

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

Институт Физики Высоких Технологий
Направление подготовки 12.03.02 Оптотехника
Кафедра Лазерной и Световой Техники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Люминесцентные характеристики люминофоров на основе гадолиний-иттрий алюминиевого граната активированного церием

УДК 621.3.032.35:535.37

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4В21	Сарасеко Даниил Владимирович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент каф. ЛиСТ	Степанов С.А.	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент каф. МЕН	Грахова Е.А.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
проф. каф. ЭБЖ	Назаренко О.Б.	д.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЛиСТ	Яковлев А.Н.	к.ф.-м.н.		

Томск – 2016 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять глубокие естественнонаучные, математические, гуманитарные, общепрофессиональные знания в области оплотехники
P2	Воспринимать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области световой, оптической и лазерной техники, оптического и светотехнического материаловедения и оптических и светотехнических технологий
P3	Применять полученные знания для решения задач, возникающих при эксплуатации новой техники и технологий оплотехники
P4	Владеть методами и компьютерными системами проектирования и исследования световой, оптической и лазерной техники, оптических и светотехнических материалов и технологий
P5	Владеть методами проведения фотометрических и оптических измерений и исследований, включая применение готовых методик, технических средств и обработку полученных результатов
P6	Владеть общими правилами и методами наладки, настройки и эксплуатации оптической, световой и лазерной техники для решения различных задач
<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	Проявлять творческий подход при решении конкретных научных, технологических и опытно-конструкторских задач в области оплотехники
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально – экономических различий, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной деятельности
P9	Уметь эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации
P10	Следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам научной, педагогической и производственной деятельности
P11	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

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

Институт физики высоких технологий
Направление подготовки (специальность) 12.03.02 «Оптотехника»
Кафедра лазерной и световой техники

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой
_____ А. Н. Яковлев

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
4B21	Сарасеко Даниил Владимирович

Тема работы:

Люминесцентные характеристики люминофоров на основе гадолиний-иттрий алюминиевого граната активированного церием	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	06.06.2016г.
--	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Литература по теме ВКР. Объект исследования – полидисперсные люминофоры на основе гадолиний-иттрий алюминиевого граната активированного церием с высокой концентрацией исходной дефектности.
---	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	1. Обзор литературы: люминофоры на основе алюмоиттриевого граната, светодиодные источники света с преобразованием излучения на основе люминофоров, светодиоды белого свечения на основе УФ кристаллов с люминофором, механизмы переноса энергии возбуждения нано - микроразмерным частицам люминофора; 2. Спектрально-кинетические характеристики YAG: Gd, Ce люминофоров с различным содержанием активаторов при импульсном фотовозбуждении; 3. Анализ полученных результатов.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Спектры импульсной фотолюминесценции YAG: Gd, Ce люминофоров с различным содержанием активаторов; 2. Спектрально-кинетические характеристики исследуемых люминофоров.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент	Е.А. Грахова, ассист. каф. МЕН
Социальная ответственность	О.Б. Назаренко, профессор каф. ЭБЖ
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
<i>перевод осуществляться не будет</i>	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	20.09.2015г.
--	---------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Подпись	Дата
ассистент каф. ЛиСТ	Степанов С.А.		29.09.2015г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4B21	Сарасеко Д.В.		29.09.2015г.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа		ФИО	
4B21		Сарасеко Даниил Владимирович	
Институт	ИФВТ	Кафедра	ЛиСТ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Оптотехника

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	1. В исследовании задействовано 2 человека: научный руководитель и студент-дипломник 2. Научно-техническое исследование выполняется на оборудовании лаборатории кафедры ЛиСТ, 3. Стоимость оборудования (ПК) – 25 тыс. руб
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Нормы рабочего времени, выполнения исследования
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды от ФОТ – 27,1%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	1. Потенциальные потребители НТИ 2. Оценка научного уровня исследования
2. Разработка устава научно-технического проекта	Не требуется
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	1. Планирование научно-исследовательских работ 2. Расчёт бюджета затрат на исследование
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Определение экономической эффективности исследования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. График проведения НТИ

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Грахова Елена Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4B21	Сарасеко Даниил Владимирович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4B21	Сарасеко Даниил Владимирович

Институт	ИФВТ	Кафедра	ЛиСТ
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	ОпTOTехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Характеристика работы: компьютерный анализ данных
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты).	- Отклонения температуры и влажности воздуха от нормы; - Высокий уровень шума; - Воздействие электрического тока на человека.
2. Экологическая безопасность: – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	Анализ воздействия на окружающую среду.

3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	Рассмотрение возможных чрезвычайных ситуаций.
4. 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.	Организация рабочего места.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Проф. каф ЭБЖ	Назаренко О.Б.	д.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4B21	Сарасеко Даниил Владимирович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 81 с., 22 рис., 19 табл., 34 источника.

Ключевые слова: фотолюминесценция, спектрально-кинетические характеристики, люминофор, гадолиний-иттрий алюминиевого гранат.

Объектом исследования являются полидисперсные люминофоры на основе гадолиний-иттрий алюминиевого граната, активированные церием.

Цель работы – исследовать спектры фотолюминесценции и спектры возбуждения исследуемых люминофоров с использованием различных источников возбуждения; исследовать кинетические характеристики затухания фотолюминесценции исследуемых люминофоров; проанализировать полученные спектрально-кинетические характеристики

В процессе исследования проводились сбор, обработка и систематизация литературных данных о преобразовании оптического излучения люминофорами на основе алюмоиттриевого граната, освоена методика измерения спектрально-кинетических характеристик люминофоров, проведен экономический анализ работ, определены мероприятия по технике безопасности.

В результате исследования получены спектрально-кинетические характеристики исследуемых люминофоров, сделаны выводы о предполагаемых излучающих центрах.

Степень внедрения: полученные результаты получили практическое применение при разработке метода оценки качества люминофоров, с предполагаемым внедрением в ОАО «НИИ ПП»

Область применения: светодиодные источники белого света

Экономическая значимость работы обусловлена улучшением качества люминофоров, используемых в качестве преобразователей излучения в светодиодных источниках белого света, что относится к стратегическому направлению развития экономики РФ в области энергоэффективности.

В будущем планируется дальнейшее изучение фотостимулированных процессов передачи энергии протекающих в люминофорах.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

СИД – светодиод

YAG – алюмоиттриевый гранат

CRI – индекс цветопередачи

УФ – ультрафиолетовое излучение

RGB – технология светодиодов белого света с аддитивным смешением излучений красного, зеленого и синего чипов

Цветовая диаграмма МКО – диаграмма цветности Международной комиссии по освещению

FWHM – полуширина полосы фотолюминесценции

Оглавление

Введение	12
1. Обзор литературы	
1.1 Люминофоры на основе алюмоиттриевого граната	15
1.2 Светодиодные источники света с преобразованием излучения на основе люминофоров	18
1.3 Светодиоды белого свечения на основе УФ кристаллов с люминофором	21
1.4 Механизмы переноса энергии возбуждения нано - микроразмерным частицам люминофора	23
2. Объекты и методы экспериментального исследования	
2.1 Методы экспериментального исследования	29
2.2 Исследуемые люминофоры	31
3. Экспериментальные исследования спектрально-кинетических характеристик исследуемых люминофоров	
3.1 Спектры возбуждения и люминесценции с использованием различных источников фотовозбуждения	34
3.2 Кинетические характеристики затухания импульсной фотолюминесценции	40
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
4.1 Потенциальные потребители результатов НТИ	46
4.2 Оценка научного уровня исследования	47
4.3 Планирование научно-исследовательских работ	49
4.4 Определение ресурсной и финансовой эффективности исследования	60
5. Социальная ответственность	
5.1 Производственная безопасность	63
5.2 Экологическая безопасность	70
5.3 Законодательное регулирование проектных решений	71
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	72
Заключение	75
Список публикаций студента	77
Список используемых источников	78

Введение

Наиболее распространенные промышленные белые СИД создаются на основе полупроводниковых светодиодов синего или ультрафиолетового диапазонов длин волн, излучение которых полностью или частично используется для оптического возбуждения преобразователя длин волн. Преобразователи длин волн создаются на основе: люминофоров, полупроводников и красителей. Самыми распространенными материалами, используемыми в качестве преобразователей длин волны, являются люминофоры. Люминофоры отличаются высокой стабильностью, их квантовый выход часто близок к 100%. Наиболее распространенными основами люминофоров являются гранаты, в частности, алюмоиттриевый гранат $Y_3Al_5O_{12}$ (YAG). В качестве оптически активных добавок применяются редкоземельные элементы, их оксиды и другие соединения. Недостатком YAG люминофоров является низкий индекс цветопередачи CRI. Современные белые СИД, изготовленные с помощью синего СИД и желтого люминофора характеризуются величиной CRI 70-80. Этого достаточно для использования в системах наружного освещения, но недостаточно для жилых помещений, где CRI должен быть 80-90. Для получения теплого белого цвета применяются смеси желтых и красных люминофоров либо люминофоров с широкополосным спектром излучения. Однако как использование смеси люминофоров, так и дополнительное введение менее эффективного, нежели YAG, красного люминофора приводит к уменьшению эффективности белого СИД. Основным недостатком белых СИД с УФ возбуждением являются сравнительно высокие энергетические потери (сдвиг Стокса) при преобразовании УФ излучения в белый свет, что приводит к низкой световой отдаче СИД такого типа. Белые светодиоды с люминофорами существенно дешевле, чем RGB светодиоды (в пересчете на единицу светового потока), и позволяют получить хороший белый цвет. Основ-

ными недостатками белых СИД такого типа является низкая по сравнению с RGB-светодиодами светоотдача из-за преобразования света в слое люминофора, трудность равномерного нанесения люминофора в технологическом процессе и, следовательно, сложность контролировать цветовую температуру. Также как и в случае с RGB-светодиодами необходимо решать проблему улучшения теплоотвода.

В последнее время отмечается значительный прогресс в использовании нанотехнологий для создания высокоэффективных белых СИД. Высокий квантовый выход, монохроматичность излучения, а также возможность варьирования длины волны люминесценции путём изменения размера наночастиц обуславливают интерес к полупроводниковым нанокристаллам как материалам для белых светодиодов. Коллоидные квантовые точки CdSe-ZnSe, используемые в качестве нанолюминофора, позволяют получить белый свет с координатами (0.33, 0.33) и $CRI > 90$.

Белые светодиоды с люминофорами существенно дешевле, чем светодиодные RGB-матрицы (в пересчете на единицу светового потока), и позволяют получить хороший белый цвет. И для них, в принципе, не проблема попасть в точку с координатами ($X=0,33$, $Y=0,33$) на цветовой диаграмме МКО. Недостатки же таковы: во-первых, достаточно трудно точно проконтролировать равномерность нанесения люминофора в технологическом процессе (как следствие, не контролируется цветовая температура); во-вторых, люминофор тоже стареет, причем быстрее, чем сам светодиод.

Люминофоры на основе иттрий-алюминиевых гранатов являются наиболее распространенными в качестве преобразователей спектра в светодиодах с InGaN чипом. Люминофоры обеспечивают высокий выход преобразования излучения чипа в области 450 нм в видимое излучение, возможность получения нужного спектра люминесценции в видимой области спектра. К настоящему времени разработано множество различных люминофоров, обеспечивающих световую отдачу светодиодов до 160 лм/Вт и излучение с

различными координатами цвета [1-3]. Однако процессы возбуждения и люминесценции, природа центров свечения изучены недостаточно, что сдерживает совершенствование люминофоров.

В настоящей работе приведены результаты исследования группы близких по составу люминофоров с целью выявления зависимости спектральных характеристик излучения от вида оптического возбуждения.

Целями работы являются:

- Исследовать спектры фотолюминесценции промышленных полидисперсных люминофоров на основе гадолиний-иттрий алюминиевого граната, активированного церием с использованием различных источников возбуждения.
- Исследовать спектры возбуждения фотолюминесценции промышленных полидисперсных люминофоров на основе гадолиний-иттрий алюминиевого граната, активированного церием
- Исследовать кинетические характеристики затухания фотолюминесценции промышленных полидисперсных люминофоров на основе гадолиний-иттрий алюминиевого граната, активированного церием
- Проанализировать полученные спектрально-кинетические характеристики

1. Обзор литературы

1.1 Люминофоры на основе алюмоиттриевого граната

Люминофор представляет собой порошок с частицами размерами 5 – 15 мкм. Люминофоры состоят из неорганических материалов, легированных оптически активными элементами. Наиболее распространенными основами являются гранаты, имеющие химическую формулу: $A_3B_5O_{12}$, где А и В – химические элементы, О – кислород. Среди большой группы гранатов выделяется алюмоиттриевый гранат (АИГ – YAG) с химической формулой $Y_3Al_5O_{12}$. Люминофоры на основе этого материала называются YAG-люминофорами. В качестве оптически активных добавок применяются редкоземельные элементы (РЗЭ), их оксиды и другие соединения. Оптической активностью обладает большинство РЗЭ. Для легирования YAG-люминофоров, применяемых в источниках белого света, чаще всего используется церий. Неодим применяется в YAG- лазерах, эрбий – в оптических усилителях, оксид тория – в газовых лампах.

При частичном замещении атомов Y атомами Gd и атомов Al атомами Ga меняются оптические характеристики YAG-люминофоров. Результирующий химический состав люминофора в таком случае можно описать формулой $(Y_{1-x}Gd_x)_3(Al_{1-y}Ga_y)_5O_{12}$. На рисунке 1.1 показаны спектры излучения люминофоров $(Y_{1-x}Gd_x)_3(Al_{1-y}Ga_y)_5O_{12}$, легированных церием при разных значениях x и y [4]. Видно, что добавка гадолиния приводит к сдвигу спектра излучения в длинноволновую сторону, а добавка галлия вызывает сдвиг в противоположном направлении – в сторону коротких волн.

На рисунке 1.2 показано положение люминофоров на основе YAG:Ce на цветовой диаграмме МКО. Затемненная область соответствует источникам света на основе светодиодов синего свечения и люминофоров YAG:Ce. Видно, что такие источники могут обладать высокой цветовой температурой. Затемненная область соответствует источникам белого света, созданным на

основе светодиодов синего свечения и люминофоров YAG:Ce. Показана кривая Планка с цветовыми температурами

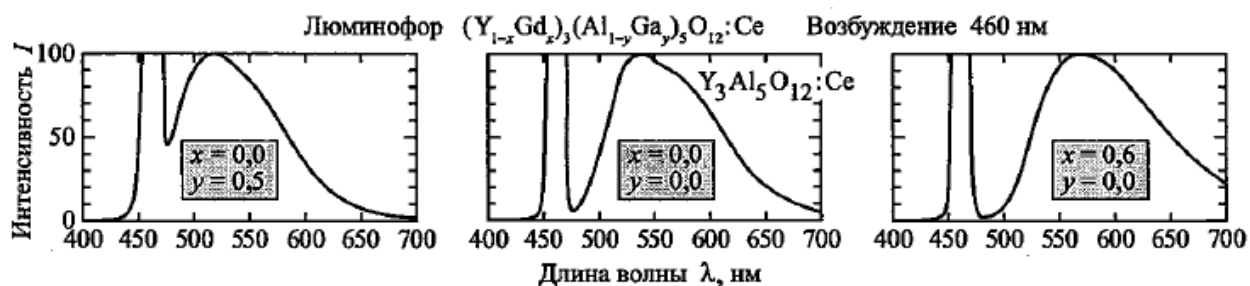


Рисунок 1.1 – Спектры излучения алюмоиттриевого граната, легированного Ce в различных концентрациях (YAG:Ce) [4]

На рисунке 1.2 показано положение люминофоров на основе YAG:Ce на цветовой диаграмме МКО. Затемненная область соответствует источникам света на основе светодиодов синего свечения и люминофоров YAG:Ce. Видно, что такие источники могут обладать высокой цветовой температурой. Затемненная область соответствует источникам белого света, созданным на основе светодиодов синего свечения и люминофоров YAG:Ce. Показана кривая Планка с цветовыми температурами

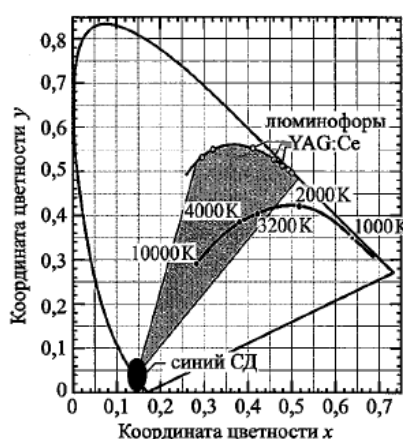


Рисунок 1.2 – Положение люминофоров на основе YAG:Ce на цветовой диаграмме МКО [4]

Альтернативой люминофорам на основе YAG являются люминофоры на основе алюмотербиевых гранатов (TAG) с химической формулой $Tb_3Al_5O_{12}$.

Оба типа люминофоров имеют кристаллическую структуру граната. К тому же радиусы ионов Y^{3+} и Tb^{3+} очень близки ($r_{Y^{3+}} = 1,02 \text{ \AA}$, $r_{Tb^{3+}} = 1,04 \text{ \AA}$). Следовательно, кристаллическая решетка YAG-люминофора при замещении атомов Y атомами Tb изменится не очень сильно. Это справедливо даже тогда, когда молярная доля тербия составляет 30 % [5]. Несмотря на то, что TAG-люминофоры обладают немного меньшей эффективностью излучения, они все же являются серьезными конкурентами YAG-люминофорам.

Для создания теплых белых СИД используют дополнительно активированные люминофоры, например люминофор $(Y_{0.75}Gd_{0.22}Ce_{0.03})_3Al_5O_{12}$ активируют ионом Pr^{+3} , излучение которого с максимумом при $\lambda = 610 \text{ нм}$ составляет до 10% его эффективности. Доминирующая длина волны излучения люминофора составляет $\lambda_{dom} = 552 \text{ нм}$, что недостаточно для получения теплого белого свечения. Подобные материалы использовались на первом этапе создания белых СД [6], но они имели недостаточную световую эффективность. Увеличение доли оранжевого свечения в Ce^{3+} -гранате введением в основу ионов Sm^{3+} , Eu^{3+} , Er^{3+} приводило к существенному понижению общей эффективности СИД. Вторым механизмом длинноволнового сдвига излучения Ce^{3+} в гранатах является изоморфное замещение большей доли иона Y^{3+} в катионной подрешетке на ион Gd^{3+} . Третий вариант длинноволнового сдвига излучения Ce^{3+} связан также с изоморфной заменой Y в гранатных матрицах на ион Tb^{3+} и образованием тербиевого граната $(Tb_{0.96}Ce_{0.04})_3Al_5O_{12}$.

Традиционный метод получения оксидных люминофоров:

- Оксиды растворяют в азотной кислоте (в отмеренном объеме) с нагревом. Образуется нитрат и вода, воду испаряют подогревом. Оксиды добавляют последовательно небольшими порциями. Получают раствор нитратов в котором все элементы перемешаны на молекулярном уровне.

- Разлагают смесь нитратов медленным нагревом в муфельной печи ($T \leq 450 \text{ }^{\circ}\text{C}$). При этом нитраты разлагаются до оксидов элементов, образуя смесь порошка оксидов на молекулярном уровне (порошок белого цвета

аморфный).

- Для получения кристаллической решетки типа «Гранат» осуществляют прокаливание при $T=1100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Полученный спёк измельчают до заданной дисперсности любым известным методом.

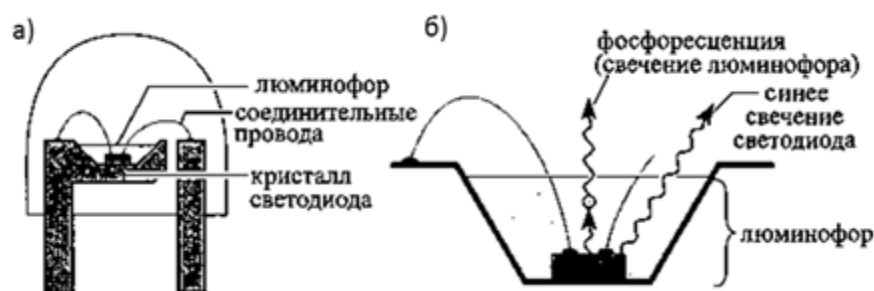
- Совершенство кристаллической решетки проверяют методом рентгено-фазового анализа сравнивая с эталоном.

- Осуществить разделение по дисперсности можно с помощью воздушно-центрибежного классификатора или методом седиментации.

1.2 Светодиодные источники света с преобразованием излучения на основе люминофоров

В работах [4, 7, 8] описаны первые светодиоды белого свечения, созданные на основе светодиодов синего свечения InGaN/GaN и люминофоров [9]. Для оптического возбуждения люминофора в таких устройствах применялись светодиоды синего свечения на основе InGaN/GaN, рассмотренные в работе [8] в качестве люминофора использовался легированный церием люминофор YAG с химической формулой $(Y_{1-a}Gd_a)_3(Al_{1-b}Ga_b)_5O_{12}:Ce$. Фирмы – изготовители люминофоров обычно не разглашают точный химический состав своих материалов [10-12].

На рисунке 1.6 показано поперечное сечение структуры светодиодной лампы белого света. Изображен кристалл светодиода синего свечения и люминофор, окружающий этот кристалл. Люминофор АИГ может представлять собой взвесь порошка в эпоксидной смоле. В процессе изготовления на кристалл светодиода наносится капля люминофора, заполняющая все углубление, в котором он расположен. Часть излучения светодиода поглощается люминофором, который излучает свет уже в области больших длин волн (рисунок 1.3, б).



а) люминофор и корпус светодиода из эпоксидной смолы;

б) люминофор и синее свечение кристалла

Рисунок 1.3 – Структура светодиодов белого свечения, состоящего из кристалла светодиода синего свечения на основе InGaN [4]

На рисунке 1.4 представлен спектр светодиодной лампы белого света, состоящий из синей полосы излучения полупроводникового кристалла и полосы люминофора, расположенной в длинноволновой области. Толщина слоя люминофора и концентрация люминофора в эпоксидной смоле определяют соотношение интенсивностей двух типов излучения, что позволяет оптимизировать такие характеристики светодиода белого света, как световая эффективность и индекс цветопередачи. На рисунке 1.5 показано расположение спектра рассматриваемой лампы белого света первого поколения на цветовой диаграмме. Предполагается, что излучение имеет белый цвет с голубоватым оттенком. Голубовато-белый цвет лампы подтверждается при взгляде на нее.

Увеличив в таких лампах количество люминофора, удалось улучшить их цветопередачу. У второго поколения источников компании Nichia Chemical Industries Corporation при возбуждении синим светом с длиной волны 460 нм максимум излучения люминофора уже находится на длине волны 655 нм, а полная ширина спектральной линии на половине интенсивности излучения составляет 110 нм [13]. В результате этого происходит увеличение излучения в красном диапазоне спектра (рисунок 1.6). Более того, применение оптимизированного состава люминофора позволило заметно снизить провал в спек-

тре излучения, что также видно на рисунке 1.6. Второе поколение светодиодных источников белого света компании Nichia Chemical Industries Corporation обладает лучшей по сравнению с первым цветопередачей в красной области спектра и более низкой цветовой температурой, которая лежит в интервале от 2800 К (теплый белый свет) до 4700 К. Цветовая температура источника зависит от состава люминофора.

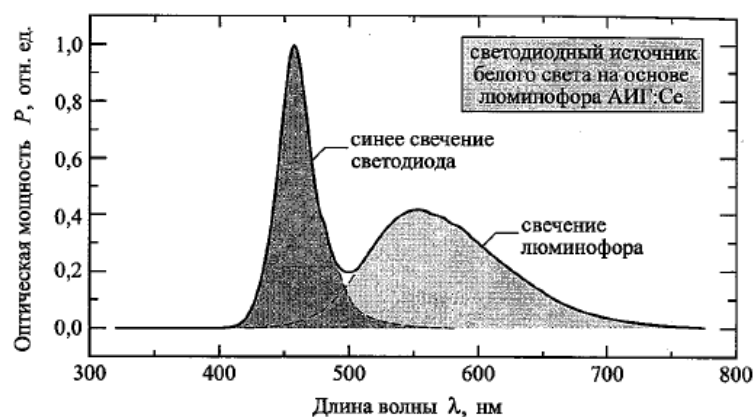


Рисунок 1.4 – Спектр излучения светодиодной лампы белого света на основе люминофора, изготовленного Nichia Chemical Industries Corporation [13]

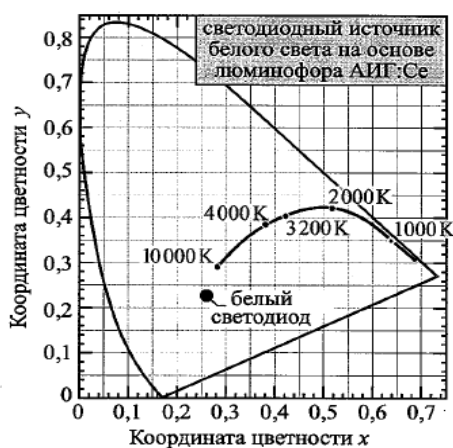


Рисунок 1.5 – Координаты цветности светодиода белого свечения с люминофором, изготовленного в 2001 г. компанией Nichia Chemical Industries Corporation [13]

Добавление люминофора красного цвета ведет к снижению световой эффективности: сильный сдвиг Стокса красных люминофоров снижает эффективность источников (при длине волне возбуждения 460 нм и длине волны максимума излучения 655 нм). Более того, хорошо известно, что красные люминофоры, возбуждаемые излучением с длиной волны 460 нм, не очень эффективны. Поэтому, хотя в данном случае цветопередача ламп белого света и была улучшена, это удалось сделать за счет снижения их световой эффективности.

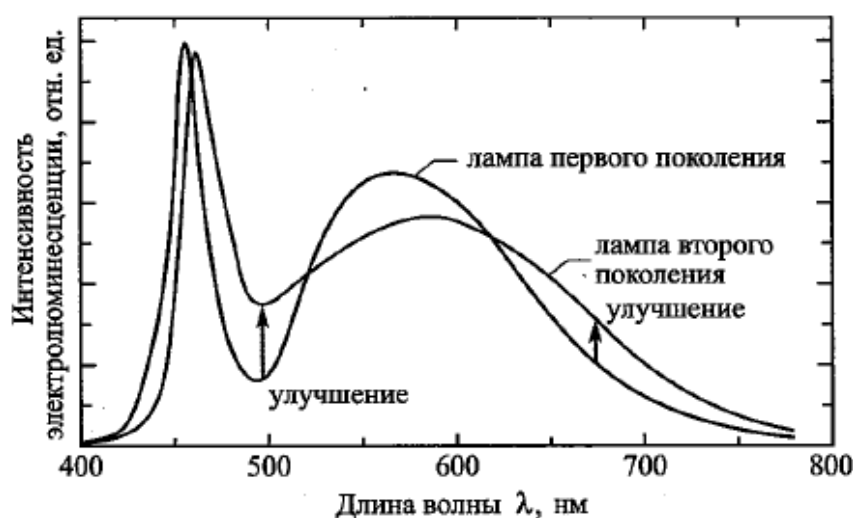


Рисунок 1.6 – Спектр электролюминесценции светодиодных ламп белого света первого и второго поколений фирмы Nichia Chemical Industries Corporation. Уширение спектра излучения источников второго поколения ведет к повышению индекса цветопередачи и снижению провала на спектральной характеристике [13]

1.3 Светодиоды белого свечения на основе УФ кристаллов с люминофором

В работе [14] описаны светодиоды белого свечения с УФ-возбуждением люминофора. В таких источниках белого света часто используют светодиоды, работающие в ближней УФ (320 – 390 нм) и фиолетовой областях спектра на длинах волн, расположенных близко к краю видимого спектра (390 – 410 нм). Сообщается [15] о полупроводниковых диодах, излучающих свет на

длине волны ~ 400 нм и обладающих высокой эффективностью.

В полупроводниковых источниках света, работающих в дальнем УФ-диапазоне 200-320 нм, для преобразования длины волны можно использовать обычные люминофоры, которые, например применяются в флуоресцентных лампах. Однако их существенным недостатком является сильный стоксов сдвиг, свойственный источникам дальней УФ-области. Кроме того, при разработке светодиодов дальнего УФ-диапазона на основе AlGaN столкнулись с проблемами, вызванными высоким содержанием алюминия, приводящим к снижению эффективности легирования примесями *p*- и *n*-типа. К тому же оказалось, что эпитаксиальными методами нелегко получить высококачественные слои AlGaN, обладающие низкой плотностью дислокаций и дефектов.

В светодиодах белого свечения с УФ-возбуждением видимое излучение создается непосредственно в люминофоре. Люминофор, используемый в таких светодиодах, подобен люминофору в флуоресцентных лампах, разработанных в 1950-х гг. Практически такие же люминофоры применяются с 1980-х гг. в компактных флуоресцентных лампах. Люминофор в этих лампах возбуждается УФ-излучением газовых разрядов, происходящих в ртутных лампах низкого давления. Основное излучение ртутных ламп приходится на длину волны 254 нм. Люминофоры, обладающие сильной поглощающей способностью в этом диапазоне длин волн, уже выпускаются серийно, и их характеристики цветопередачи подходят для многих применений.

В работе [16] описаны светодиоды белого свечения, использующие для возбуждения УФ-светодиоды AlInGaN и смесь трех люминофоров. УФ-светодиод излучает на длинах волн 380-400 нм, т. е. на границе видимой и УФ-областей спектра. Смесь люминофоров состоит из трех компонентов, излучающих свет в красной, зеленой и синей частях спектра. Индекс цветопередачи таких светодиодов приблизительно равен 78.

Современные люминофоры обладают довольно высокими индексами

цветопередачи (60 – 100), что является достоинством светодиодов белого свечения с УФ-накачкой, созданных на их основе. Сообщается [17] о смеси люминофоров, возбуждаемой на длине волны ~ 400 нм, с очень высокими значениями индекса цветопередачи (~ 97). Видимая часть спектра излучения таких белых СД определяется только излучением люминофоров, поскольку накачка производится УФ-излучением кристалла. Поэтому светодиоды белого свечения с УФ-возбуждением отличаются хорошей воспроизводимостью оптических спектров, что свидетельствует о хорошо отработанной технологии.

Основным недостатком светодиодов белого свечения с УФ-накачкой являются сравнительно высокие энергетические потери (сдвиг Стокса) при преобразовании УФ-излучения в белый свет. Поэтому потенциальная световая отдача таких светодиодов значительно ниже, чем светодиодов белого свечения с возбуждением желтого люминофора при помощи светодиодов синего свечения.

1.4 Механизмы переноса энергии возбуждения нано - микроразмерным частицам люминофора

На рисунке 1.7 приведена схема передачи энергии радиацией кристаллофосфору. Энергия радиации вне зависимости от ее вида (кванты, частицы) поглощается материалом частично. В основном энергия поглощается матрицей, поскольку концентрация активатора обычно невелика. Поглощенная энергия в основном расходуется на образование электронных возбуждений – экситонов, электронно-дырочных пар. В конце концов энергия электронных возбуждений передается центрам свечения, которые излучают энергию в удобном для регистрации спектральном диапазоне. Этот диапазон определяется назначением источника. Широкий световой – для освещения, для физических приемников света – в области их чувствительности. Поэтому выби-

раются такие кристаллофосфоры, излучение которых приходится на нужный диапазон.

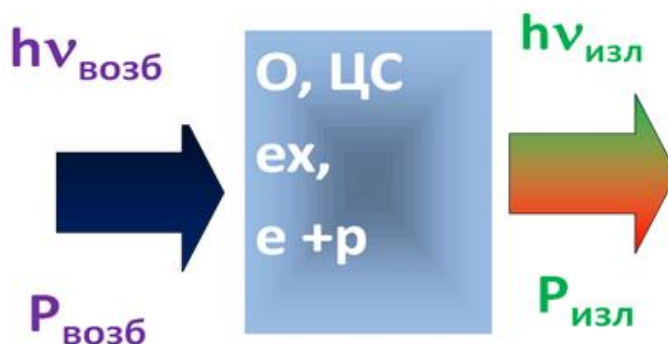


Рисунок 1.7– Схема передачи энергии радиацией кристаллофосфору

В общем случае кристаллофосфор (люминофор, сцинтиллятор) можно представить как преобразователь энергии. Падающий на кристаллофосфор поток энергии $P_{\text{возб}}$ (или потоки квантов, частиц) с энергией $h\nu_{\text{возб}}$ поглощается полностью или частично и преобразуется в поток энергии $P_{\text{изл}}$ с энергией квантов излучения видимого или близкого к видимому диапазонов $h\nu_{\text{изл}}$ (реакция 1).



Центр свечения (ЦС) может поглощать избирательно из потока квантов возбуждения те кванты, которые соответствуют его переходу в возбужденное состояние $ЦС^*$. В возбужденном состоянии центр свечения находится короткое время, затем переходит в основное состояние с излучением кванта оптического диапазона. Центром свечения может быть дефект решетки: атомы, ионы примеси, собственные дефекты решетки, их комплексы. Центром свечения может быть и электронный дефект: экситон, электронно-дырочная пара, рекомбинация которых может привести к акту излучения. Как правило, такие центры обеспечивают малую эффективность преобразования. В каче-

стве центров свечения обычно используются намеренно введенные примесные ионы (атомы) или собственные точечные дефекты.

Чаще для преобразования энергии квантов возбуждения в видимое излучение используется реакция 1.



Квант возбуждения поглощается основной кристаллофосфора, матрицей О. При этом создаются электронные возбуждения в матрице. Это могут быть экситоны, электронно-дырочные пары в различных энергетических состояниях и различной пространственной конфигурации. Электронные возбуждения подвижны (о переносе ими энергии будет сказано ниже). За время своей жизни при достаточно большой конфигурации центров свечения энергия электронного возбуждения в основном передается центру свечения. Центр свечения затем излучает квант, переходя в основное состояние.

Рассмотрим пример, когда энергии кванта возбуждения достаточно для создания в матрице единственного электронного возбуждения. Этот процесс реализуется при воздействии потока ультрафиолетовой (УФ) радиации, которая представляет собой поток квантов электромагнитного излучения коротковолновой области спектра. Условно границы энергий квантов УФ – радиации, или спектра УФ – диапазона, можно определить следующим образом. Нижней границей энергий следует считать энергии квантов, способных производить ионизацию атомов вещества. Прохождение такой радиации через вещество характеризуется высокими показателями поглощения до $10^4 \div 10^6 \text{ см}^{-1}$. Каждому веществу характерен свой порог ионизации, поэтому нижняя граница УФ – области должна привязываться к материалу, с которым радиация взаимодействует. Нижняя граница УФ радиации может иметь величину энергии квантов в несколько электрон-вольт (эВ). Верхней границей УФ радиации следует считать энергии квантов до тысячи эВ. Отличать УФ радиацию высоких энергий от рентгеновской можно лишь по принципу их полу-

чения. Источником УФ – радиации является нагретое до высоких температур тело, плазма газового разряда, синхротрон; излучать в УФ – области спектра могут возбужденные твердые тела; имеются лазеры УФ – диапазона. Основным первичным результатом воздействия УФ радиации на вещество является ионизация атомов, ионов, создание различного рода электронных возбуждений в веществе.

Если результатом воздействия кванта ультрафиолетовой (УФ) радиации является (может быть) излучение одного кванта излучения, процесс можно описать следующим образом.

Квантовый выход люминесценции $\eta_{\text{кв}}$ составит

$$\eta_{\text{кв}} = N(h\nu_{\text{изл}}) / N(h\nu_{\text{возб}}) \quad (3)$$

где $N(h\nu_{\text{возб}})$ и $N(h\nu_{\text{изл}})$ - число квантов возбуждения и излучения в единицу времени (потоки, выраженные в числе квантов).

Тогда энергетический выход люминесценции η_e можно найти как

$$\eta_e = P(h\nu_{\text{изл}}) / P(h\nu_{\text{возб}}) \quad (4)$$

где $P(h\nu_{\text{возб}})$ и $P(h\nu_{\text{изл}})$ – энергетические потоки излучения и возбуждения (мощности потоков).

Для монохроматического излучения и возбуждения

$$\begin{aligned} P(h\nu_{\text{изл}}) &= h\nu_{\text{изл}} N(h\nu_{\text{изл}}) \\ P(h\nu_{\text{возб}}) &= h\nu_{\text{возб}} N(h\nu_{\text{возб}}) \end{aligned} \quad (5)$$

где $(h\nu_{\text{возб}})$ и $(h\nu_{\text{изл}})$ - энергии квантов возбуждения и излучения.

Энергия кванта связана с длиной волны соотношением $h\nu = 1240/\lambda$, если энергия кванта выражена в эВ, а длина волны в нм.

Пусть падающие в единицу времени на люминофор кванты возбуждения $N(h\nu_{\text{возб}})$ поглощаются люминофором и создают электронные возбуждения с вероятностью k_1 , электронные возбуждения возбуждают центры свечения

(ЦС) с вероятностью k_2 . Возбужденные ЦС излучают кванты излучения с вероятностью k_3 . Тогда:

$$N(h\nu_{\text{изл}}) = k_3 N(ЦС^*) = k_2 k_3 N(O^*) = k_1 k_2 k_3 N(h\nu_{\text{возб}}) \quad (6)$$

Отсюда:

$$\begin{aligned} \eta_e &= h\nu_{\text{изл}} N(h\nu_{\text{изл}}) / h\nu_{\text{возб}} N(h\nu_{\text{возб}}) = \\ &= h\nu_{\text{изл}} k_1 k_2 k_3 N(h\nu_{\text{возб}}) / h\nu_{\text{возб}} N(h\nu_{\text{возб}}) \\ &= k_1 k_2 k_3 h\nu_{\text{изл}} / h\nu_{\text{возб}} = k_1 k_2 k_3 \lambda_{\text{возб}} / \lambda_{\text{изл}} \end{aligned} \quad (7)$$

В том случае, когда возбуждение и излучение не является монохроматическим во всех приведенных выше выражениях следует представлять параметры (потoki) в интегральном виде. Но суть рассуждений и выводов при этом не меняется.

Таким образом, в том случае, когда кристаллофосфор возбуждается квантами излучения, способными создавать единичные электронные возбуждения, максимальный энергетический выход достигается при максимальных значениях k_1 , k_2 , k_3 и близких значениях энергий квантов возбуждения и излучения. Значение k_1 может быть близким к единице, если кристаллофосфор возбуждается в полосе собственного поглощения. Т.е. тогда, когда энергия кванта превышает ширину запрещенной зоны кристаллофосфора. Эффективность передачи энергии центра свечения от матрицы может быть достаточно большой при условиях: электронное возбуждение имеет большое время жизни, высокую подвижность, высокое сечение захвата центром свечения, отсутствуют конкурирующие с захватом электронных возбуждений на нужном центре свечения другие центры, центров тушения. (Анализ процессов передачи энергии будет рассмотрен ниже).

Вероятность излучения центром свечения определяется собственными характеристиками центра. Центры свечения могут быть собственными, например, экситоны в разной степени локализации, или примесными. Под примесными понимаются введенные в кристаллофосфор ионы (атомы) обычно металлов. Особенно часто в качестве примесных центров свечения (актива-

торов) используются ионы редких земель, щелочных металлов. Введение поливалентных металлов также может приводить к образованию центров свечения, но в виде комплексов с примесями – соактиваторами и собственными дефектами. К примесным центрам относят и собственные дефекты решетки: F , F_2^+ , F_2^- , F_2 , F_n – центры окраски, потому что по совокупности свойств собственные точечные дефекты решетки подобны примесным.

Дефект, собственный или примесный, может выступать в роли *центра свечения* при следующих условиях:

- 1 Центр свечения должен иметь большое сечение захвата электронного возбуждения.

- 2 Центр свечения должен иметь высокую вероятность излучения при переходе из возбужденного состояния в основное.

- 3 Центр свечения должен излучать в нужной области спектра (в видимой для люминофора источника света, в максимуме чувствительности приемника излучения при детектировании физическими методами).

- 4 Центр свечения должен обеспечивать заданную длительность излучения (большую для источников света, малую для генерации коротких импульсов).

- 5 Центр свечения не должен изменять своих излучательных характеристик при длительной работе.

2 Объекты и методы экспериментального исследования

2.1 Методы экспериментального исследования

Для исследования элементного состава образцов был использован энергодисперсионный анализ на установке Quanta3D 200i системы EDAX (рис 2.1). Диапазон определяемых элементов - $B \div U$. Разрешение по энергии - 132 эВ. Электронная оптика - ускоряющее напряжение от 200 V до 30 kV. Разрешение в режиме высокого вакуума - 2,5 нм.



Рисунок 2.1 - Установка Quanta3D 200i (справа держатель образца)

Фотографии исследуемых порошков выполнены с помощью оптического микроскопа «Leica DM 6000 M» (рис. 2.2)



Рисунок 2.2—Оптический микроскоп «Leica DM 6000 M»

Для измерений спектров стационарного возбуждения и люминесценции использовался стенд на основе двух скрещенных монохроматоров МДР-204 (рис 2.3). В качестве источника возбуждения использовалась ксеноновая лампа (спектральный диапазон 190-3500 нм, OSRAM XBO 150 Вт). Ксеноновая лампа стабилизирована по току, а также отградуирована по спектральной плотности излучения. Полуширина полосы возбуждения ФЛ, вырезаемая задающим монохроматором, составляет 2 нм. В качестве приемника излучения был выбран ФЭУ «Hamamatsu» R928.

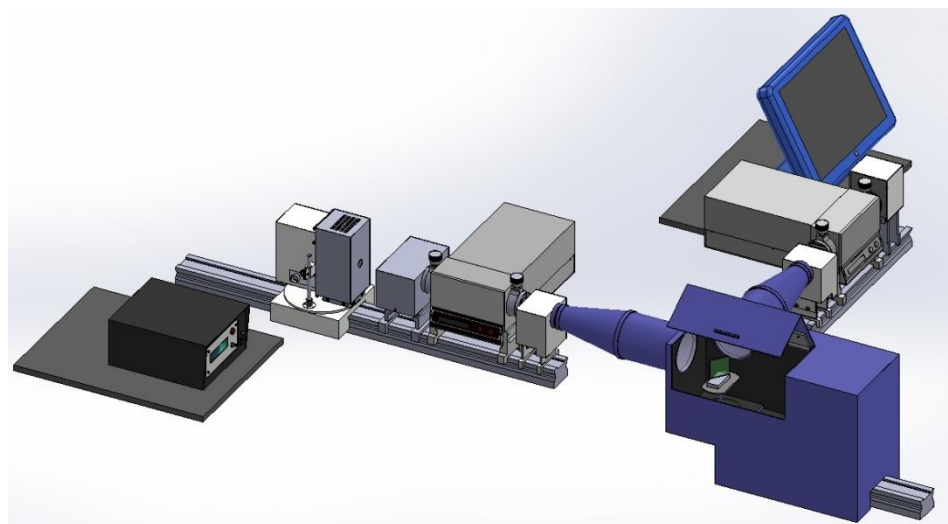


Рисунок 2.3 - Спектрофлуориметр для исследования фотолюминесценции: излучатели (ОЛКс-150, ДДС-30, КГМ-20, импульсные светодиоды (362 нм, 400-460 нм; длительность импульса $70 \div 100$ нс)); МДР-240 – монохроматор (спектральный диапазон 190-5000 нм, обратная линейная дисперсия: 200 - 1200 нм – 2.6 нм/мм, 380 - 2500 нм – 5.2 нм/мм, 760 - 5000 нм – 10,4 нм/мм); С – турель светофильтров (фильтрация паразитного излучения); П – приемник излучения (ФЭУ: HamamatsuR928, H10720-20)

Излучение образца измерялось обычно под углом 45° к направлению возбуждающего потока. Все измерения выполнялись с учетом спектральной чувствительности оптического тракта.

Вместе с тем, для данных измерений использовался и спектрофлуориметр CaryEclipse фирмы Agilent, где источником излучения служит импульсная ксеноновая лампа (рис. 2.4) .



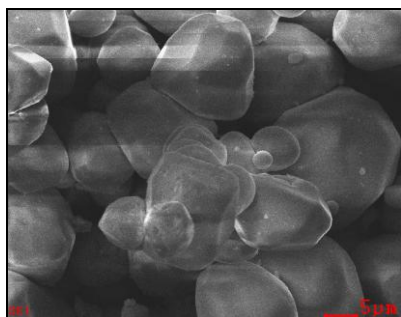
Рисунок 2.4 – Спектрофлуориметр CaryEclipse фирмы Agilent

Для исследований люминесценции с временным разрешением были использованы светодиоды, работающие в импульсном режиме питания (длительность импульса $70 \div 100$ нс). Исследовалась импульсная люминесценция образцов в спектральном диапазоне 300-800 нм при комнатной температуре во временном интервале $1 \cdot 10^{-8} - 1 \cdot 10^{-3}$ с после окончания воздействия импульса излучения. Для регистрации излучения использовались ФЭУ Hamamatsu h10720-20, R928, цифровой осциллограф, Tektronix DPO-3033 (300 МГц), монохроматоры МДР-204.

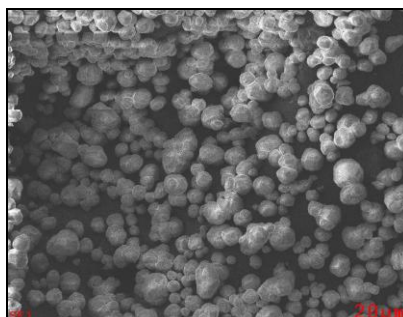
2.2 Исследуемые люминофоры

Для исследований была выбрана группа промышленных ИАГ люминофоров, различающихся соотношением основных элементов состава. Большинство исследованных люминофоров представляли собой твердые растворы окислов Y, Al, Gd, активированных Ce. Все люминофоры представляют собою порошки из микрокристаллов или микроплавней с размерами менее 30

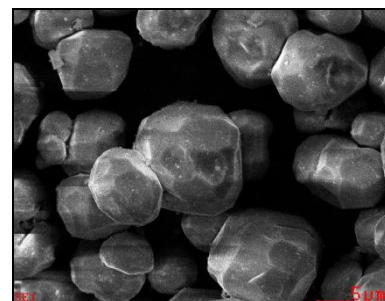
мкм, что показано прямыми микроскопическими измерениями с помощью оптического микроскопа «Leica DM 6000 M» (рис. 2.5).



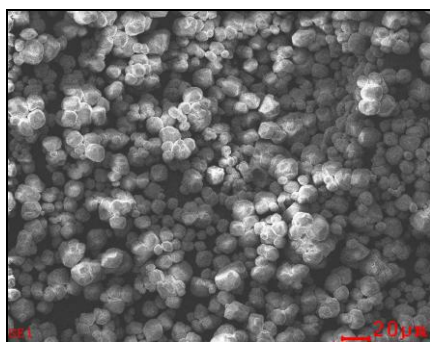
MG-531/W



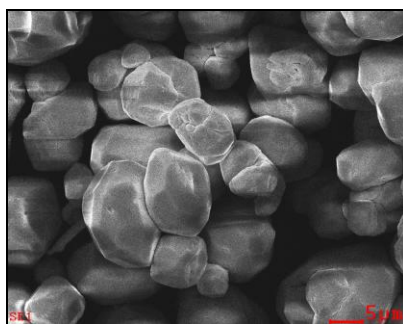
AWS-5/90818-1



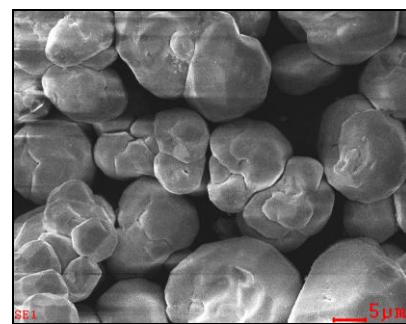
СДЛ-5000



СДЛ-3400



СДЛ-3300



СДЛ-3000

Рисунок 2.5 - микроструктуры исследуемых образцов.

Результаты определения состава исследованных люминофоров приведены в таблице 2.1. В исследованных люминофорах отклонение от среднего содержания алюминия не превышает 20%, содержание иттрия изменяется в 4 раза, гадолиния – от 0 до 12%. Все образцы по описаниям легированы церием. В ряде люминофоров нами церий не был обнаружен, поскольку его слабая полоса часто перекрывается фоном в спектре, обусловленном наличием в люминофоре других элементов.

Спектры люминесценции и возбуждения измерялись спектрофлуориметром CaryEclipse фирмы Agilent, источником света служила импульсная ксеноновая лампа. Также были измерены интегральные спектры люминес-

ценции люминофоров при возбуждении излучением чипа с $\lambda_{\text{возб}} = 452$ нм и ксеноновой лампы с $\lambda_{\text{возб}} = 340$ нм. Регистрация интегральных спектров свечения осуществлялась оптоволоконным спектрометром AvaSpec-3648 в спектральном диапазоне 200 – 1100 нм. Время интегрирования составляло 100 мс.

Таблица 2.1. Элементный состав люминофоров

Люминофор	Y [At %]	Al [At %]	Ga [At %]	O [At %]	Gd [At %]	Ce [At %]	Eu [At %]
СДЛ-5000	17.36	24.75	9.14	48.75			
СДЛ-4100	13.74	31.53		54.73			
СДЛ-3000	15.91	21.27	11.78	51.04			
СДЛ-3300	8.87	27.60		53.31	10.22		
СДЛ-3400	9.10	27.72		57.57	5.06	0.56	
СДЛ-4000	13.74	26.60		59.66			
MG-531/W	12.50	28.22		59.27			
MG-397/2W	12.46	26.77		60.77			
MG-558/2W	12.76	27.78		58.70	0.77		
MG-571/W	12.50	28.22		59.27			
L-2086/2W	11.37	27.97		56.19	4.46		
AWS- 5/90818-1	12.32	25.04		61.09			1.55

3. Экспериментальные исследования спектрально-кинетических характеристик исследуемых люминофоров.

Не размещается в соответствие с требованиями
(ПРИКАЗ № 43/од от 22.04.2016)

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время наиболее эффективны светодиодные источники белого света. Одним из способов получения белого света с помощью светодиода является преобразование синего излучения светодиодного чипа в желтое люминофором. Такой источник белого света представляет собой светодиодный чип, на котором нанесён люминофор в виде полидисперсного порошка. Преобразование излучения чипа люминофором во многом определяет световую отдачу источника света. Изучение свойств люминофоров способствует созданию эффективных источников света. Настоящая работа представляет собой научно-техническое исследование люминесцентных характеристик люминофоров на основе гадолиний-иттрий алюминиевого граната.

Целью данного раздела является оценка коммерческого и инновационного потенциала научно-технического исследования (НТИ), планирование процесса управления НТИ, определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности.

4.1. Потенциальные потребители результатов НТИ

Для анализа потенциальных потребителей НТИ необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевым рынком для рассматриваемого исследования являются коммерческие организации – предприятия, изготавливающие осветительные установки для внутреннего и наружного освещения. В осветительных установках могут содержаться различные виды источник света. Проведём сегментирование рынка по следующим критериям: размер компании-заказчика, вид источника света (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Карта сегментирования рынка осветительных установок для наружного освещения по видам источника света.

Размер компании	Виды источников света			
	Светодиодные	Газоразрядные	Натриевые лампы	Металлогалогенные лампы
Крупные	Фирма А		Фирма Б	Фирма Б
Средние		Фирма В	Фирма Д	
Мелкие		Фирма Г		Фирма Е

В приведенном примере карты сегментирования показано, какие ниши на рынке источников света не заняты конкурентами или где уровень конкуренции низок.

Результат сегментирования:

– к основным сегментам данного рынка относятся использование осветительных установок со светодиодными источниками света крупными компаниями;

– наиболее перспективным сегментом является предложение светодиодных источников света средним компаниям;

– сегментом рынка, привлекательным для предприятия в будущем, является предложение светодиодных источников света мелким, динамично развивающимся, компаниям.

4.2 Оценка научного уровня исследования

Количественная оценка научного или научно-технического уровня может быть произведена путем расчета результативности участников исследования по формуле:

$$K_{\text{нy}} = \sum_{i=1}^n (K_{\text{дy}i} \cdot d_i)$$

где $K_{\text{нy}}$ – коэффициент научного или научно-технического уровня;
 $K_{\text{дy}i}$ – коэффициент достигнутого уровня i -го фактора;

d_i – значимость i -го фактора;

n – количество факторов.

Результаты расчетов занесем в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 – Оценка научного уровня исследования

Показатели	Значимость показателя	Достигнутый уровень	Значение i -го фактора
	d_i	$K_{дyi}$	$K_{дyi} \cdot d_i$
1. Новизна полученных или предполагаемых результатов	0,2	1	0,2
2. Перспективность использования результатов	0,3	0,4	0,12
3. Завершенность полученных результатов	0,2	0,7	0,14
4. Масштаб возможной реализации полученных результатов	0,3	0,25	0,075
Результативность	$K_{\text{ны}} = \sum(K_{дyi} \cdot d_i) = 0,535$		

Новизна полученных или предполагаемых результатов: исследуемые образцы являются новыми люминофорами, характеристики которых ранее не изучались.

Перспективность использования результатов: результаты данной работы возможно использовать с целью создания более эффективных люминофоров.

Завершенность полученных результатов: предполагается проведение дополнительных исследований деградации образцов под длительным температурным воздействием.

Масштаб возможной реализации полученных результатов: результаты исследования могут быть использованы только для создания светодиодных источников света.

4.3 Планирование научно-исследовательских работ

4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Научное исследование выполнила группа, в состав которой входили научный руководитель и студент.

Выполнение и планирования работы по теме "Исследование люминесцентных характеристик YAG-люминофоров" было разделено на описанные в таблице 4.3 этапы.

Таблица 4.3 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Исполнители
Выдача задания	1	Составление и утверждение задания	науч. рук.
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме исследования	науч. рук., студ.
	3	Проработка методики исследования	науч. рук.
	4	Календарное планирование работ по теме	студ.
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение исследования спектрально-кинетических характеристик образцов	студ.
	6	Обработка результатов исследований	студ.
Обобщение и оценка результатов	7	Анализ полученных результатов, выводы	науч. рук., студ.
	8	Оценка эффективности полученных результатов	науч. рук., студ.

4.3.2 Определение трудоемкости выполнения работы и разработка графика проведения исследования.

Важнейшей составляющей процесса формирования научной работы является определение трудоемкости мероприятий по выполнению работ.

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

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5},$$

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.; $t_{\text{min}i}$, – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.; $t_{\text{max}i}$, – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{\text{pi}} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i},$$

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

$t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

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

Наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

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

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

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

где $T_{\text{ки}}$ – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

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

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 52 - 12} = 1,21,$$

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

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

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

Временные показатели проведения данного научного исследования представлены в таблице 4.4 (научный руководитель (р), студент(с)):

Таблица 4.4 - Временные показатели проведения научного исследования

Название Работы	Трудоёмкость работ			Численность исполнителей	T_{pi} , дни	T_{ki} , дни
	$t_{\text{min i}}$, чел-дни	$t_{\text{max i}}$, чел-дни	$t_{\text{ож i}}$, чел-дни			
Составление и утверждение задания	7	15	10,2	1	11	14
Подбор и изучение материалов по теме исследования	20	70	40	2	20	25
Проработка методики исследования	6	15	9,6	1	10	13
Календарное планирование работ по теме	7	15	10,2	1	11	14
Проведение исследования спектрально-кинетических характеристик образцов	22	60	37,2	1	38	46
Обработка результатов исследований	25	55	37	1	37	45
Анализ полученных результатов, выводы	6	10	7,6	2	4	5
Оценка эффективности полученных результатов, Сдача результатов НТИ	11	23	15,8	2	8	10

Таблица 4.5- Календарный план-график проведения НИТИ

№	Вид работ	И с п - л и	Т _к , кал , дн.	Продолжительность выполнения работ																																					
				сен.				окт.				Ноя.				дек.				янв.				фев.				март				апр.				май				июнь	
				1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2				
1	Составление и утверждение задания	Р	14																																						
2	Подбор и изучение материалов по теме исследования	С + Р	25																																						
			25																																						
3	Проработка методики исследования	Р	13																																						
4	Календарное планирование работ по теме	С	14																																						
5	Проведение исследования спектрально-кинетических характеристик образцов	С	46																																						

4.3.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

4.3.3.1. Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_{\text{м}} = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m \Pi_i \cdot N_{\text{расх}i},$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{\text{расх}i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

Π_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, занесены в таблицу 4.6

Таблица 4.6 - Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З _м), руб
Бумага	шт.	4	222	888
Итого			888	

4.3.3.2. Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного НТИ и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений.

Затраты на амортизацию оборудования рассчитываются по формуле:

$$З_{об} = (Ц \cdot F_{\phi}) / (F_{н} \cdot F_{cc}),$$

где Ц – цена оборудования, р.; F_н – номинальный фонд времени (рабочее время в году), ч; F_{cc} – срок службы оборудования, год; F_φ – фактическое время занятости оборуд. в НИР, ч. F_н = 365 – 52 – 12 = 301 день = 2408 ч.

Вычисленная амортизация оборудования представлена в таблице 4.7
Данные взяты на основе отчета лаборатории.

Таблица 4.7 – Затраты на амортизацию оборудования

№	Наименование оборудования	Ц, р.	F _{cc} , год	F _φ , ч.	З _{об} , р.
1	Компьютер	25000	15	2000	1384
ИТОГО:					1384

4.3.3.3 Основная заработная плата

Исходными нормативами заработной платы данных категорий работающих является оклад, определяющий уровень месячной заработной платы в зависимости от объема и ответственности работ.

Таблица 4.8 - Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов			Исполнители по категориям			Трудоемкость, чел.-дн.			Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.			Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.		
	Исп. I	Исп. II	Исп. III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
1	Подготовка к проведению исследования спектров люминесценции	Подготовка к проведению исследования спектров возбуждения	Подготовка к проведению исследования кинетических характеристик	P	P	P	5	5	10	1,8	1,8	1,8	9	9	18
2	Проведение исследования спектров люминесценции	Проведение исследования спектров люминесценции	Проведение исследования спектров люминесценции	C	C	C	20	20	30	0,6	0,6	0,6	12	12	18
3	Обработка полученных спектров люминесценции	Обработка полученных спектров возбуждения	Обработка полученных кинетик затухания	C	C	C	45	45	60	0,6	0,6	0,6	27	27	36
4	Подведение выводов полученных результатов	Подведение выводов полученных результатов	Подведение выводов полученных результатов	C	C	C	15	15	20	0,6	0,6	0,6	9	9	12
Итого:													57	57	84

Основная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p,$$

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (табл. 4.4);

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d},$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

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

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно- технического персонала, раб. дн. (табл. 4.9).

Таблица 4.9 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени, дни	Руководитель	Студент
Календарное число дней в году	365	365
Количество нерабочих дней		
Выходные	52	52
Праздники (фактически по каждому году)	12	12
Планируемые потери отпуска	48	48
Действительный годовой фонд	253	253

Месячный должностной оклад работника:

$$З_m = З_{tc} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p,$$

где $З_{tc}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $З_{tc}$);

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

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

Таблица 4.10 - Расчет основной заработной платы

Исполнители	Разряд	k_t	$З_{tc}$, руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	$З_m$, руб	$З_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$З_{осн}$, руб.
Руководитель	ассистент	1	18000	0,3	0,2	1,3	35100	1442,8	10	14428
Студент		1	6000	0,3	0,2	1,3	11700	480,9	80	38472
Итого $З_{осн}$										43295

4.3.3.4 Дополнительная заработная плата

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}$$

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

Подставив в формулу известные численные значения, получим:

4.3.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

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

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.)

Таблица 4.11 - Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная пла- та, руб.			Дополнительная заработная плата, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Руководитель	7214	7214	14428	865,7	865,7	1731,4
Студент	38472	38472	52899	4616,64	4616,64	6347,88
Коэффициент от- числений во вне- бюджетные фонды	0,271					
Итого						
Исполнение 1	13866,62					
Исполнение 2	13866,62					
Исполнение 3	20435,10					

4.3.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материа-

лов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии. Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}},$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

4.3.3.7 Бюджет затрат на разработку

Все вышеперечисленные затраты включаются в бюджет, которая приведена в таблице 4.12.

Таблица 4.12 - Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1. Материальные затраты НТИ	888	888	888	Пункт 4.3.4.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных работ	1384	1384	1384	Пункт 4.3.4.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	45686	45686	67327	Пункт 4.3.4.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	5482,34	5482,34	8079,29	Пункт 4.3.4.4
5. Отчисления во внебюджетные Фонды	13866,62	13866,62	20435,10	Пункт 4.3.4.5
6. Затраты на научные и производственные командировки	-	-	-	нет затрат
7. Контрагентские расходы	-	-	-	нет затрат
8. Накладные расходы	10769,11	10769,11	15698,14	Пункт 1

				4.3.4.6
9. Бюджет затрат НТИ	78076,05	78076,05	113811,51	Сумма ст. 1-8

4.4 Определение ресурсной и финансовой эффективности исследования

Для определения эффективности проведенного исследования произведем сравнение вариантов проектного решения на каждом из вариантов НТИ: методом исследования спектров люминесценции (1 вариант исполнения), исследования спектров возбуждения (2 вариант), исследования кинетических характеристик (3 вариант).

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель исследования определяется как:

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

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

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

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

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}} = \frac{78076.05}{113811.51} = 0,68; \quad I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{78076.05}{113811.51} = 0,68; \quad I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}} = \frac{113811.51}{113811.51} = 1$$

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

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

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

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

n – число параметров сравнения.

Таблица 4.13 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения исследования

Этап исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1 (спектры люминесценции)	Исп. 2 (спектры возбуждения)	Исп. 3 (кинетич. характеристики)
1. Удобство проведения	0,15	3	4	3
2. Помехоустойчивость	0,25	2	2	4
3. Энергосбережение	0,20	2	2	3
4. Надежность	0,25	2	2	3
5. Материалоемкость	0,15	4	4	4
ИТОГО	1	2,45	2,6	3,4

Расчёт интегрального показателя ресурсоэффективности

$$I_{p1} = 0,15 \cdot 3 + 0,25 \cdot 2 + 0,2 \cdot 2 + 0,25 \cdot 2 + 0,15 \cdot 4 = 2,45;$$

$$I_{p2} = 0,15 \cdot 4 + 0,25 \cdot 2 + 0,2 \cdot 2 + 0,25 \cdot 2 + 0,15 \cdot 4 = 2,6;$$

$$I_{p3} = 0,15 \cdot 3 + 0,25 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,25 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 = 3,4;$$

Таблица 4.14 - Сравнительная эффективность исследования

№ п/п	Показатели	Исп. 1 (спектры люминесценции)	Исп. 2 (спектры возбуждения)	Исп. 3 (кинетич. характеристики)
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,68	0,68	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	2,45	2,6	3,4
3	Интегральный показатель эффективности	3,6	3,8	3,4
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,94	1	0,89

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволило определить сравнительную эффективность исследования, по таблице 4.14 наиболее целесообразный вариант исполнения 2, т.е. исследование спектров возбуждения люминофоров.

Итак, в данной части ВКР был произведен анализ потенциальных потребителей НТИ и расчет коэффициента научно-технического уровня исследования. Кроме того, было выполнено планирование исследовательских работ, расчёт бюджета НТИ., определены ресурсная и финансовая эффективности исследования.

Анализ потенциальных потребителей показал, что результаты научно-технического исследования могут найти своё применение среди крупных производителей светодиодных источников света.

Количественная оценка научно-технического уровня показала, что существенный вклад в величину оценки вносит такой критерий, как новизна исследования. Данный критерий может положительно повлиять на поиск потенциальных потребителей, так как подразумевает высокий уровень инновационного потенциала исследования.

Планирование исследовательских работ показало, что на выполнение НТИ необходимо затратить 172 дня. Исследование предполагается начать середине сентября и закончит в третьей четверти марта. Наиболее продолжительными этапами исследования являются измерение спектрально-кинетических характеристик образцов и обработка результатов измерения.

Наименьший бюджет характерен для первого и второго вариантов исследования и составляет 78076,05 рублей.

С точки зрения ресурсной и финансовой эффективностей наиболее целесообразен второй вариант исполнения исследования.

5. Социальная ответственность

Не размещается в соответствие с требованиями
(ПРИКАЗ № 43/од от 22.04.2016)

Заключение

Не размещается в соответствие с требованиями
(ПРИКАЗ № 43/од от 22.04.2016)

Список публикаций студента

1. Цзюй Янян, С. А. Степанов, Д. В. Сарасеко. Тепловые потери в люминофоре светодиода при преобразовании спектра [Электронный ресурс] = Heat losses in phosphor -converted leds during spectrum conversion / Цзюй Янян, С. А. Степанов, Д. В. Сарасеко; науч. рук. В. М. Лисицын // Перспективы развития фундаментальных наук : сборник научных трудов XIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 26-29 апреля 2016 г. в 7 т. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) ; под ред. И. А. Курзиной, Г. А. Вороновой. — 2016. — Т. 1 : Физика. — [С. 307-309].

2. Степанов С. А. , Валиев Д. Т. , Вишнякова Е. А. , Мархабаева А. А., Тулегенова А. Т. , Сарасеко Д. В. , Абдуллин Х. А. , Лисицын В. М. Импульсная фото- и катодолюминесценция силикатного люминофора с европием // Известия вузов. Физика. - 2015 - Т. 58 - №. 6/2. - С. 259-264

3. Валиев Д. Т. , Степанов С. А. , Вишнякова Е. А. , Мархабаева А. А., Тулегенова А. Т. , Сарасеко Д. В. , Абдуллин Х. А. , Лисицын В. М. Спектрально-кинетические характеристики YAG:Gd, Се люминофора // Известия вузов. Физика. - 2015 - Т. 58 - №. 6/2. - С. 42-47

Список используемых источников

Не размещается в соответствие с требованиями

(ПРИКАЗ № 43/од от 22.04.2016)