оптические свойства порошкового люминофора Gd-LuAG.

В выпускной квалификационной работе выполнен анализ современного состояния технологии синтеза порошковых люминофоров на основе алюминатов граната. Методом твердофазного синтеза получен порошковый люминофор Gd-LuAG с различным соотношением Lu/Gd. Изучены оптико-люминесцентные характеристики люминофора в зависимости от содержания Lu/Gd.

Выпускная квалификационная работа выполнена с использованием следующего оборудования: планетарная мельница QM-3SP4 (Инструментальный завод Нанкинского университета, Китай), сушильная печь с постоянной температурой WGL-45B (Test, Китай), электронные весы BP221S (Sartorius, Германия), трубчатая печь BTF-1700C (Ченхуа, Китай), коробчатая печь KF1600 (Ченхуа, Китай), порошковый рентгеновский дифрактометр TD-3500X (Tongda, Китай), флуоресцентный спектрофотометр F-7000 (Hitachi, Япония). Обработка результатов экспериментов выполнена с использованием специального программного обеспечения Hitachi и пакета программ Microsoft Office. Текст пояснительной записки набран при помощи текстового редактора Microsoft Word.

Выпускная квалификационная работа выполнена на базе Чунцинского университета науки и искусств (Китай) и НОИЦ «Наноматериалы и

нанотехнологии» Национально исследовательского Томского
политехнического университета (Россия).

Содержание

Введение.....	14
1. Современное состояние технологии синтеза порошковых люминофоров на основе алюминатов граната.....	16
1.1 Физико-химические свойства лютеций-алюминиевого граната.....	16
1.2 Физико-химические свойства гадолиний-алюминиевого граната.....	17
1.3 Современные методы синтеза порошковых люминофоров на основе алюминатов граната.....	18
1.4 Области применения порошковых люминофоров.....	21
2. Материалы, оборудование и методики экспериментов.....	22
2.1 Материалы исследования.....	22
2.2. Методика синтеза люминофоров.....	22
2.3 Анализ спектра люминесценции.....	23
2.4 Фазовый анализ (XRD).....	24
3. Результаты и их обсуждение (Экспериментальная часть).....	26
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	32
4.1. Общая информация.....	32
4.2. Потенциальные потребители результатов исследования.....	32
4.3. SWOT-анализ.....	34
4.4. Планирование научно-исследовательских работ.....	37
4.5. Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения.....	38
4.6. Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	41
4.7. Бюджетная стоимость НИР.....	44
4.8. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования....	44
Выводы по разделу.....	47
5. Социальная ответственность.....	48
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	48
5.2 Производственная безопасность.....	49

5.3 Экологическая безопасность.....	56
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	56
Заключение.....	59
Список литературы.....	60
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	64

Введение

Алюминаты гранатов на основе редкоземельных элементов представляют собой группу многофункциональных керамических материалов. Благодаря их широкой запрещенной зоне, химической и термической стабильности, высокой прозрачности в широком спектральном диапазоне они эффективно применяются в белых светоизлучающих диодах (СИД), в качестве люминофоров для преобразования синего света в белый. К числу алюминатов граната относятся иттрий-алюминиевый гранат $Y_3Al_5O_{12}$ (YAG), лютеций-алюминиевый гранат $Lu_3Al_5O_{12}$ (LuAG), гадолиний-алюминиевый гранат $Gd_3Al_5O_{12}$ (GdAG). Люминесцентная керамика на основе YAG:Ce³⁺ демонстрирует чрезвычайно высокую эффективность люминесценции и короткое время затухания (десятки наносекунд). Это расширяет область практического применения такой керамики и делает потенциально возможным её использование в качестве сцинтиллятора в детекторах рентгеновского излучения. Однако, сцинтилляционный материал должен иметь высокую теоретическую и практическую плотность для обеспечения высокой тормозящей способности рентгеновского излучения. К сожалению, тормозящая способность YAG низкая, что обусловлено его относительно низкой плотностью (4,54 г/см³) [1].

Более привлекателен для этих целей лютеций-алюминиевый гранат. Лютеций (Lu) имеет больший атомный вес, чем иттрий (Y). Однако высокая стоимость лютеция и соединений на его основе делает LuAG-керамику дорогостоящей и затрудняет её широкое применение.

Альтернативой LuAG-керамики, как может выступать GdAG, поскольку гадолиний (Gd) более доступен. Атомный вес Gd близок к Lu. За исключением того, что сила света и красный свет керамики GdAG не так хороши, как у LuAG. прозрачная керамика на основе GdAG:Ce³⁺ может эффективно использоваться в качестве люминофора и конкурировать с

YAG: Ce³⁺ в осветительных приборах.

В связи с этим в выпускной квалификационной работе выполнено исследование оптико-люминесцентных свойств порошкового люминофора на основе Gd-LuAG с различным соотношением гадолиния и лутеция, полученного методом твердофазного синтеза.

1. Современное состояние технологии синтеза порошковых люминофоров на основе алюминатов граната

Люминофор обычно состоит из основного материала – матрицы и материала активатора. Наиболее распространенными в настоящее время люминофорами являются материалы на основе иттрий-алюминиевого граната, активированного ионами церия ($Y_3Al_5O_{12}:Ce^{3+}$, YAG:Ce) [2]. Здесь, YAG является основным материалом матрицы, а Ce^{3+} - активатором.

Существующие исследования показали, что, несмотря на очевидные преимущества YAG:Ce (низкий удельный вес (плотность 4,54 г/см³), чрезвычайно высокую светоотдачу и короткое время затухания [3]), они имеют низкую стойкость к воздействию ионизирующих излучений.

В отличие от YAG, материалы на основе лютеций-алюминиевого граната ($Lu_3Al_5O_{12}$, LuAG) обладают большей плотностью, высокой температурой плавления, механической стабильностью и стойкостью к воздействию ионизирующего излучения [4]. Они перспективны для применения в томографии и атомной промышленности. Однако высокая стоимость Lu_2O_3 ограничивает его практическое применение. Эффективной альтернативой LuAG может стать гадолиний-алюминиевый гранат ($Gd_3Al_5O_{12}$, GdAG). Относительная атомная масса гадолиния близка к относительной атомной массе лютеция, а цена Gd_2O_3 существенно ниже Lu_2O_3 . Это делает материалы на основе GdAG, активированные ионами редкоземельных элементов перспективными для применения в качестве сцинтилляторов.

1.1 Физико-химические свойства лютеций-алюминиевого граната

Лютеций-алюминиевый гранат - высокоэффективный люминесцентный материал. Он имеет кубическую структуру типа граната ($Re_3Al_5O_{12}$), оптически прозрачен и обладает хорошими механическими свойствами, является химически стабильным [5].

Диаграмма состояния системы $Lu_2O_3-Al_2O_3$ представлена на рисунке 1.

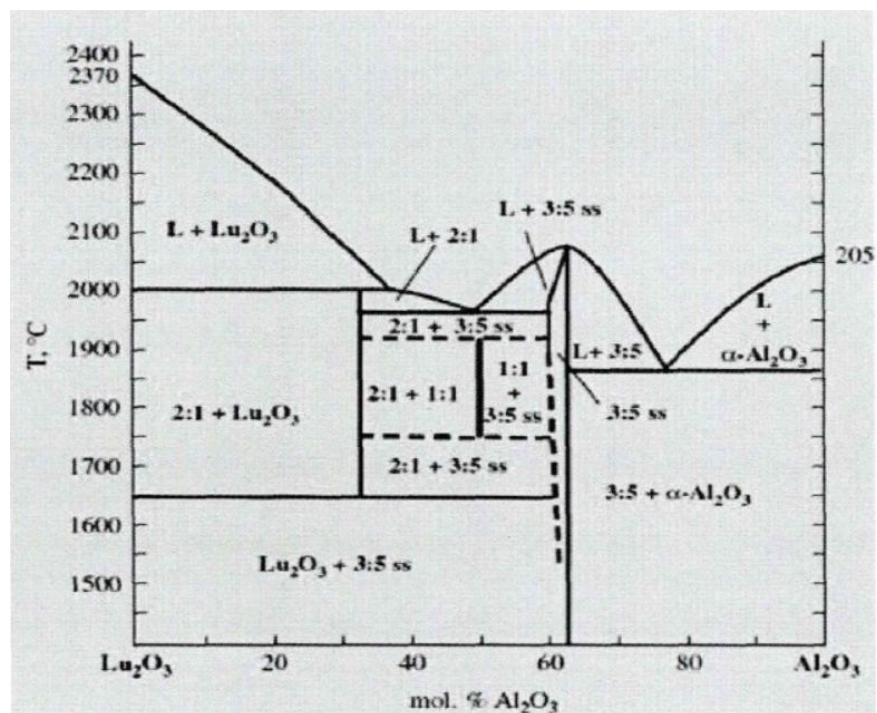


Рисунок 1 - Фазовая диаграмма системы $\text{Lu}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ [3]

LuAG характеризуется высокой плотностью ($6,73 \text{ г/см}^3$), теплопроводностью ($9,6 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$), высокой механической прочностью и оптической изотропией. Изделия из LuAG демонстрируют стабильные физико-механические и химические свойства в условиях длительного воздействия ионизирующих излучений [4].

1.2 Физико-химические свойства гадолиний-алюминиевого граната

Материалы на основе гадолиний-алюминиевого граната представляют собой класс оптические материалы, которые могут быть использованы для преобразования излучения, в частности – ионизирующего излучения в оптическое. GdAG применяется в качестве сцинтилляторов [5]. Гадолиний-алюминивый гранат имеет кубическую кристаллическую решетку типа граната ($\text{Re}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$). Пространственная группа Ia-3d . Постоянная решетки равна $1,2111 \text{ нм}$ [6]. Структура гадолиниевого алюминиевого граната может быть представлена элементарной ячейкой, содержащей 160 атомов, то есть 24 атома Gd , 16 6-координатных атомов Al , 24 4-координатных атома Al и 96 атомов O . Элементарная ячейка GdAG представлена на рисунке 2.

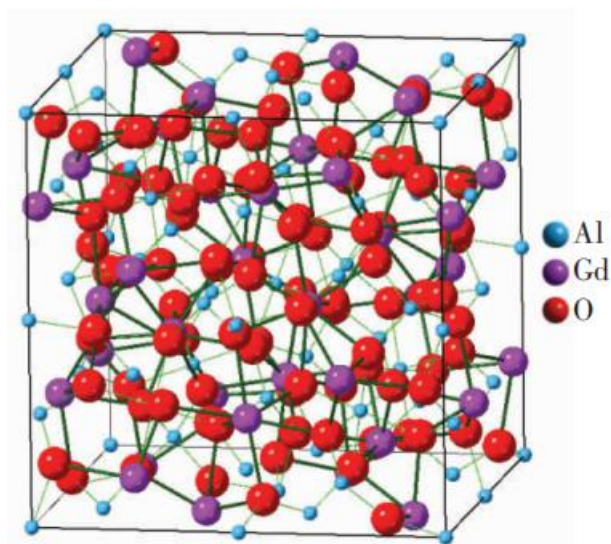


Рисунок 2 - Схема кристаллической структуры алюмината гадолиния-граната (данные приведены из ICSD 23849)

1.3 Современные методы синтеза порошковых люминофоров на основе алюминатов граната

Известно, что метод синтеза порошкового материала оказывает существенное влияние на микроструктуру, физические и химические свойства материала. Наиболее распространенными методами синтеза порошковых материалов, в частности люминофоров, в настоящее время являются следующие: метод твердофазного синтеза, золь-гель метод, метод микроволнового синтеза, гидротермальный метод, метод распылительной сушки и химическое осаждение.

Метод твердофазного синтеза. Метод наиболее часто используется для синтеза порошковых люминофоров. Для его реализации исходные порошки - прекурсоры смешивают в соответствии с необходимым стехиометрическим соотношением. При необходимости, для улучшения процесса синтеза, добавляют органические вещества. Затем компоненты смешивают в течение длительного времени, для получения гомогенной смеси. Полученную смесь отжигают при высокой температуре в течение длительного времени, в необходимой атмосфере. Полученный порошок измельчают до микродисперсного состояния. Этот метод получил широкое распространение в силу простоты своей реализации [7].

Метод золь-гель синтеза относится к методам «мягкой» химии. Он реализуется в процессе жидкофазной реакции при относительно низких температурах. В качестве исходных реагентов, в основном, используют неорганическую соль или алкооксиды металлов. Они вступают в реакцию с водой или другим подходящим растворителем. Постепенно исходные реагенты превращаются в гель, в процессе гидролиза и поликонденсации. Затем гель подвергается сушке, диспергированию (при необходимости) и прокаливанию. В результате золь-гель синтеза получают порошки высокой чистоты с однородным гранулометрическим и фазовым составом. Это является неоспоримым преимуществом данного метода. К его недостаткам можно отнести высокую стоимость исходного сырья, сложность контроля протекания реакции и высокую степень агломерацию порошков в процессе прокаливания [8].

Микроволновый синтез. Данный метод реализуется в процессе нагрева исходных прекурсоров до заданных температур синтеза при помощи микроволнового излучения. Этот метод позволяет значительно сократить время реакции и нивелировать негативные эффекты роста и агломерации зёрен. Однако его можно использовать только для синтеза диэлектрических материалов. В случае синтеза проводящих материалов нагрев и синтез необходимой фазы не будет протекать в полной мере. Этот факт ограничивает применения данного метода [9,10].

Метод гидротермального синтеза. Метод основан на способности воды и водных растворов при высокой температуре и давлении растворять различные вещества. Основными параметрами гидротермального синтеза, определяющими как кинетику протекающих процессов, так и свойства образующихся продуктов, являются значения кислотности среды, продолжительность и температура синтеза, и величина давления. Для синтеза используют автоклавы, которые в течение длительного времени сохраняют герметичность и являющиеся коррозионно-стойкими. Преимуществом метода является возможность синтеза

фаз и кристаллитов близких к температурам плавления, недостатком – высокая стоимость оборудования [11].

Метод распылительной сушки реализуется путем распыления растворов исходных реагентов через сопла различных температур в рабочую камеру, которая заполнена необходимым газом и поддерживает заданную температуру. Этот метод позволяет синтезировать порошки со сферическими частицами. Порошковые люминофоры, полученные таким способом имеют гомогенный фазовый состав и однородный гранулометрический состав [12].

Метод химического соосаждения заключается в использовании солей металлов, подготовки их растворов и добавлении к ним осадителя. Осадитель постепенно высвобождает осажденные ионы при определенных условиях. Это позволяет контролировать скорость реакции и делать так, чтобы компоненты были распределены гомогенно и синтезированы одновременно. Полученный осадок нагревают до полного испарения влаги, а потом прокачивают на заданной температуре для получения необходимого материала. Для получения продуктов с хорошей морфологией, однородным фазовым и гранулометрическим составом, при синтезе порошков данным методом, необходимо учитывать влияние многих факторов, таких как концентрация ионов в растворе, выбор осадителя, pH раствора и не только [13].

О синтезе порошков на основе лютеций алюминиевого граната методом твердофазного синтеза докладывают Жанг и коллеги [14,15]. Порошок LuAG был получен при температуре 1200 ° C, однако полученный порошок имел высокую степень агломерации.

Юу и коллеги [16] получили порошок LuAG при помощи двух стадийного твердофазного синтеза. Исходные прекурсоры смешивали в необходимых пропорциях и прокачивали при температуре 1300 ° C в течение 4 часов, а затем полученный порошок вновь прокачивали при температуре 1550 °C в течение 4 часов в восстановительной атмосфере. В итоге был получен монофазный порошок LuAG.

1.4 Области применения порошковых люминофоров

В последние годы в цветных телевизорах, компьютерных мониторах и светодиодных экранах широко используются различные люминофоры, активированные ионами редкоземельных элементов [17].

Помимо различных дисплеев, в последние годы люминофоры стали применяться в агрономии, для выращивания различных растений. Они используются в качестве преобразователей оптического излучения в искусственных источниках света. Кроме того, они используются в ртутных, газоразрядных и люминесцентных лампах.

Еще одна область применения люминесцентных материалов – медицинская, где они используются как в качестве источников света, флуоресцентных маркеров и в медицинских устройствах, в качестве сцинтилляторов.

2. Материалы, оборудование и методики экспериментов

2.1 Материалы исследования

В качестве исходного материала в настоящей работе выбран лютеций-алюминиевый гранат, активированный ионами церия (LuAG: Ce). Это обусловлено несколькими факторами [18]:

- оксидная матрица, в которой Ce^{3+} может эффективно возбуждаться синим светом;
- излучает зеленый свет, что существенно облегчает получение желтого излучения, благодаря смещению в красную область спектра;
- структура LuAG достаточно стабильно по отношению к различным катионным замещениям Lu^{3+} или Al^{3+} .

В качестве добавки, для частичной замены Lu^{3+} , использован оксид гадолиния (Gd_2O_3). Оксид кремния (SiO_2) использовали в качестве синтезирующей добавки и сенсбилизатора люминесценции. Карбонат марганца ($MnCO_3$) в качестве со-активатора люминесценции.

2.2. Методика синтеза люминофоров

Навеску исходных порошковых компонентов в необходимом количестве засыпали в цилиндрическую емкость и смешивали в шаровой мельнице, в этаноле. Смешивание проводили в течение 24 часов со скоростью 400 об/мин. Полученную смесь сушили на воздухе при $80\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 24 часов. Порошковую смесь измельчали и просеивали через сито (200 меш). Полученную смесь прокаливали в муфельной печи при температуре $1500\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 7 часов, в атмосфере водорода. После восстановления в водороде агломерированный порошок измельчали.

Всего было подготовлено 15 порошковых смесей. Масса каждой смеси не превышала 4 г. Компонентный состав смесей представлен в таблице 2.

Таблица 1 -Состав $\text{Lu}_{2-x}\text{O}_3:\text{xCe}$ ($x = 0-0,1$) и $\text{Lu}_{3-x}\text{Gd}_x\text{Al}_5\text{O}_{12}: 0,02\text{Ce}^{3+}$,
 $0,1\text{Mn}^{2+}$ ($x = 0-1,5$) порошковых смесей

Наименование		Lu_2O_3 , г	Gd_2O_3 , г	Al_2O_3 , г	CeO_2 , г	MnCO_3 , г	SiO_2 , г
1.1	LuAG:0,001Ce	2,387	-	1,02	0,0007	-	0,024
1.2	LuAG:0,005Ce	2,383	-	1,02	0,0034	-	0,024
1.3	LuAG:0,01Ce	2,379	-	1,02	0,0069	-	0,024
1.4	LuAG:0,02Ce	2,371	-	1,02	0,0138	-	0,024
1.5	LuAG:0,04Ce	2,356	-	1,02	0,0275	-	0,024
1.6	LuAG:0,06Ce	2,340	-	1,02	0,0413	-	0,024
1.7	LuAG:0,08Ce	2,324	-	1,02	0,0551	-	0,024
1.8	LuAG:0,1Ce	2,308	-	1,02	0,0688	-	0,024
2.1	LuAG:Ce:Mn	2,308	-	0,992	0,0138	0,046	0,024
2.2	92%(LuAG+8 %GdAG):Ce: Mn	2,173	0,181	0,992	0,0138	0,046	0,024
2.3	83%(LuAG+17 %GdAG):Ce: Mn	1,974	0,362	0,992	0,0138	0,046	0,024
2.4	75%(LuAG+25 %GdAG):Ce: Mn	1,775	0,544	0,992	0,0138	0,046	0,024
2.5	67%(LuAG+33 %GdAG):Ce: Mn	1,576	0,725	0,992	0,0138	0,046	0,024
2.6	58%(LuAG+42 %GdAG):Ce: Mn	1,417	0,869	0,992	0,0138	0,046	0,024
2.7	50%(LuAG+50 %GdAG):Ce: Mn	1,114	1,087	0,992	0,0138	0,046	0,024

2.3 Анализ спектра люминесценции

Анализ спектров люминесценции проводили на флуоресцентном спектрофотометре F-700 Spectrophotometer (Hitachi, Япония), представленном на рисунке 3. Он оснащен лазером с длиной волны излучения 808 нм (Hitachi) и лазером с длиной волны 980 нм (Hitachi). Диапазон длин волн сканирования при комнатной температуре составляет 800–1700 нм.

Основными компонентами флуоресцентного спектрофотометра являются источник света, монохроматор, бокс для образцов, эмиссионный монохроматор

и детектор. Источником света может быть ксеноновая лампа, излучающая белый свет, или лазер с определенной длиной волны. В случае, когда в качестве источника возбуждения используется лазер, монохроматор не нужен, потому что лазер уже имеет желаемую длину волны. Тип используемого детектора зависит от длины волны света, излучаемого образцом. Это может быть видимая часть спектра или ближняя инфракрасная область спектра [19].



Рисунок 3 - F-700 Spectrophotometer (Hitachi, Japan)

2.4 Фазовый анализ (XRD)

Рентгенофазовый анализ (РФА) – наиболее распространенный и быстрый метод характеристики кристаллической структуры и определения фазового состава материала [20].

В выпускной квалификационной работе для анализа фазового состава был использован рентгеновский дифрактометр TD-3500X (Dandong Tongda, Китай). Измерение проводили с использованием $^{\circ}$. Cu K α – излучения с длиной волны $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$, в диапазоне углов 2θ от 10° до 90° с шагом $0,04^{\circ}$. Угол дифракции составляет от $^{\circ}$, шаг шага составляет $0,04^{\circ}$. Изображение дифрактометра представлено на рисунке 4 .



Рисунок 4– изображение дифрактометра TD-3500X

3. Результаты и их обсуждение (Экспериментальная часть)

Синтез порошкового люминофора. Как обсуждалось в литературном обзоре, существенное влияние на свойства порошкового люминофора оказывает метод синтеза. Как уже говорилось ранее, в настоящей работе, порошковые люминофоры были получены методом твердофазного синтеза. Синтезированные при температуре 1500°C порошковые люминофоры под излучением ультрафиолетовой лампы с длиной волны излучения 365 нм представлены на рисунке 5.

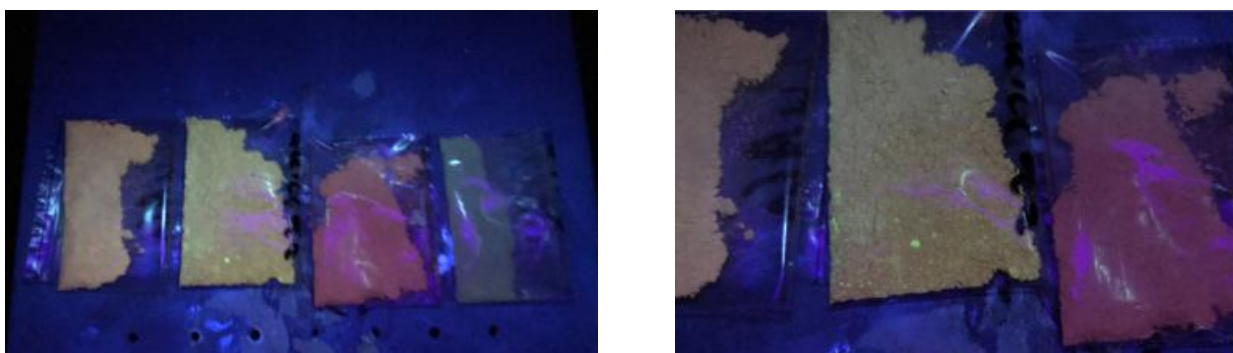


Рисунок 5- Синтезированные при температуре 1500°C порошковые люминофоры под светом ультрафиолетовой лампы с длинной волны излучения 365 нм

На полученных образцах наблюдается локальная люминесценция, что видно из рисунка 5. Это может указывать на наличие в синтезированных образцах примесей, недостаточную гомогенизацию смеси или не завершившийся процесс синтеза.

В связи с этим, для получения качественного порошкового люминофора использовали двух-стадийную схему синтеза. Первоначально порошки прокаливали в муфельной печи при температуре 1500°C, в течение 7 часов, затем остужали и помещали в трубчатую печь и прокаливали при температуре 1500°C в течение 4 часов, в атмосфере водорода. Синтезированные люминофоры под светом ультрафиолетовой лампы с длиной волны излучения 365 нм представлены на рисунке 6.



Рисунок 6–Порошковые люминофоры, синтезированные с применением двух-стадийной схемы синтеза, под светом ультрафиолетовой лампы.

Локальной люминесценции, в образцах, синтезированных с использованием двух-стадийной схемы не наблюдалось.

LuAG:Ce. Результаты рентгенофазового анализа образцов *LuAG:Ce* показали, что синтезированные порошковые люминофоры полностью состоят из *LuAG*, в заданном количестве. Экспериментальные и эталонные рентгенограммы представлены на рисунке 7. С увеличением концентрации церия, наблюдается смещение основного пика в область меньших углов. Это можно объяснить замещением ионов Lu^{3+} на ионы Ce^{3+} и искажением кристаллической решетки.

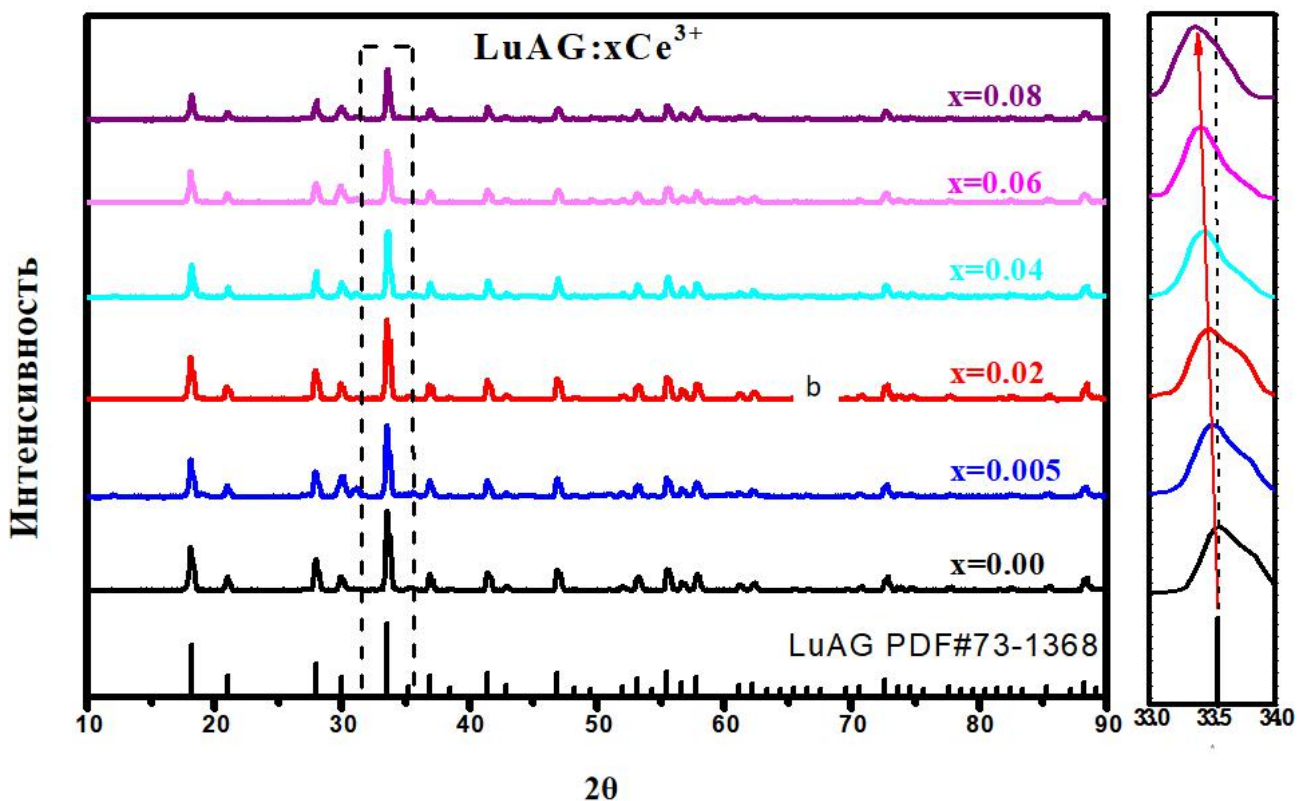


Рисунок 7– Рентгенограмма люминофора LuAG: $x\text{Ce}^{3+}$ ($x = 0-0,08$).

Спектры возбуждения и спектры люминесценции, синтезированных порошковых люминофоров на основе LuAG с различной концентрацией Ce^{3+} представлены на рисунке 8.

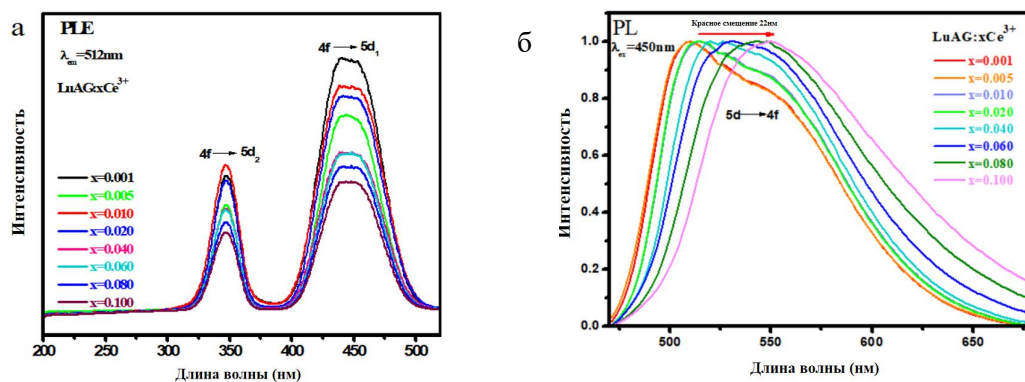


Рисунок 8– (а) Спектр возбуждения люминофора LuAG: $x\text{Ce}$ ($x = 0-0,1$). (б) LuAG: $x\text{Ce}$ ($x = 0-0,1$) спектр излучения люминофора.

На рисунке 4 показан спектр возбуждения люминофора LuAG: $x\text{Ce}$ ($x = 0-0,1$) Из рисунка видно, что все составы имеют два пика при возбуждения. Пик возбуждения при 350 нм обусловлен переходом $4f \rightarrow 5d_2 \text{Ce}^{3+}$, а пик возбуждения при 450 нм обусловлен переходом $4f \rightarrow 5d_1 \text{Ce}^{3+}$. На рисунке 4б представлены спектры излучения синтезированных люминофоров на основе

LuAG: xCe (x = 0-0,1). Из рисунка видно, что с увеличением концентрации Ce^{3+} положение наиболее интенсивного пика (510 нм) смещается в красную область. Длина волны излучения Ce^{3+} в структуре граната определяется Стоксовым сдвигом и энергетическим разделением. Красное смещение, в данном случае, обусловлено энергетическим разделением энергетических уровней T2g и Eg. Поскольку положение энергии возбуждения LuAG:Ce выше, чем у LuAG, энергетическое разделение между уровнями T2g и Eg LuAG:Ce больше чем у LuAG. Еще одной причиной явления красного смещения может быть усиленная ковалентная связь между ионами Ce-O.

Gd/LuAG:Ce:Mn. Порошковые люминофоры состава *Gd/LuAG:Ce:Mn* синтезировали по двух-стадийной методике, описанной выше. Результаты рентгенофазового анализа представлены на рисунке 9.

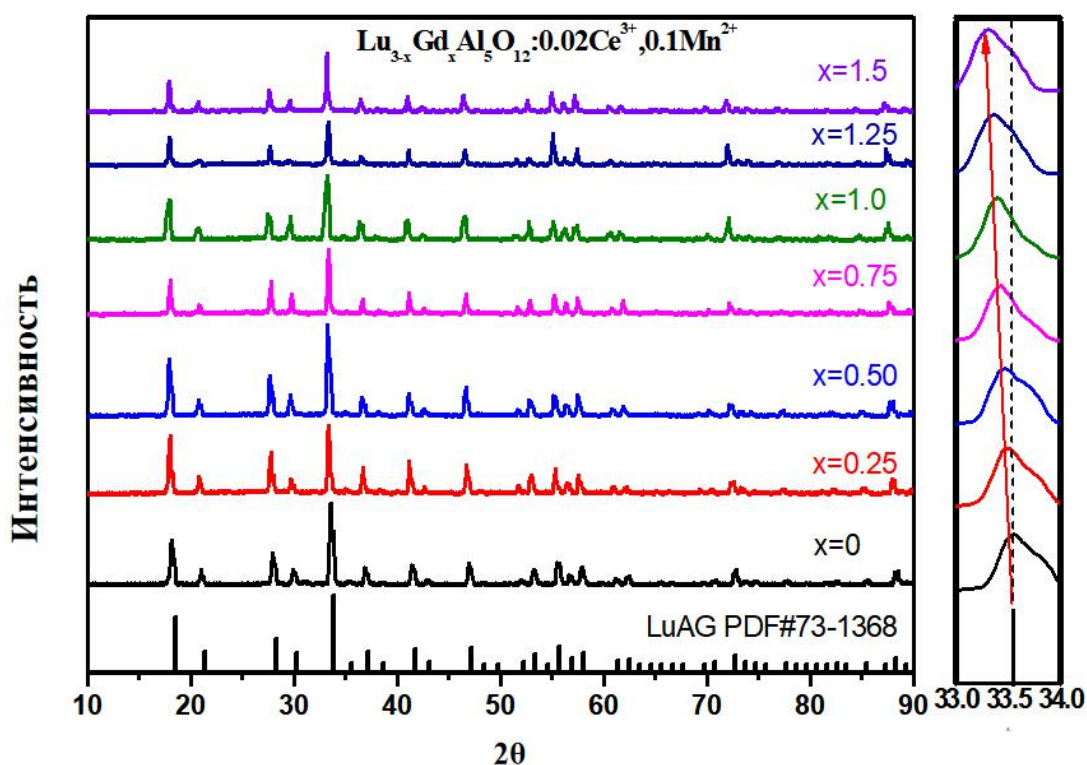


Рисунок 9– Рентгенограмма люминофора $Lu_{3-x}Gd_xAl_5O_{12}: 0,02Ce^{3+}, 0,1Mn^{2+}$ (x = 0-1,5) и диаграмма XRD в увеличенном масштабе в диапазоне $2\theta = 33,0^\circ - 34,0^\circ$.

Все дифракционные пики хорошо согласуются с эталонной картой LuAG (PDF № 73-1368). Из увеличенного спектра XRD видно, что с увеличением

концентрации гадолиния, дифракционный пик при $33,5^\circ$ смещается на небольшой угол.

На рисунке 10 представлены спектры возбуждения и люминесценции, синтезированных порошковых люминофоров.

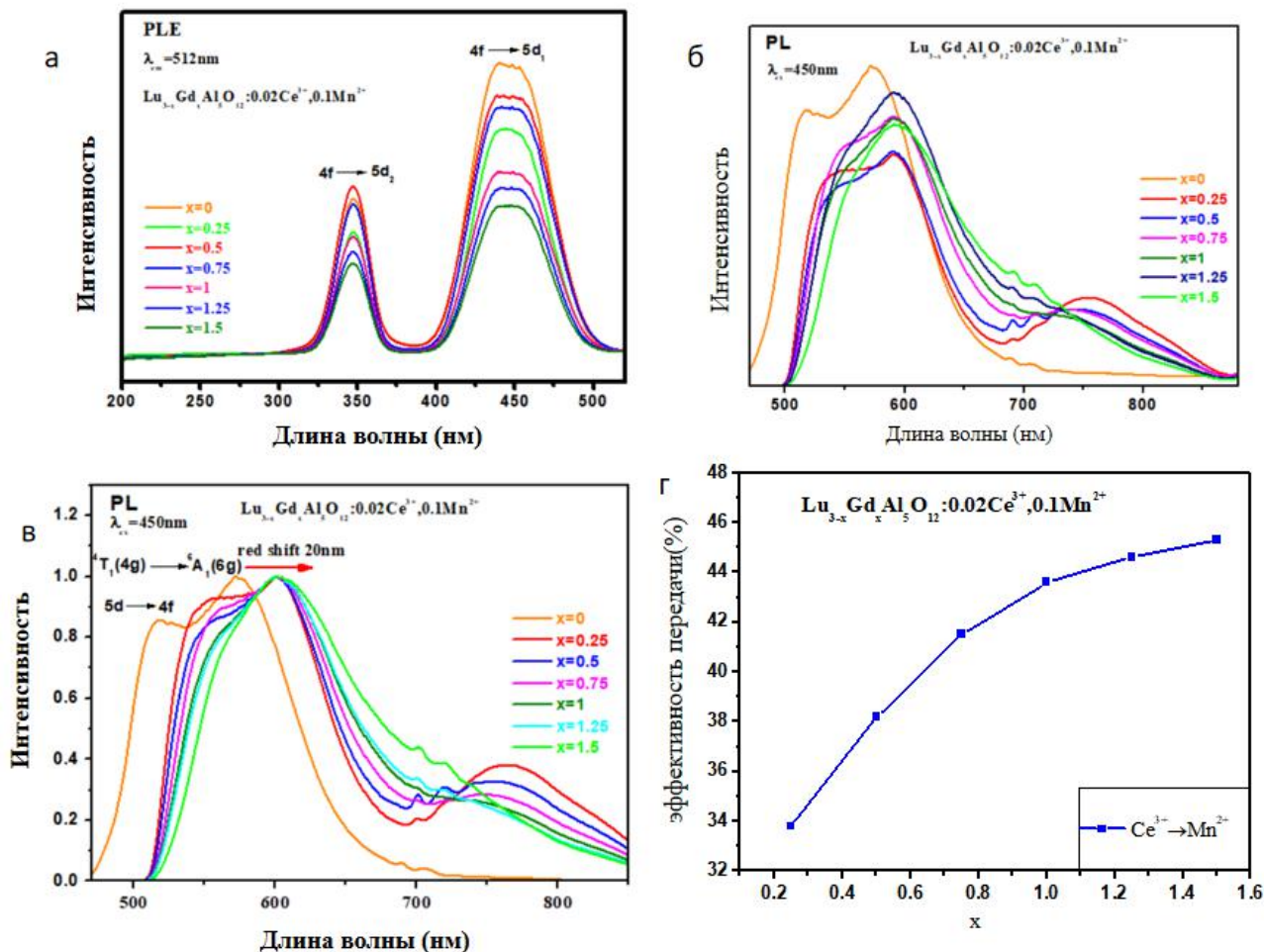


Рисунок 10–(а) Спектр возбуждения люминофора $\text{Lu}_{3-x}\text{Gd}_x\text{Al}_5\text{O}_{12}:0.02\text{Ce}^{3+},0.1\text{Mn}^{2+}$ ($x = 0-1,5$). (б) Спектр излучения люминофора $\text{Lu}_{3-x}\text{Gd}_x\text{Al}_5\text{O}_{12}:0.02\text{Ce}^{3+},0.1\text{Mn}^{2+}$ ($x = 0-1,5$). (в) Спектр излучения нормированного люминофора $\text{Lu}_{3-x}\text{Gd}_x\text{Al}_5\text{O}_{12}:0.02\text{Ce}^{3+},0.1\text{Mn}^{2+}$ ($x = 0-1,5$). (г) Эффективность передачи энергии $\text{Ce}^{3+} \rightarrow \text{Mn}^{2+}$ в люминофоре $\text{Lu}_{3-x}\text{Gd}_x\text{Al}_5\text{O}_{12}:0.02\text{Ce}^{3+},0.1\text{Mn}^{2+}$.

На рисунке 10а показан спектр возбуждения порошкового люминофора состава $\text{Lu}_{3-x}\text{Gd}_x\text{Al}_5\text{O}_{12}:0.02\text{Ce}^{3+},0.1\text{Mn}^{2+}$. Спектр возбуждения показал два пика. Аналогично люминофору $\text{LuAG}:\text{Ce}$, пик возбуждения при 350 нм вызван переходом $4f \rightarrow 5d_2$ Ce^{3+} , а пик возбуждения при 450 нм обусловлен переходом $4f \rightarrow 5d_1$ Ce^{3+} . На рисунке 10б показан спектр излучения люминофора $\text{Lu}_{3-x}\text{Gd}_x\text{Al}_5\text{O}_{12}:0.02\text{Ce}^{3+},0.1\text{Mn}^{2+}$.

$x\text{Gd}_x\text{Al}_5\text{O}_{12}:0.02\text{Ce}^{3+},0.1\text{Mn}^{2+}$. Можно увидеть, что каждый образец имеет 2 сильных пика излучения и 1 слабый пик излучения. С добавлением Gd^{3+} интенсивность пика излучения при 750 нм возрастает. Таким образом, добавление Gd^{3+} способствует встраиванию Mn^{2+} в LuAG. Это приводит к усилению пика излучения на 750 нм.

Из спектра излучения нормализованного люминофора $\text{Lu}_{3-x}\text{Gd}_x\text{Al}_5\text{O}_{12}:0,02\text{Ce}^{3+}, 0,1\text{Mn}^{2+}$ ($x = 0-1,5$) на рисунке 10в видно, что общее красное смещение пика излучения около 518 нм составляет около 30 нм. С увеличением концентрации гадолия длина волны продолжает смещаться в красную область. Общая величина красного смещения пика излучения составляет около 20 нм. Это связано с тем, что ионы церия больше, чем ионы лутеция и ионы гадолия больше, чем ионы лутеция.

Пики излучения около 510 нм и 530 нм вызваны электронным переходом $5d \rightarrow 4f \text{Ce}^{3+}$, а пики излучения около 588 нм и 608 нм вызваны электронным переходом ${}^4\text{T}_1 \rightarrow {}^6\text{A}_1 \text{Mn}^{2+}$. Пик излучения около 750 нм вызван электронным переходом Mn^{2+} из ${}^4\text{T}_2 \rightarrow {}^6\text{A}_1$.

На рисунке 10г показана эффективность передачи энергии $\text{Ce}^{3+} \rightarrow \text{Mn}^{2+}$ в люминофоре $\text{Lu}_{3-x}\text{Gd}_x\text{Al}_5\text{O}_{12}:0.02\text{Ce}^{3+},0.1\text{Mn}^{2+}$. Подобно люминофорам LuAG: Ce^{3+} и Mn^{2+} , Ce^{3+} действует как сенсibilизатор, который может передавать свою энергию Mn^{2+} , включая переход уровня энергии $5d_1 \rightarrow 4f ({}^2\text{F}_{5/2}, {}^2\text{F}_{7/2}) \text{Ce}^{3+}$. Когда концентрация Gd^{3+} равна $x=0,25$, энергия, передаваемая от Ce^{3+} к Mn^{2+} в додекаэдре, выше, чем у других концентраций Gd^{3+} .

Эффективность передачи энергии в зависимости от концентрации гадолия ($x = 0,25, 0,5, 0,75, 1, 1,25$ и $1,5$) составила 33,8%, 38,2%, 41,5%, 43,6%, 44,6% и 45,3%, соответственно.

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1. Общая информация

В данной работе изучаются синтез и спектральная характеристика люминофора на основе лютеций-алюминиевого граната. Цель данного раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» заключается в оценке перспективности разработки и планировании финансовой и коммерческой ценности конечного продукта, предлагаемого в рамках НИ. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на следующие вопросы: будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- оценка коммерческого потенциала разработки;
- планирование научно-исследовательской работы;
- расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

4.2. Потенциальные потребители результатов исследования

Используя метод сегментирования, разделим потребителей разработки о различные нанокерамические порошки. Основные критерии сегментирования потребителей на рынке разработок покрытия различного состава:

- 1) географический
- 2) отрасль
- 3) размер компании потребителя

Представим характеристику выбранных компаний потребителей нашей разработки.

Компания «Skyrim Technology» находится в КНР, nanoиндустрия.

Компания «Jiutai Technology» находится КНР, наноиндустрия.

Компания «Liangde Technology», находится КНР, наноиндустрия.

На основе предложенного стандарта мы создадим карту сегментации с использованием разработанного нанокерамического порошка Gd-LuAG. (рис. 11).

		Виды нанопорошка Gd-LuAG			
		Световое исполнение	Интернет - каталог	Интернет-магазин	Информационный портал
Размер компании	Крупные				
	Средние				
	Мелкие				

Рисунок - 11 Карта сегментирования рынка разработок

 -Фирма А Skyrim Technology

 -Фирма В Jiutai Technology

 -Фирма С Liangde Technology

Приведем в таблице 3 сравнительные результаты оценки Gd-LuAG, разработанного конкурентами на рынке.

В процессе исследования рассматривалась конкурентная разработка двух синтетических методов Gd-LuAG.

- 1) Золь-гель метод
- 2) Распылительная сушка

Таблица 2 - Сравнение конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}

1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Прозрачность продукта	0,14	5	3	4	0,7	0,42	0,56
2. Повышение производительности труда пользователя	0,09	4	3	4	0,36	0,27	0,36
3. Энергоэкономичность	0,04	4	3	5	0,16	0,12	0,2
4. Уровень шума	0,03	4	4	3	0,12	0,12	0,09
5. Технологичность	0,08	5	4	4	0,4	0,32	0,32
6. Эффективность работы	0,07	4	3	3	0,28	0,21	0,21
7. Простота эксплуатации	0,04	5	5	3	0,2	0,2	0,12
8. Надежность	0,05	5	4	5	0,25	0,2	0,25
9. Твердость продукта	0,04	4	3	4	0,16	0,12	0,16
10. Прочность продукта	0,04	5	5	4	0,2	0,2	0,16
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Реализация продукта	0,09	5	4	5	0,45	0,36	0,45
2. Уровень охвата рынка	0,03	5	4	5	0,15	0,12	0,15
3. Предполагаемая цена	0,07	4	5	3	0,28	0,35	0,21
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,06	4	3	5	0,24	0,18	0,3
5. Финансирование научной разработки конкурентных товаров и разработок	0,04	5	4	5	0,2	0,16	0,2
6. Конкурентоспособность продукта	0,04	5	4	4	0,2	0,16	0,16
7. Срок выхода на рынок	0,03	5	5	5	0,15	0,15	0,15
8. Наличие сертификации разработки	0,02	5	4	4	0,1	0,08	0,08
Итого	1	83	70	75	4,6	3,74	4,13

Рассчитав конкурентоспособность двух используемых методов для изготовления керамики, можно сказать, что конкурентоспособность системы K_f составляет 4,6, K_{K1} - 3,74, а K_{K2} - 4,13. В результате проведенного анализа можно сделать вывод, что предлагаемое решение обладает конкурентоспособностью.

4.3. SWOT-анализ

Для исследования внешней и внутренней среды проекта проведен SWOT-анализ, где детально продуманы сильные и слабые стороны научно-технической разработки. На втором этапе проведения SWOT-анализа составлены интерактивные матрицы проекта, в которых осуществлено выполнение анализа соответствия параметров SWOT каждого с каждым. Соотношения параметров представлены в таблицах 3–6.

Таблица 3 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	-	-	-	-	-

	B2	-	+	-	-	-
	B3	-	+	-	+	-
	B4	-	+	-	+	-
	B5	+	+	-	-	-

Таблица 4 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	-	-	-	+	-
	B2	-	-	-	-	-
	B3	-	-	-	-	-
	B4	-	-	-	-	-
	B5	-	-	-	-	-

Таблица 5 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	У1	+	+	-	-	-
	У2	-	-	-	-	-

Таблица 6 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	-	-	-	+	-
	У2	-	+	-	-	-

Результаты выполнения SWOT-анализа представлены в таблице 6.

Таблица 7 – Результаты SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта</p> <p>С1. Низкая стоимость исходного сырья;</p> <p>С2. Высокий уровень физико- и термомеханических, и оптических свойств продукции;</p> <p>С3. Получение высококачественных</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта</p> <p>Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки;</p> <p>Сл2. Невысокие объемы производства;</p> <p>Сл3. Риск нарушения правил безопасности и возникновения</p>
--	--	---

	<p>продуктов; С4. Экологичность технологии; С5. Методика является перспективной.</p>	<p>различных непредвиденных ситуаций; Сл4. Сложность подбора режима; Сл5. Нет возможности поставить обеспечить крупносерийное производство.</p>
<p>Возможности В1. Использование оборудования ИШНПТ ТПУ В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт В3. Внедрение технологии в производство В4. Участие в грантах В5. Выход на зарубежные рынки</p>	<p>Направления развития В2С2. Высокий уровень физико- и термомеханических, оптических свойств продукции позволит расширить спрос В3С2С4. Высокий уровень физико- и термомеханических свойств продукции и экологичность технологии являются основанием для внедрения технологии в производство В4С2С4. Высокий уровень физико- и термомеханических, оптических свойств продукции и экологичность технологии позволит участвовать в грантах В5С1С2. Низкая стоимость исходного сырья и высокий уровень физико- и термомеханических свойств продукции является хорошим основанием для выхода на зарубежные рынки</p>	<p>Сдерживающие факторы В1Сл4. Новейшее оборудование позволит на ранних стадиях исследование выявить и предотвратить появление брака</p>
<p>Угрозы У1. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок У2. Разработка новых</p>	<p>Угрозы развития У1С1С2. Более ускоренные темпы разработки и производства и поиск технологического решения для ускорения технологического процесса</p>	<p>Уязвимости: У2Сл2. Разработка новых технологий для увеличения объема производства У1Сл4. Введение систем совершенствования производственных</p>

технологий конкурентами и снижение цен		процессов для снижения брака
--	--	------------------------------

SWOT-анализа позволил определить факторы отрицательно влияющие на продвижение разработки на рынок. К таким факторам относится:

- 1)Отсутствие прототипа научной разработки;
- 2)Невысокие объемы производства;
- 3)Нет возможности поставить обеспечить крупносерийное производство.

Отрицательное влияние факторов возможно устранить с помощью внедрения ии уже есть возможности для их устранения. Результаты анализа учтены в дальнейшей научно-исследовательской разработке.

4.4. Планирование научно-исследовательских работ

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

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

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

Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной научно-исследовательской работы, приведен в таблице 8.

Таблица 8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	научный руководитель
	2	Календарное планирование выполнения ВКР	инженер, научный

			руководитель
Выбор способа решения поставленной задачи	3	Обзор научной литературы	инженер
	4	Выбор методов исследования	инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование эксперимента	инженер, научный руководитель
	6	Проведение эксперимента	инженер
Обобщение и оценка результатов	7	Анализ полученных результатов НИР	инженер
	8	Оценка эффективности результатов	научный руководитель
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	9	Составление пояснительной записки	инженер

Таким образом, выделили основные этапы работ и их содержание, а также исполнителей, выполняющие данные работы.

4.5. Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

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

Для оценки трудоемкости проводимых работ представим расчет показателей: трудоемкость, продолжительность одной работы, календарный коэффициент

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

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} \quad (4.5.1)$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, человекодни;

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

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой

работы, человеко-дни.

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

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} \quad (4.5.2)$$

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

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни;

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

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

$$T_{ki.инж} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (4.5.3)$$

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

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

$k_{кал}$ – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{кал.инж} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48 \quad (4.5.4)$$

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

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 9.

Таблица 9 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ			Длительность работ в рабочих днях	Длительность работ в календарных
	t_{min} , чел-дни	t_{max} , чел-дни	$t_{ожі}$, чел-дни		

	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	T_{pi}	дней T_{ki}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	1		3		1,8		1,8	3
2. Календарное планирование выполнения ВКР	1	1	4	4	2,2	3,2	2,2	3
3. Обзор научной литературы		12		16		22,4	13,6	20
4. Выбор методов исследования		3		5		17,4	3,8	6
5. Планирование эксперимента		2		5		21	3,2	5
6. Проведение эксперимента		20		25		38	22	33
7. Анализ полученных результатов НИР	6	6	9	9	7,2	7,2	7,2	11
8. Оценка эффективности результатов		2		6		11,2	3,6	5
9. Составление пояснительной записки		2		5		12,2	3,2	5
Итого	8	48	16	75	11,2	132,6	60,6	88

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

На основе таблицы 9 составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица 10).

Таблица 10 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность работ											
				февр			март			апр			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Исп1	3												
2	Календарное планирование	Исп1 Исп2	3												

№	Вид работ	Исп	Т _{кп} , кал. дн.	Продолжительность работ											
				февр			март			апр			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	выполнения ВКР														
3	Обзор научной литературы	Исп2	20		■	■									
4	Выбор методов исследования	Исп2	6				■								
5	Планирование эксперимента	Исп2	5					■							
6	Проведение эксперимента	Исп2	33						■	■	■	■	■	■	■
7	Анализ полученных результатов НИР	Исп1 Исп2	11									■	■	■	■
8	Оценка эффективности результатов	Исп2	5											■	■
9	Составление пояснительной записки	Исп2	5												■

Примечание:

■ – Исп 1 (научный руководитель)

■ – Исп 2 (инженер)

4.6. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

Представим расчет потребности в материалах на НТИ в таблице в таблице 11.

Таблица 11– Стоимость получения керамического порошка Gd-LuAG

Наименование статей	Кол-во/1 изд	Цена, руб./кг	Итого затраты, руб.
Порошок оксида нано лютеция, кг	0,37	4500	1665
Порошок оксида нано гадолия, кг	0,35	700	245
Порошок глинозема, кг	0,12	1750	210
Порошок оксида церия, кг	0,05	1000	50
Порошок карбоната марганца, кг	0,04	120	4,8
Порошок оксида кремния, кг	0,02	1100	22
Графитовая бумага, кг	0,3	383	114,9
Итого:			2311,7

Представим расчет потребности в оборудовании для научных (экспериментальных) работ в таблице 12.

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования,
---	---------------------------	-------------	-----------------------------------	---------------------------------	-------------------------------

					руб.
1	Аналитические весы ФА 2004	1	5	36000	36000
2	Планетарная мельница QM-3SP4	1	10	105000	105000
3	Рентгеновский порошковый дифрактометр TD- 3500X	1	20	16000	16000
4	Флуоресцентный спектрофотометр (Hitachi, F-7000, Япония)	1	20	650000	650000
5	УФ-лампа, ZF-6	1	10	20500	20500
6	Трубчатая печь, ВТФ- 1700С	1	20	1650000	1650000
7	Коробчатая печь, KF1600	1	20	300000	300000
Итого:					2777,55 тыс. руб.

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

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (13)$$

где $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (таблица 8).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_o} = \frac{51285 \cdot 10,3}{246} = 2147,3 \text{ руб.}, \quad (14)$$

где Z_m – должностной оклад работника за месяц; F_o – действительный годовой фонд рабочего времени исполнителей, раб.дн.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

- при отпуске в 28 раб. дня – $M = 11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя;
- при отпуске в 56 раб. дней – $M = 10,3$ месяца, 6-дневная рабочая неделя.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{\text{он}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_0} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.} \quad (15)$$

Должностной оклад работника за месяц:

– для руководителя:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{мс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) k_{\text{р}} = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.} \quad (16)$$

– для инженера:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{мс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) k_{\text{р}} = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.}, \quad (17)$$

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

Таблица 13 – Баланс рабочего времени исполнителей

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

Таблица 14 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{\text{мс}}, \text{руб}$	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}, \text{руб}$	$Z_{\text{он}}, \text{руб}$	$T_{\text{р}}, \text{раб.дн.}$	$Z_{\text{осн}}, \text{руб}$
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	17	36504,1
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	85	148163,5
Итого:								184667,6

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{\text{доп}} = K_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,15 \cdot 36504,1 = 5475,6 \text{ руб.} \quad (18)$$

– для инженера:

$$Z_{\text{доп}} = K_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,15 \cdot 148163,5 = 22224,5 \text{ руб.}, \quad (19)$$

где $K_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии

проектирования принимаем равным 0,15).

4.7. Бюджетная стоимость НИР

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 15.

Таблица 15 – Группировка затрат по статьям

№	Наименование статьи	Сумма, руб.		
		Текущий Проект	Исп.2	Исп.3
1	Амортизация	38518	40000	3625
2	Сырье, материалы	2311,7	3000	2895
3	Основная заработная плата	184667,6	200000	195555
4	Дополнительная заработная плата	27700,1	30000	31254
5	Отчисления на социальные нужды	31855	30000	30153
6	Накладные расходы	193434,4	170000	220142
Бюджет затрат НИР		453486,8	500000	483624

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получен в процессе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный

показатель реализации технической задачи принят за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (20)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения.

$$I_{\text{финр}}^{\text{Вар.2}} = \frac{500000}{500000} = 1 \quad (21)$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{Вар.3}} = \frac{483624}{500000} = 0,97 \quad (22)$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{Вар.1}} = \frac{453486,8}{500000} = 0,91 \quad (23)$$

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

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов выполнения НИР (I_{pi}) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 16).

Таблица 16 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НТР

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Вар.1	Вар.2	Вар.3
1. Актуальность рассматриваемого продукта	0,30	5/1,5	5/1,5	4/1,2
2. Стабильность работы	0,15	4/0,6	4/0,6	3/0,45
3. Технические характеристики	0,10	5/0,5	4/0,4	3/0,3
4. Ремонтпригодность	0,20	4/0,8	5/1	4/0,8
5. Продолжительность процесса	0,15	5/0,75	3/0,45	3/0,45
6. Безопасность при использовании установки	0,20	4/0,8	4/0,8	5/1

ИТОГО	1	27/4,95	25/4,75	22/4,2
-------	---	---------	---------	--------

$$I_{p-вар1} = 4,95;$$

$$I_{p-вар2} = 4,75;$$

$$I_{p-вар3} = 4,2.$$

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

$$I_{вари} = \frac{I_{p-вари}}{I \frac{вари}{финр}}. \quad (24)$$

$$I_{p-вар3} = \frac{4,2}{1} = 4,2, \quad I_{p-вар2} = \frac{4,75}{0,96} = 4,95, \quad I_{p-вар1} = \frac{4,95}{0,93} = 5,32$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НТР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица 17).

Таблица 17 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,91	0,97	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,95	4,75	4,2
3	Интегральный показатель эффективности	5,32	4,95	4,2
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	Вар. 1/Вар. 3 = 1,18 Вар. 1/Вар. 2 = 1,04	Вар. 2/Вар. 3 = 1,13 Вар. 2/Вар. 1 = 0,96	Вар.3/Вар.2 = 0,88 Вар. 3/Вар. 1 = 0,85

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансово- и ресурсоэффективным является вариант 1 (данная разработка), т. к. показатель его сравнительной эффективности по отношению к каждому из сравниваемых вариантов больше 1.

Выводы по разделу

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

1. Результатом проведенного анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации НТР как наиболее предпочтительного и рационального по сравнению с остальными.

2. При проведении планирования был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее количество календарных дней для выполнения работы – 88 дней; общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер, – 85; общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель, – 17;

3. Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 453486,8 руб;

4. По факту оценки эффективности ИР, можно сделать выводы:

1) значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,91, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной по сравнению с аналогами;

2) значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,95, по сравнению с 4,2 и 4,75;

3) значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 5,32, по сравнению с 4,2 и 4,95, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

5 .Социальная ответственность

Целью данного раздела ВКР является оценка безопасности исследований, направленных на Синтез и спектральная характеристика люминофора на основе лютеций-алюминиевого граната. Область применения результатов ВКР – Применение нанопорошка Gd-LuAG: получение прозрачного керамического порошка.

Исследование проводилось в лаборатории здания материаловедения и технологий Чунцинского университета искусств и наук. (ауд. 109 и 213).

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя)

правовые нормы трудового законодательства

При организации работ в лаборатории следует исходить из положений Трудового кодекса Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 02.12.2019) [21].

Некоторые виды деятельности в нанотехнологических лабораториях относятся к видам работ в тяжелых и вредных условиях. В соответствии с Российским законодательством таким работникам повышают оплату труда, сокращают продолжительность рабочего времени, выдают молоко, досрочно назначают трудовую пенсию.

Для установления гарантий и компенсаций обращаются к Трудовому кодексу РФ, а также к локальным нормативным актам, коллективному договору, трудовому договору.

5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

исследователя

Исследовательские эксперименты с нанокерамическим порошком проводились в лаборатории факультета материаловедения и технологий. Рабочее место находится на втором этаже, имеет ширину 4 м, длину 4 м и высоту 2,5 м. В лаборатории располагается 2 окно шириной 1,5 м и длиной 1,8

м. В помещении находятся 5 технических оборудования, 7 рабочих мест.

При проведении лабораторных работ работник лаборатории находится в положении стоя (преимущественно) и сидя. Соответственно, когда организуют рабочее место инженера, должны соблюдать требования [22] и [23].

В процессе выполнения данной работы с использованием наночастицами Gd-LuAG все работники необходимы использовать средства индивидуальной защиты такими как очки, халат, маска для защиты дыхательных путей [ТК РФ. Охрана труда. Требования охраны труда. Статья 212. Обязанности работодателя по обеспечению безопасных условий и охраны труда].

Работники должны понимать и соблюдать правила личной гигиены. Работникам разрешается питаться, курить и отдыхать только в специально отведенных для этого помещениях и зонах. Рабочее место должно быть регулярно убрано после работы. Создание хороших уютных условий труда может повысить привлекательность работы и оказать положительное влияние на повышение ее эффективности.

Конструкция рабочего места должна предполагать удобство выполнения необходимых операций в рамках зоны досягаемости моторного поля.

5.2 Производственная безопасность

В процессе исследования работа проводилась в лаборатории Чунцинского университета искусств и наук с использованием шаровых планетарных мельниц, коробчатых печей, трубчатых печей и т. Д., поэтому к электробезопасности необходимо серьезно относиться при проведении экспериментов.

В процессе работы планетарная шаровая мельница и трубчатая печь будут производить много шума во время работы, в этом случае работники находятся в шумной обстановке. Шум может также влиять на здоровье человека при огромном звуке.

Микроклимат в рабочей зоне является важным фактором здоровья работающего и качества его работы. Так, например, низкая влажность может

быть причиной пересыхания слизистой оболочки дыхательных путей.

Были выявлены потенциальные вредные и опасные производственные факторы [24], которые могут воздействовать на исследователя в ходе приготовления светопропускающей керамики из нанопорошков Gd-LuAG (таблица 18).

Таблица 18 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработ ка	Изготовл ение	Эксплуат ация	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	ГОСТ 12.1.005-88 [5] СанПиН 2.2.4.548-96 [6]
2. Превышенный уровень шума		+		ГОСТ 12.1.003-2014 [7] ГОСТ 12.1.029-80 [8] СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [9]
3. Недостаточная освещенность рабочей зоны		+	+	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [10] СП 52.13330.2016 [11]
4. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	ГОСТ 12.1.019-2017 [12] ГОСТ 12.1.038-82 [13]

5.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

5.2.1.1 Анализ показателей микроклимата

Понятие «микроклимата» представлено температурой и относительной влажностью воздуха, скоростью движения воздуха и степенью интенсивности теплового излучения.

Оптимальные и допустимые показатели микроклимата в рабочей зоне производственного помещения для категории работ «Легкая Ia» по ГОСТ 12.1.005-88 [25] приведены в таблице 19.

Таблица 19 – Требования к микроклимату помещения для категории работ «Легкая Ia»

Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения, м/с

	оптимальная	допустимая				оптимальная	допустимая на рабочих местах постоянных и непостоянных, не более	оптимальная, не более	допустимая на рабочих местах постоянных и непостоянных
		верхняя граница		нижняя граница					
		на рабочих местах							
		постоянных	непостоянных	постоянных	непостоянных				
Холодный	22-24	25	26	21	18	40-60	75	0,1	Не более 0,1
Теплый	23-25	28	30	22	20	40-60	55 (при 28°C)	0,1	0,1-0,2

Микроклимат в рабочей зоне является важным фактором здоровья работающего и качества его работы. Так, например, низкая влажность может быть причиной пересыхания слизистой оболочки дыхательных путей.

Исследовательская лаборатория находится на втором этаже и имеет два больших окна с хорошей вентиляцией. Однако из-за обильных осадков в Чунцине сезон дождей длится долго и длится с января по май, существует опасность повышенной влажности.

Соответствие показателей микроклимата нормам необходимо регулярно контролировать посредством измерений данных показателей, исходя из требований, обозначенных в [26].

Улучшение микроклимата в лаборатории может быть достигнуто с помощью регулирования движения воздуха посредством вентиляции.

5.2.1.2 Анализ показателей шума

Гигиенические нормативы по шуму определены в ГОСТ 12.1.003-2014 [27] и в СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [29].

Работа специалиста по материаловедению в лаборатории относится к категории работ со средней степенью напряженности и с легкой физической нагрузкой. Для рабочих мест таких работников предельно допустимый уровень шума составляет 70дБА [27] (таблица 20).

Таблица 20 – Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах для трудовой деятельности разных категорий тяжести и напряженности в дБА

Категория напряженности трудового процесса	Категория тяжести трудового процесса				
	легкая физическая нагрузка	средняя физическая нагрузка	тяжелый труд 1 степени	тяжелый труд 2 степени	тяжелый труд 3 степени
Напряженность легкой степени	80	80	75	75	75
Напряженность средней степени	70	70	65	65	65
Напряженный труд 1 степени	60	60	-	-	-
Напряженный труд 2 степени	50	50	-	-	-

Источником шума в лаборатории является столкновение планетарной шаровой мельницы и звук воздушного потока в трубчатой печи.

Показатели уровня шума в лаборатории соответствуют нормативам. Если уровень шума превышает нормы, необходимо принимать меры по снижению уровня шума и защите работников от его воздействия в соответствии с [27].

Средства и методы защиты от шума [28]:

- рациональное планирование режима труда;
- индивидуальные средства защиты;
- звукоизолирующие и звукопоглощающие элементы.

5.2.1.3 Анализ освещенности рабочей зоны

Нормы освещения научно-технических лабораторий, в том числе физических, стилометрических, спектрографических и т. п., по [31] представлены в таблице 4.

Получение светопропускающей керамики предполагает зрительные работы, относящиеся к VI разряду (грубая точность). Нормы разных видов освещения для промышленных помещений со зрительными работами шестого разряда [30] представлены в таблице 22.

Таблица 21 – Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения научно-технических лабораторий

Рабочая поверхность и плоскость нормирования КЕО и освещенности (Г – горизонтал	Естественное освещение КЕО e_n , %		Совмещенное освещение КЕО e_n , %		Искусственное освещение			
	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	Освещенность, лк		Показатель дискомфорта, М, не более	Коэффициент пульсации освещенности, КЕО
					при комбинированном освещении	при общем освещении		

ьяная, В – вертикальная) и высота плоскости над полом, м									ε _н , %, не более
					всего	от общего			
Г-0,8	3,5	1,2	2,1	0,7	500	300	400	40	10

Таблица 22 – Требования к освещению помещений промышленных предприятий (для категории VI)

Искусственное освещение				
Освещенность, лк			Сочетание нормируемых величин объединенного показателя дискомфорта UGR и коэффициента пульсации	
при системе комбинированного освещения		при системе общего освещения	UGR, не более	К _п , %, не более
Всего	В том числе от общего			
-	-	200	25	20

В результате недостатка освещения ухудшается сон, увеличивается зрительная нагрузка, развиваются офтальмологические заболевания.

В рабочем месте применяется совмещенное освещение. Основным источником света являются 6 люминесцентных ламп с зеркальными решетками, расположенных в 3 ряда. В каждом ряду можно установили 3 светильников типа ЛТБ-40 с мощностью 40 Вт (с длиной 1,2м, шириной 0,4м).

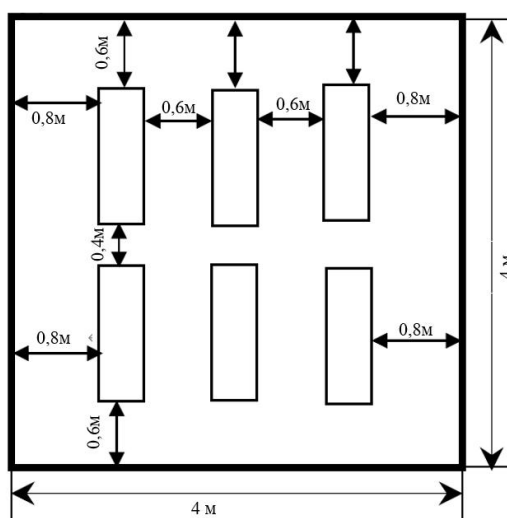


Рисунок 12 – План расположения светильников в рабочем помещении
Таблица 23. Параметры для расчета освещенности помещения на рабочих местах

Высота помещения Н,м	Длина помещения А,м	Ширина помещения В,м	коэффициент отражения стен R _c , %	Коэффициент отражения потолка R _n ,%	Коэффициент запаса, k	коэффициент размерности Z	Высота рабочей поверхности h _p ,м	Мощность, Вт	Световой поток одной лампы Φ, лм
2,5	4	4	50	70	1,5	1,2	0,9	40	2850

Произведем расчет искусственного освещения помещения:

Определяем индекс помещения i по формуле 1:

$$i = \frac{S}{H * (A + B)} = \frac{4 * 4}{2,5 * (4 + 4)} = 0,8$$

Коэффициент использования светового потока: $\eta = 41\%$.

Определяем потребный световой поток ламп в каждом из рядов по формуле 2:

$$\Phi = \frac{E_H * S * K_z * Z}{N_l * \eta}$$

где E_H – нормируемая минимальная освещенность, (СНиП 23-05-95)

$E_H = 400$ лк,

k – коэффициент запаса,

n – число ламп в помещении,

η – коэффициент использования,

Z – коэффициент равномерности.

$$\Phi = \frac{400 * 16 * 1,5 * 1,2 * 100\%}{2 * 41\%} = 14049 \text{ лм}$$

В каждом светильнике 2 лампы со световым потоком 2850 лм.

Необходимое число светильников в ряду:

$$N = \frac{14049}{2 * 2850} \approx 2$$

Фактическая освещённость определяется E_ϕ :

$$E_\phi = 2850 * 3 * 2 = 17100 \text{ лм}$$

Рассчитываем фактическое значение освещения в помещении по формуле 3:

$$E_{\text{фактич.}} = \frac{\Phi \cdot N \cdot \eta}{S \cdot K_z \cdot Z \cdot 100\%} = \frac{14049 \cdot 2 \cdot 41\%}{16 \cdot 1,5 \cdot 1,1 \cdot 100\%} = 436 \text{ лк}$$

Согласно стандарту, рекомендуемое освещение разрядной камеры, составляет равен 400 лк. В рассматриваемом рабочем помещении состоится 436лк приходится на искусственное освещение без учета естественного освещения. Таким образом, такое рабочее место соответствует требованию освещения рабочих мест в производственных помещениях, указанные в СНиП 23-05 [31].

5.2.1.4 Анализ электробезопасности

Электрический ток – это повышенный источник опасности. В таблице 6 представлены предельно допустимые значения электрического тока при нормальном режиме работы электроустановок [33].

Таблица 24 – Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов

Род тока	U, В	I, мА
	не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

Одним из самых распространенных источников поражения электрическим током считаются открытые металлические участки электроприборов, поврежденные проводка, выключатель, розетка.

Причиной поражения током могут быть случайное прикосновение к токоведущим частям, появление напряжения в результате повреждения изоляции и появление напряжения вследствие ошибочного включения оборудование [32].

В рабочем месте отсутствует условия, создающие особую опасность, поэтому такое рабочее место относится к Помещения повышенной опасности поражения электрическим током. (ПУЭ).

Под электробезопасностью понимается совокупность технических и организационных средств и мероприятий, которые предназначены для обеспечения защиты людей.

Для обеспечения электробезопасности применяются заземление, защитные очки, безопасная конструкция электроприборов, инструменты с изоляционными ручками [32].

5.3 Экологическая безопасность

При выполнении исследования лаборатория на базе «Нано-Центра» ЧУИИН не представляет собой промышленное предприятие, все продукты производятся в лабораторных количествах, следовательно, создание защиты селитебной зоны, как санитарно-защитная зона, не является необходимым.

Когда керамический порошок Gd-LuAG производится с помощью идеи высокотемпературных долей, одной из потенциальных опасностей для атмосферы является распространение порошка Gd-LuAG в воздухе. Защита атмосферного воздуха от выбросов представлена очисткой вредных выбросов в специальных аппаратах (циклоны, фильтры и т.п.) и рассеиванием очищенных выбросов в воздухе. Выбросы порошка, появляющиеся при проведении исследования, не превышают ПДК [33].

Остальные образцы промываем в тигле водой. Остатки порошка через водопроводную систему могут попадать в почву и в воду. Чтобы очистить загрязнённую воду, применяются методы экстракции, обратного осмоса, ректификации и ультрафильтрации и др. Избыточное количество вредных веществ в воде вредно для людей, животных и растений. Количество отходов, попадающие в процессе исследования в воду, не превышает ПДК [34].

Во время проведения опытов образуются вредные твердые отходы: бумага для пресс-формы. При попадании порошковых материалов в почву возможно изменение её состава, что негативно влияет на находящиеся там живые организмы. Законодательство требует соблюдения правил утилизации вредных твердых отходов.

Таким образом, проведение исследования безопасно для атмосферы, гидросферы и литосферы.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

К чрезвычайным ситуациям относят опасные события или явления,

которые являются причиной нарушения безопасности жизнедеятельности.

В рабочем месте есть вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного (разрыв, пожар) и природного (наводнение, землетрясение и т.д.) характера.

Сильный мороз зимой является минимальной температурой, опасной для определенной лаборатории. Сильные морозы является причиной увеличения числа техногенных пожаров. В случае сильных мороз зимой в лаборатории оборудования требуют специальных изоляционных и морозильных устройств. Для обертывания частей оборудования, которые легко замерзают, необходимо использовать теплоизоляционные материалы. Когда наступает зима, необходимо проверять, чтобы предотвратить повреждение упакованных теплоизоляционных материалов.

В лаборатории наиболее вероятно возникновение чрезвычайных ситуаций техногенного характера. На случай возникновения чрезвычайной ситуации в лаборатории должен быть предусмотрен следующий комплекс мероприятий: 1) необходимо эвакуировать людей или укрыть их в защитных сооружениях; 2) обеспечить людей индивидуальными средствами защиты; 3) организовать медицинскую помощь пострадавшим.

Рассмотрим наиболее типичную ЧС, такую как пожар в лаборатории.

Анализ пожарной безопасности

В лаборатории может произойти авария, взрыв или пожар. Наиболее распространенная вероятная чрезвычайная ситуация – это пожар. Помещение лаборатории по степени пожароопасности относится к классу Б, т.к. в нем присутствует выделение горючей пыли или волокон [35].

Причинами пожара могут быть: оставление без присмотра нагревательных приборов; перегрузки по току; искрение; статическое электричество, нарушение правил пожарной безопасности при проведении работ и т.п.

Во избежание пожара в лаборатории должно быть обеспечено соблюдение теплового и электрического режима работы оборудования; все

сотрудники лаборатории должны пройти противопожарный инструктаж.

Пожарный инвентарь и первичные средства пожаротушения должны содержаться в исправном состоянии и находиться на видном и легко доступном месте.

Если в лаборатории возник пожар, то после ликвидации пожара формируют комиссию, определяющую возможность дальнейшего использования лабораторного оборудования, которое проверяют на соответствие требованиям пожарной безопасности. При отсутствии повреждений возможно продолжение работ [36].

Выводы по разделу

Таким образом, с учетом безопасности и гигиены труда в данном разделе ВКР были рассмотрены потенциальные вредные и опасные факторы на рабочем месте во время изготовления керамического порошка Gd-LuAG высокотемпературным твердофазным методом.(шум, отклонение показателей микроклимата, электрический ток) и рекомендованы мероприятия по их устранению.

Исследовано влияние этих факторов на человека по допустимым нормам. Рассмотрены типичные чрезвычайные ситуации, их поведение, охарактеризованы меры предосторожности для их предотвращения.

Анализ показал, что проведение исследования отличается низким уровнем опасности для человека и окружающей среды.

Заключение

В результате выполнения выпускной квалификационной работы синтезированы серия порошковых люминофоров на основе лютеций-алюминиевого граната методом твердофазного синтеза.

В ходе выполнения работы проведена оптимизация процесса синтеза. Изучены оптико-люминесцентные свойства и фазовый состав синтезированных материалов.

Установлено, что в результате увеличение концентрации ионов церия в LuAG:Ce, происходит смещение основного пика люминесценции в красную область. Это связано с повышенной ковалентной связью между ионами церия и кислорода.

Установлено, что введение гадолиния и в матрицу LuAG: Ce:Mn приводит к смещению пика излучения Ce^{3+} в красную область, на 30 нм, и смещению пика излучения Mn^{3+} на 20 нм, в красную область. Это увеличивает долю красного света в спектре излучения и способствует увеличению индекса цветопередачи.

Список литературы

1. Li Jinkai., Li Jiguang., Liu Shaohong. The development of Ce³⁺-activated (Gd,Lu)₃Al₅O₁₂ garnet solid solutions as efficient yellow-emitting phosphors // Science and Technology of Advanced Materials. -2013.- P. 14.
2. Geusic J.E., Marcos H.M., Van Uitert L.G. Laser oscillations in Nd-doped yttrium aluminum, yttrium gallium and gadolinium garnets // Appl.Phys.Lett. - 1964.- V.4.- P.182-184
3. Wang C., Ren G.H. Recent studies on garnet scintillation crystals // Chin.Ceram.Soc.- 2015.- V.43.- P.882-891.
4. Li H.L., Liu X.J., Huang L.P. Fabrication of transparent Ce LuAG ceramics by a solid-state reaction method // Inorg.Mater.- 2006- V.21.- P.1161-1166.
5. Park K., Kim T., Yu Y. Y/Gd-free yellow Lu₃Al₅O₁₂:Ce³⁺ phosphor for white LEDs // Journal of Luminescence.- 2006- V.173.- P.159-164.
6. Ye Y.L. Research on the laser performance of neodymium-lutetium-doped aluminum garnet transparent ceramics // Wenzhou University. - 2016- P.10-16.
7. Zhaang N., Zhuo N.Z. Zhu Y.H. Preparation of ZnO-Zn Green Phosphors via Sintering Temperatures with Solid State Reaction and Their Application in Near-UV LEDs. // SPECTROSCOPY AND SPECTRAL ANALYSIS. - 2018- V.38.- P.3030-3035.
8. Zhao wenqing, Guan Rongfeng, Li Shuaimou. Preparation of YAG phosphor by sol-gel method and its performance. // NEW CHEMICAL MATERIALS.- 2009- P.12-37.
9. Zhai Yongqing, Wang Lili, Chen Juan, et al. Rapid synthesis of CaMoO₄:Eu³⁺ red phosphor by microwave radiation and its properties. // Journal of Synthetic Crystals. -2012- P.1-9.
10. Yu Xianmiao, Huang Lilei, Fu Yanbin, et al. Study on the photoluminescence properties of Y₂SiO₅:Eu³⁺ nano-phosphor prepared by combustion synthesis [C]// Journal of China Institute of Metrology. -2005.

11. Tang Kun, Huang Miaoliang, Yang Jiyuan, et al. Hydrothermal synthesis of YVO₄:Eu³⁺ nano-phosphor and its photoluminescence properties. // Journal of Synthetic Crystals.- 2011- V.40.- P.1429-1434.
12. Qi Faxin, Wang Haibo, Zhu Xianzhong. Preparation of spherical YAG:Ce³⁺ phosphor by spray pyrolysis method. // Journal of the Chinese Rare Earth Society. -2011- V.23.- P.568-571.
13. Zhang Zhanhui, Wang Yuhua, Du Yunkun. Synthesis of BaMgAl₁₀O₁₇:Eu²⁺ phosphor by chemical co-precipitation method and its luminescent properties. // Functional Materials. -2004- V.35.- P.627-629.
14. Zhang Liyan, etc. Preparation and performance study of Lu₂O₃ and LuAG phosphors doped with rare earth ions.-2010.
15. Jiang Chengyong, Chen Hongbing, Xiao Huaping. two methods to prepare LuAG powder.-2008.
16. Yu Y, Wang H, Li L, et al. Effects of various fluxes on the morphology and optical properties of Lu-xAl₅O₂:xCe, green phosphors. // Ceramics International. - 2014- V.40.- P.14171-14175.
17. Yao Y.Q, Li J.H. discuss the application of new white LED phosphors // resource conservation and environmental protection. -2016- P.3.
18. Zhang N., Zhuo N.Z., Cheng S.W., Zhu Y.H., Wang H.B. Preparation of ZnO : Zn Green Phosphors via Sintering Temperatures with Solid State Reaction and Their Application in Near-UV LEDs. // SPECTROSCOPY AND SPECTRAL ANALYSIS. -2018- V.38.- P.3030-3035.
19. Tang Kun, Huang Miaoliang, Yang Jiyuan, et al. Hydrothermal synthesis of YVO₄:Eu³⁺ nano-phosphor and its photoluminescence properties. // Journal of Synthetic Crystals. -2011- V.40.- P.1429-1434.
20. Wang Xin, Xu Jie, Mu Baozhong. Study on X-ray Diffraction Phase Analysis Method of Crystals. // Experimental Technology and Management. -2021- V.38.- P.29-33.
21. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 02.12.2019).

22. ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования (дата введения: 01.01.1979).
23. ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования (дата введения: 01.01.1979).
24. ГОСТ 12.0.003-2015. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация (дата введения: 01.03.2017).
25. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (дата введения: 01.01.1989).
26. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений (утв. Постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 1 октября 1996 г.).
27. ГОСТ 12.1.003-2014. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности (дата введения: 01.11.2015).
28. ГОСТ 12.1.029-80. ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация (дата введения: 01.07.1981).
29. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки (утв. Постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 31 октября 1996 г.).
30. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий (дата введения: 15.06.2003).
31. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* (дата введения: 08.05.2017).
32. ГОСТ 12.1.019-2017. ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты (дата введения: 01.01.2019).
33. ГН 2.1.6.3492-17. Предельно-допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений (утв. 22.12.2017, с изменениями на 31.05.2018).

34. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (утв. 30.04.2003, с изменениями на 13.07.2017).
35. Федеральный закон «О внесении изменений в Федеральный закон "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности"» от 10.07.2012 № 117-ФЗ.
36. ВНЭ 5-79. Правила пожарной безопасности при эксплуатации предприятий химической промышленности (утв. Министерством химической промышленности 25 июля 1979 г.).

ПРИЛОЖЕНИЕ

Дин Юйчунь (Китай)

Томский политехнический университет г.Томск

Пайгин В.Д.(Россия)

Томский политехнический университет г.Томск

Научный руководитель: Хасанов О.Л. Профессор, д.т.н., директор

Научно-образовательного инновационного центра

«Наноматериалы и нанотехнологии»

Национального исследовательского Томского политехнического университета

СИНТЕЗ И СПЕКТРАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛЮМИНОФОРА НА ОСНОВЕ ЛЮТЕЦИЙ- АЛЮМИНИЕВОГО ГРАНАТА

Введение. Алуминаты гранатов на основе редкоземельных элементов представляют собой группу многофункциональных керамических материалов. Благодаря их широкой запрещенной зоне, химической и термической стабильности, высокой прозрачности в широком спектральном диапазоне они эффективно применяются в белых светоизлучающих диодах (СИД), в качестве люминофоров для преобразования синего света в белый. К числу алуминатов граната относятся иттрий-алюминиевый гранат $Y_3Al_5O_{12}$ (YAG), лютеций-алюминиевый гранат $Lu_3Al_5O_{12}$ (LuAG), гадолиний-алюминиевый гранат $Gd_3Al_5O_{12}$ (GdAG). Люминесцентная керамика на основе YAG: Ce^{3+} демонстрирует чрезвычайно высокую эффективность люминесценции и короткое время затухания (десятки наносекунд). Это расширяет область практического применения такой керамики и делает потенциально возможным её использование в качестве сцинтиллятора в детекторах рентгеновского излучения. Однако, сцинтилляционный материал должен иметь высокую теоретическую и практическую плотность для обеспечения высокой тормозящей способности рентгеновского излучения. К сожалению, тормозящая способность YAG низкая, что обусловлено его относительно низкой плотностью ($4,54 \text{ г/см}^3$) [1].

Лютеций-алюминиевый гранат в этом смысле более привлекателен, чем YAG, поскольку лютеций (Lu) имеет больший атомный вес, чем иттрий (Y). Однако высокая стоимость лютеция и соединений на его основе делает LuAG-керамику дорогостоящей и затрудняет её широкое применение. Альтернативой LuAG-керамики, как может выступать GdAG, поскольку гадолиний (Gd) более доступен. Атомный вес Gd близок к Lu. За исключением того, что сила света и красный свет керамики GdAG не так хороши, как у LuAG. прозрачная керамика на основе GdAG: Ce^{3+} + может эффективно использоваться в качестве люминофора и конкурировать с YAG: Ce^{3+} в осветительных приборах.

Цель работы - контролировать содержание ионов гадолиния для увеличения силы света керамического порошка и увеличения доли красного света.

Экспериментальная часть.

Навеску исходных порошковых компонентов в заданных пропорциях смешивали в цилиндрической емкости и помещали в шаровую мельницу, добавляли этанол и перемешивали в течение 24 часов со скоростью 400 об./мин. Полученную смесь сушили на воздухе при 80 ° С в течение 24 часов. Порошковые смеси измельчали и просеивали через сито 200 меш. Затем его спекают в муфельной печи при высокой температуре 1500 ° С в течение 4 часов и непрерывно вводят водород для восстановления. После спекания агломерированный порошок измельчают.

Были подготовлены 4 порошковые смеси, массой не более 4 г. Компонентный состав смесей представлен в таблице 1.

Таблица 1 Состав порошковых смесей

Наименование	Lu ₂ O ₃ , г	Gd ₂ O ₃ , г	Al ₂ O ₃ , г	CeO ₂ , г	MnCO ₃ , г	SiO ₂ , г
1 LuAG:Ce:Mn	2.3397	-	0.9992	0.0413	0.0460	0.0240
2 66.7% (LuAG+33.3%GdAG):Ce:Mn	1.5439	0.7250	0.9992	0.0413	0.0460	0.0240
3 33.3% (LuAG+66.7%GdAG):Ce:Mn	0.7481	1.45	0.9992	0.0413	0.0460	0.0240
4 GdAG:Ce:Mn	-	2.1314	0.9992	0.0413	0.0460	0.0240

В работе использовали ультрафиолетовую лампу (Gao Peng, ZF-6, Shanghai) для предварительной проверки флуоресцентного эффекта порошков.

Флуоресцентный спектрофотометр (Hitachi, F-7000, Япония) для измерения фотолюминесценции. Обработку полученных спектров проводили при помощи коммерческого программного обеспечения «Origin».

Результаты. На рисунке 1 представлено фото порошков, помещенных под ультрафиолетовую (УФ) лампа с длиной волны 365 нм, полученных в результате эксперимента. С увеличением концентрации Gd в образцах спектр свечения изменяется, а интенсивность уменьшается.

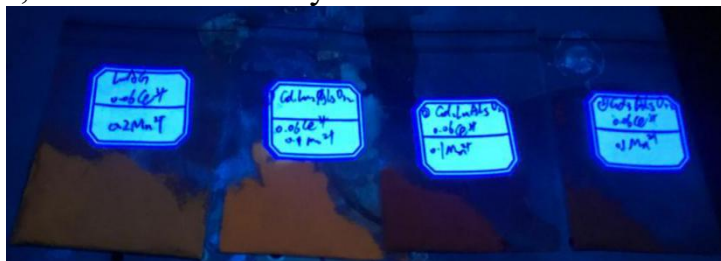


Рисунок 1 Фото синтезированных порошков LuAG(GdAG):Ce:Mn, помещенных под УФ-лампу.

На рисунке 2 представлены спектры люминесценции синтезированных образцов. Видно, что с увеличением концентрации ионов Gd спектральная интенсивность образцов (66.7% (LuAG+33.3%GdAG):Ce:Mn и 33.3%

(LuAG+66.7%GdAG):Ce:Mn) уменьшается. При полном замещении лютеция гадолинием интенсивность люминесценции уменьшается, а при частичном замещении наблюдается смещение наиболее интенсивного пика люминесценции в красную область.

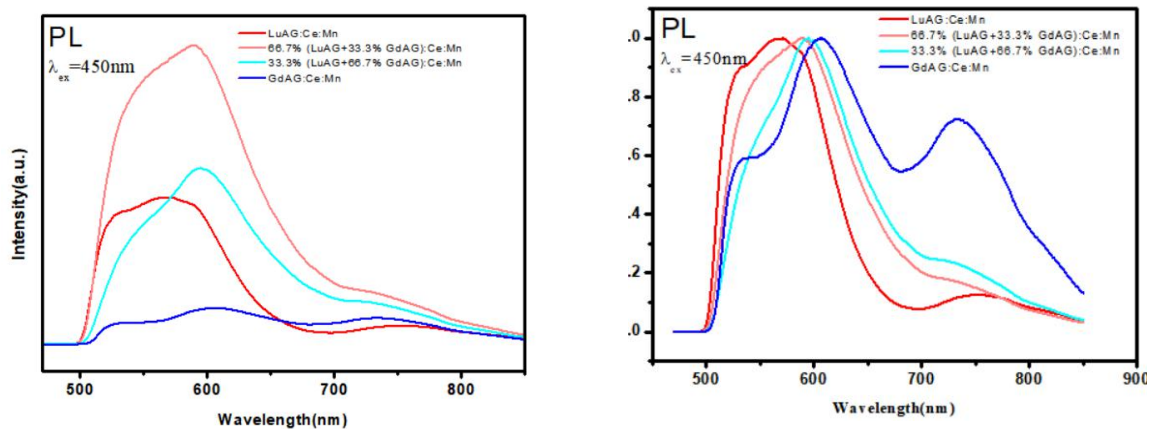


Рисунок 2: (а) Исходный спектр возбуждения (б) Нормированный спектр возбуждения

Закключение. В представленной работе ионы Gd использовались для замены ионов Lu в LuAG. Установлено, что при полном замещении лютеция гадолинием интенсивность люминесценции уменьшается, а при частичном замещении - наблюдается смещение наиболее интенсивного пика люминесценции в красную область. Это позволяет регулировать красную компоненту света и изготавливать люминофоры с заданными цветовыми характеристиками.

Список литературы

1. Li, Jinkai; Li, Ji-Guang; Liu, Shaohong; Li, Xiaodong; Sun, Xudong; Sakka, Yoshio. The development of Ce³⁺-activated (Gd,Lu)₃Al₅O₁₂ garnet solid solutions as efficient yellow-emitting phosphors. *Science and Technology of Advanced Materials*, 2013.14c.
2. Ji, Haipeng; Wang, Le; Molokeev, Maxim; Hirosaki, Naoto; Xie, Rong-Jun; Huang, Zhaohui; Xia, Zhiguo; ten Kate, Otmar Melvin; Liu, Lihong; Atuchin, Victor V. Structure evolution and photoluminescence of Lu₃(Al,Mg)₂(Al,Si)₃O₁₂:Ce³⁺ phosphors: New yellow-color converter for blue LED-driven solid state lighting. *J. Mater. Chem. C*, 2016.1-9c.
3. Yang, Jiayao; Han, Tao; Cao, Yangfei; Lang, Tianchun; Fang, Shuangqiang; Cao, Shixiu; Peng, Lingling; Liu, Bitao; Tian, Zhongqing; Gao, Wei. Photoluminescent transparent ceramics with an adjustable spectrum for high-color rendering laser lighting. *Journal of Materials Chemistry*, 2020.16483-16488c.
4. Zhao, C., Duan, Y., Lin, H., Zhang, D., Hong, R., Tao, C., Zhou, S. (2020). Synthesis and luminescence properties of color-tunable Ce, Mn co-doped LuAG transparent ceramics by sintering under atmospheric pressure. *Ceramics International*.2020.1-8c
5. Zhao Chenyao, Lin Hui, Zhang Dawei, et al. Effect of SiO₂ introduction on

luminescence properties of LuAG:Mn²⁺ phosphors. 2020.

