

Инженерная школа новых производственных технологий

Направление 12.04.02 «Оптотехника»

Отделение материаловедения

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Спектрально-кинетические характеристики композиций полиметилметакрилата / CdS:Ln(III)

УДК 535.333:546.65:678-419.8

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ВМ72	У Маохуа		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ	Вильчинская С.С.	к.ф.м.н., доцент		

### КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОСГН	Жаворонок А.В.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романова С.В.			

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ	Полисадова Е.Ф.	д.ф.-м.н., доцент		

Томск – 2019 г.

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код резул ьтата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Способность формулировать цели, задачи научного исследования или разработки в области светотехники и фотонных технологий и материалов, способность выделять и обосновывать критерии, на основании которых формируются модели принятия решений, составлять план работ, способность строить физические и математические модели объектов исследования и выбирать алгоритм решения задачи
P2	Способность разрабатывать программы экспериментальных исследований, применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы, защищать приоритет и новизну полученных результатов исследований в области обработки, изучения и анализа фотонных материалов, корпускулярно-фотонных технологий, оптоволоконной техники и технологии, в области оптических и световых измерений, люминесцентной и абсорбционной спектроскопии, лазерной техники, лазерных технологий и оборудования, взаимодействия излучения с веществом, производства и применения светодиодов
P3	Способность к профессиональной оценке проблем проектирования в области светотехники, оптотехники, фотонных технологий и материалов на основе подбора и изучения литературных и патентных источников. Способностью к разработке структурных и функциональных схем оптических, оптико-электронных, светотехнических приборов, лазерных систем и комплексов с определением их физических принципов работы, структуры и технических требований на отдельные блоки и элементы
P4	Способность к конструированию и проектированию отдельных узлов и блоков для осветительной, облучательной, оптико-электронной, лазерных техники, оптоволоконных, оптических, оптико-электронных, лазерных систем и комплексов различного назначения, осветительных и

	облучательных установок для жилых помещений, сельского хозяйства, промышленности
P5	Способность к разработке и внедрению технологических процессов и режимов сборки оптических и светотехнических изделий, к разработке методов контроля качества изготовления деталей и узлов, составлению программ испытаний современных светотехнических и оптических приборов и устройств, фотонных материалов.
P6	Способность эксплуатировать и обслуживать современные светотехнические и оптические приборы и устройства, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на производстве, выполнять требования по защите окружающей среды
<b><i>Универсальные компетенции</i></b>	
P7	Способность проявлять творческий, нестандартный подход, требующий абстрактного мышления, при решении конкретных научных, технологических и проектно-конструкторских задач в области фотонных технологий и материалов и светотехники, нести ответственность за принятые решения
P8	Способность к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала
P9	Способность к инновационной инженерной деятельности, менеджменту в области организации освоения новых видов перспективной и конкурентоспособной оптической, оптико-электронной и световой, лазерной техники с учетом социально-экономических последствий технических решений
P10	Способностью к координации и организации работы научно-производственного коллектива, принятию исполнительских решений для комплексного решения исследовательских, проектных, производственно-технологических, инновационных задач в области светотехники и фотонных технологий и материалов
P11	Способность к оценке современного состояния развития науки и техники, владение иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально – экономических различий, разрабатывать документацию,

	презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности
P12	Способность к сбору сведений, анализу и систематизации знаний об исследуемом объекте

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

Инженерная школа новых производственных технологий

Направление 12.04.02 «Оптотехника»

Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ Полисадова Е.Ф.

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации
--------------------------

Студенту:

Группа	ФИО
4ВМ72	У Маохуа

Тема работы:

Спектрально-кинетические характеристики композиций полиметилметакрилата / CdS:Ln(III)	
Утверждена приказом	№ _____ от

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Отечественная и зарубежная литература по люминесценции полиметилметакрилата, модифицированного сульфидом кадмия и редкоземельными элементами. Спектрофотометр. Микровизор. Спектрофлюориметр. Импульсный спектрометр Композиты на основе полиметилметакрилата, модифицированного сульфидом кадмия и редкоземельными элементами
---------------------------------	---

<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	<p>1) Применение и свойства композитов на основе полиметилметакрилата, модифицированного сульфидом кадмия и редкоземельными элементами.</p> <p>2) Методика исследования 3) Люминесценция и поглощение композитов на основе полиметилметакрилата, модифицированного сульфидом кадмия и редкоземельными элементами. Спектрально-кинетические характеристики композитов на основе полиметилметакрилата, модифицированного сульфидом кадмия и редкоземельными элементами.</p> <p>Анализ результатов.</p> <p>4) Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p> <p>5) Социальная ответственность</p>
<b>Перечень графического материала</b>	Общая схема экспериментальной установки. Рисунки, графики и фотографии

### Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Жаворонок А.В.
Социальная ответственность	Романова С.В.
Раздел ВКР на иностранном языке	Рыбушкина С.В.

### Названия разделов, которые должны быть выполнены русском и иностранном языках:

Объекты исследования и методика эксперимента	
Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	

### Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Вильчинская С.С.	к.ф.м.н., доцент		

### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ВМ72	У Маохуа		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 116 страницы, 46 рисунков и 33 таблиц, 70 источников, 1 приложение.

*Ключевые слова:* полимерный композиционный материал, сульфид кадмия, редкоземельные элементы, фотолюминесценция, спектрально-кинетические характеристики.

*Объектом исследования* являются полимерные композиционные материалы на основе полиметилметакрилата, модифицированного сульфидом кадмия и редкоземельными элементами.

*Цель работы* – исследовать спектрально-кинетические характеристики новых материалов на основе ПММА одновременно легированных сульфидом кадмия и редкоземельными элементами и дать рекомендации относительно области применения данных материалов.

*Методы исследований* – импульсная и стационарная спектрометрия; оптическая микроскопия; спектрофотометр СФ-256УВИ; спектрофлуориметр Cary Eclipse.

*Полученные результаты.* В результате работы исследованы спектрально-кинетические характеристики композиций ПММА:СdS:Тb, ПММА:СdS:Eu:Тb, ПММА:СdS:Eu. Зарегистрированы спектры фотолюминесценции и возбуждения ФЛ композиций при различных длинах волн возбуждения и люминесценции. Все компоненты композиций могут люминесцировать одновременно или избирательно, в соответствии с длиной волны возбуждающего излучения. Определены времена затухания люминесценции лантаноидов в композициях. Рассчитаны координаты цветности исследуемых образцов.

*Прогнозные предложения о развитии объекта исследования.* Композиты на основе полиметилметакрилата, модифицированного сульфидом кадмия и редкоземельными элементами могут быть рекомендованы для практического

применения в качестве люминесцентных преобразователей спектра для современных приборов.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ**

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями, обозначениями и сокращениями:

ПММА – полиметилметакрилат (органическое стекло)

УФ – ультрафиолетовое излучение

РЗЭ – редкоземельные элементы

ФЛ – фотолюминесценция

ИФЛ – импульсная фотолюминесценция

КТ – квантовые точки

ФЭУ – фотоэлектронный умножитель

НК – нанокристаллы

ИК – инфракрасный

## СОДЕРЖАНИЕ

Сокращения и обозначения.....	9
ВВЕДЕНИЕ.....	11
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР.....	14
Механизмы люминесценции.....	14
1.1.1 Молекулярный механизм люминесценции.....	14
1.1.2 Рекомбинационный механизм люминесценции.....	16
1.2 Люминесценция материалов модифицированных редкоземельными элементами.....	18
1.3 Люминесценция материалов модифицированных сульфидом кадмия.....	28
1.4 Постановка задачи исследования.....	32
2 ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА .....	34
2.1 Образцы для исследования и методика синтеза.....	34
2.2 Принцип работы Спектрофотометра СФ 256-УВИ.....	35
2.3 Принцип работы Спектрофлуориметра Cary Eclipse.....	36
2.4 Метод импульсной люминесцентной спектрометрии с наносекундным временным разрешением.....	37
3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ.....	39
3.1 Спектры пропускания и поглощения композитов на основе полиметилметакрилата, модифицированного сульфидом кадмия и редкоземельными элементами.....	39
3.2 Спектры возбуждения и люминесценции композитов на основе полиметилметакрилата, модифицированного сульфидом кадмия и редкоземельными элементами.....	42
3.3 Спектрально-кинетические характеристики фотолюминесценции композитов на основе полиметилметакрилата, модифицированного сульфидом кадмия и редкоземельными элементами.....	49
3.4 Расчет координат цветности.....	54
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	58
5. Социальная ответственность.....	85
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	101
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ.....	103
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	104
ПРИЛОЖЕНИЕ А Раздел ВКР на иностранном языке.....	111

## Введение

Актуальность работы обусловлена потребностью науки и техники в материалах с необычными спектральными свойствами, установлением влияния способа синтеза и модифицирования, а также состава и свойств реагентов на формирование композиций и понимание механизмов возникновения их свойств.

Композиты на основе полиметилметакрилата, модифицированного сульфидом кадмия и редкоземельными элементами являются новыми и весьма перспективными материалами для оптики, светотехники, электроники [1-3].

В последние годы увеличился интерес ученых к изучению композитных материалов, легированных редкоземельными элементами или полупроводниковыми нанокристаллами или квантовыми точками [4–8]. Это связано с тем, что в наноразмерном состоянии эти материалы проявляют уникальные свойства. [9].

Полупроводниковые квантовые точки (КТ) интенсивно люминесцируют и воспроизводят оптические характеристики. Легирование лантаноидов положительно влияет на их свойства. Внедрение КТ в полимерные матрицы приводит к формированию требуемой морфологии композиций. Проблема синтеза оптически прозрачных полимерных композиций, содержащих КТ группы АІВVI, заключается в крайне малой растворимости халькогенидов металлов и большинства их предшественников в мономерах.

Обычно размер КТ не превышает 10 nm. Агломераты КТ могут достигать десятков нанометров и более. Люминесценцию КТ связывают с излучательной рекомбинацией носителей зарядов на энергетических уровнях примесных дефектов, находящихся в объеме и на поверхности материалов. Легирование кристаллов лантаноидами или редкоземельными элементами изменяет их оптические и физико-химические свойства. Легирование полупроводниковых КТ лантаноидами приводит к изменению энергетической диаграммы полупроводниковых структур.

Однако существует проблема получения композитов с однородным распределением полупроводников и редкоземельных элементов в объеме

полимерной матрицы. Если полупроводниковые КТ и редкоземельные элементы распределены в полимере равномерно увеличивается эффективность люминесценции, в связи с тем, что практически каждая КТ люминофора подвергается возбуждению.

Весьма перспективным, с нашей точки зрения, является применение композитов с полупроводниковыми квантовыми точками и редкоземельными элементами в качестве вторичной оптики. Основным преимуществом источников излучения с удаленным люминофором является отсутствие слепящего эффекта за счёт свечения всей поверхности люминесцирующего наногибридного рассеивателя, что повышает комфортность освещения. Однако практическое применение новых полимерных материалов одновременно легированных сульфидом кадмия и редкоземельными элементами в литературе не описано и не достаточно исследований данных материалов.

Несмотря на то, что количество исследований в этой области пока не много, разработка контролируемых методов введения полупроводниковых КТ и редкоземельных элементов в полимерные матрицы для создания новых наноматериалов для фотоники определяет актуальность данной тематики, лежащей в основе настоящей работы.

В связи с этим, целью работы является исследование спектрально-кинетических характеристик новых материалов на основе ПММА одновременно легированных сульфидом кадмия и редкоземельными элементами.

Задачи исследования:

1. Измерить спектрально-кинетические характеристики фотолюминесценции композитов на основе ПММА одновременно легированных сульфидом кадмия и редкоземельными элементами.
2. Исследовать спектральные характеристики стационарной фотолюминесценции ПММА одновременно легированных сульфидом кадмия и редкоземельными элементами.

3. Измерить спектры пропускания, поглощения и возбуждения композитов на основе полиметилметакрилата, модифицированного сульфидом кадмия и редкоземельными элементами.
4. Рассчитать координаты цветности ФЛ композитов на основе ПММА одновременно легированных сульфидом кадмия и редкоземельными элементами.
5. Изучить механизмы возникновения люминесценции в исследуемых композициях.
6. Дать рекомендации относительно области применения данных материалов.

## **1. Литературный обзор**

### **1.1 Механизмы люминесценции**

#### **1.1.1 Молекулярный механизм люминесценции**

Необходимое условие для возникновения люминесценции – достаточно широкий энергетический зазор ( $> 0,6$  эВ) между уровнями возбуждённого и основного состояний. Поэтому твёрдые и жидкие металлы, в которых отсутствует соответствующий энергетический зазор, люминесцировать не могут, тогда как пары металлов хорошо люминесцируют, а ионы РЗЭ используются в качестве рабочих центров в люминофорах и лазерных кристаллах.

При фотолюминесценции часто возникают процессы переноса энергии электронных возбуждений от одних оптических центров к другим. В результате таких процессов изменяются характеристики люминесценции: квантовый выход и спектр излучения, кинетика. Перенос энергии имеет место в люминофорах, лазерных кристаллах и стёклах с ионами РЗЭ, что позволяет получать люминесцентное излучение в требуемом интервале длин волн. В результате переноса энергии возбуждения между оптическими центрами возможно антистоксово преобразование ИК-излучения в видимый свет, а также получение нескольких квантов видимого света при возбуждении ионов РЗЭ УФ-излучением [10].

Во многих люминофорах реализуется рекомбинационный механизм люминесценции, при котором поглощение возбуждающего излучения приводит к образованию свободных электронов в зоне проводимости и дырок в валентной зоне с последующей излучательной рекомбинацией этих неравновесных носителей заряда. Рекомбинация происходит, как правило, на центрах свечения и примесях. Рекомбинационный механизм люминесценции реализуется и при других видах возбуждения, например в светодиодах излучательная рекомбинация носителей заряда происходит вблизи рп-перехода.

Существует также экситонный механизм свечения, при котором излучение возникает в результате аннигиляции экситонов [10].

При рентгено и катодолюминесценции первоначально возникают свободные электроны, энергия которых многократно превосходит энергию квантов люминесцентного излучения, составляющую 2–3 эВ. Поэтому в таких случаях Л возникает в результате каскадного размножения первичных элементарных возбуждений. Однако энергетический выход этих видов Л не превышает 25%, т. е. большая часть энергии возбуждения переходит в теплоту. Переход части энергии возбуждения в теплоту ограничивает яркость свечения люминесцентных источников и приводит к температурному тушению [10].

При работе лазеров наряду со стимулированными переходами, создающими лазерное излучение, наблюдаются и спонтанные переходы.

В процессе люминесценции развиваются безызлучательные процессы, в которых значительная часть энергии возбуждения в конечном счёте переходит в тепловую энергию, и наблюдается тушение люминесценции. Известны различные виды и механизмы тушения люминесценции: температурное тушение (выход люминесценции начинает резко падать при превышении некоторой критической темпры, составляющей 100–200 °С), концентрационное тушение, возникающее при высокой концентрации центров свечения, тушение посторонними примесями, например ионами группы железа, с высокой вероятностью безызлучательных переходов [10].

Процесс возникновения люминесценции центра примеси в кристалле можно разделить на четыре этапа:

1. Поглощение света при постоянной позиции и скорости тяжелых частиц. В результате возбужденное состояние центра производит избыточную (по сравнению с кристаллом) колебательную энергию.

2. Колебательная релаксация центра возбуждения, во время которой сверхбалансированный источник колебательной энергии передается кристаллической решетке и излучает слабая «горячая» люминесценция.

3. После установления равновесного распределения возбужденных центров по колебательной энергии осуществляются излучательные переходы в основное состояние центра при неизменных положениях и скоростях частиц. Это и есть обычная (термализованная) люминесценция примесных центров. После излучательного перехода примесный центр в основном состоянии также имеет неравновесный запас колебательной энергии [11].

4. Заключительный этап диссипации энергии излучения центром сводится к колебательной релаксации, приводящей к передаче кристаллу избыточной колебательной энергии [11].

### **1.1.2 Рекомбинационный механизм люминесценции**

Рекомбинационная люминесценция возникает за счет воссоединения частиц, разделенных поглощением энергии возбуждения.

Рекомбинационная люминесценция при переходах «зона – уровень примеси». В полупроводниках с донорными и акцепторными примесями или различными дефектами (также донорами и акцепторами), люминесценция идет преимущественно через них, и их называют центрами рекомбинаций. Если уровень находится вблизи зоны проводимости, то это уровень донора, а если он близок к валентной зоне, это уровень акцептора. Донорные уровни эффективно обмениваются электронами с зоной проводимости, а акцепторы – дырками с валентной зоной. Один и тот же уровень могут называть и ловушкой, и донором (акцептором). Например, донорный уровень не занят электронами, то это ловушка электронов; если же уровень занят электроном, это донор. Аналогично для дырок применительно к акцепторному уровню [11].

Наиболее типичными характеристиками донорно-акцепторной люминесценции являются следующие:

1. тонкая структура возникает при рекомбинации близких донорно-акцепторных пар в спектре излучения.

2. Канал с участием дальних пар, из-за высокой вероятности рекомбинации с ростом уровня возбуждения, насыщается. И излучение в основном происходит при участии ближних пар. Это приводит к смещению максимума

полосы в область высокоэнергетического спектра, ближним парам (малые  $r$ ) соответствуют большие значения  $h\nu$ .

3. Кинетика донорно-акцепторной люминесценции неэкспоненциальна [11].

4. Спектры донорно-акцепторной люминесценции, измеренные в разные моменты времени после окончания возбуждения, отличаются. В начальные моменты времени в рекомбинациях участвуют в основном, ближние пары. Поэтому с течением времени полоса люминесценции смещается в низкоэнергетическую область спектра и становится более узкой [11].

## 1.2. Люминесценция материалов модифицированных редкоземельными элементами

Авторами работы [12] были разработаны красновато-оранжевый и зеленый люминесцентные стекла  $\text{Eu}^{3+}$  и  $\text{Tb}^{3+}:\text{B}_2\text{O}_3\text{-ZnO-PbO}$  и исследованы их спектральные свойства, измерены их поглощение, возбуждение и люминесценция. Как видно из рисунков 1.1-1.5, спектр ФЛ стекла  $\text{Eu}^{3+}:\text{B}_2\text{O}_3\text{-ZnO-PbO}$  содержит пять эмиссионных переходов ( ${}^5\text{D}_0 \rightarrow {}^7\text{F}_{0-4}$ ) при 579нм, 591нм, 614нм, 653нм и 703нм с длиной волны возбуждения 392нм ( ${}^7\text{F}_0 \rightarrow {}^5\text{L}_6$ ). Аналогично в спектре ФЛ  $\text{Tb}^{3+}:\text{B}_2\text{O}_3\text{-ZnO-PbO}$  стекла обнаружено четыре полосы люминесценции ( ${}^5\text{D}_4 \rightarrow {}^7\text{F}_{6,5,4}$  и  $3$ ) с длиной волны 489нм, 543нм, 587нм и 623нм при возбуждении длиной волны 377нм ( ${}^7\text{F}_0 \rightarrow {}^5\text{G}_6$ ) (рис. 1.2). При воздействии УФ-источником (254 нм),  $\text{Eu}^{3+}$  или  $\text{Tb}^{3+}:\text{B}_2\text{O}_3\text{-ZnO-PbO}$ -стекла показали красновато-оранжевый или сильный зеленый цвета.

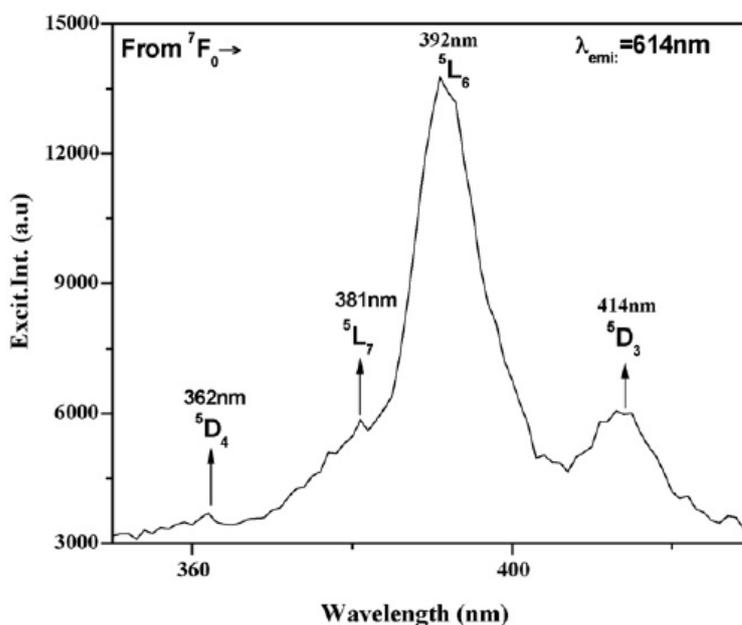


Рисунок 1.1 –Спектр возбуждения  $\text{Eu}^{3+}:\text{45B}_2\text{O}_3\text{-5ZnO-49PbO}$  стекла [12]

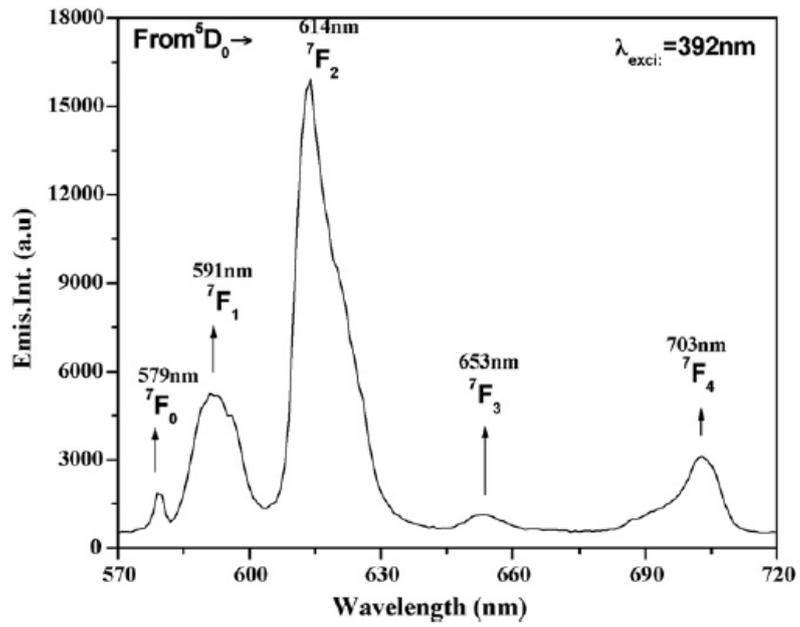


Рисунок 1.2 –Спектр люминесценции  $\text{Eu}^{3+}:\text{45B}_2\text{O}_3\text{-5ZnO-49PbO}$  стекла[12]

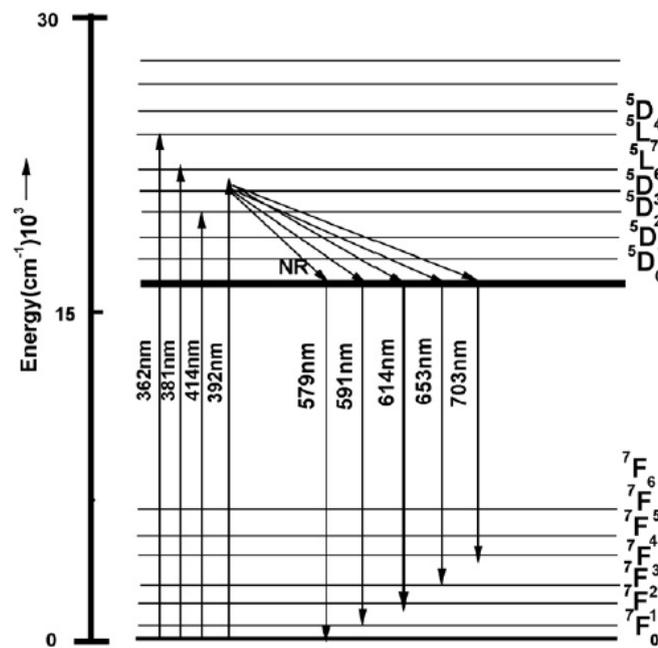


Рисунок 1.3 – Схема энергетических уровней для процессов люминесценции в  $\text{Eu}^{3+}:\text{45B}_2\text{O}_3\text{-5ZnO-49PbO}$  стекле[12]

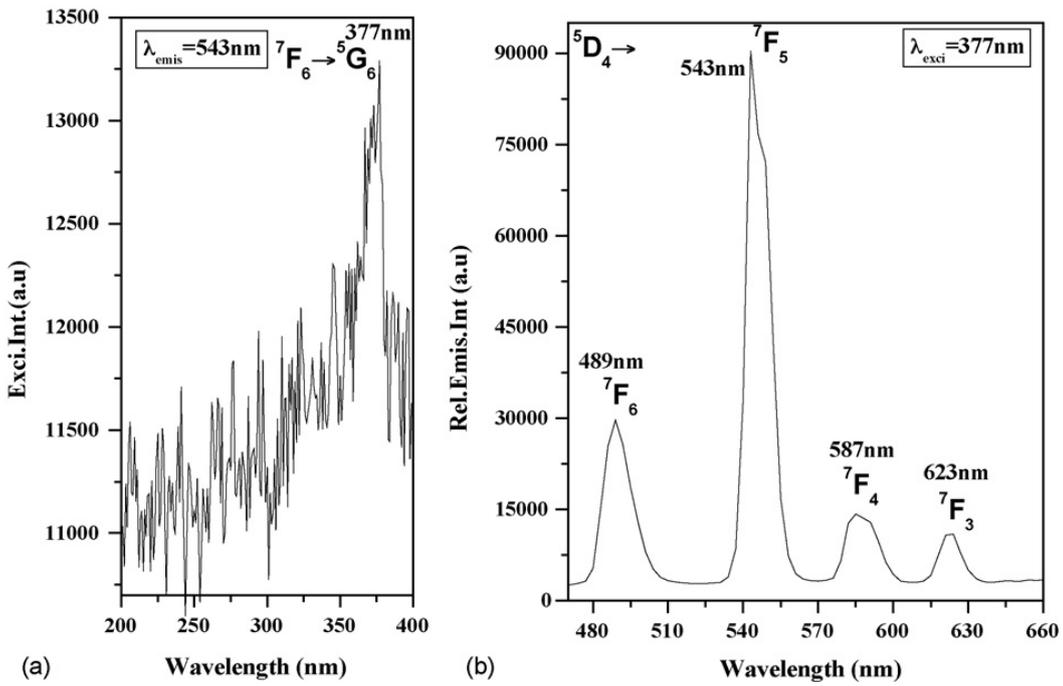


Рисунок 1.4 -Спектры (а) возбуждения и (б) люминесценции  $Tb^{3+}:45B_2O_3-5ZnO-49PbO$  стекла[12]

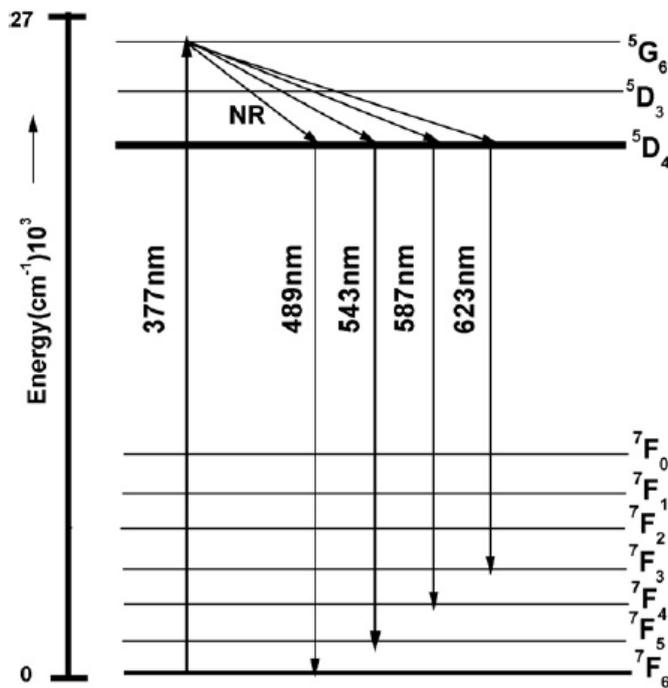


Рисунок 1.5 – Схема энергетических уровней для процессов люминесценции в  $Tb^{3+}:45B_2O_3-5ZnO-49PbO$  стекле[12]

В работе [13] был разработан простой, но эффективный метод получения NaLa (MoO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> наностержней, совместно легированные ионами Eu<sup>3+</sup> и Tb<sup>3+</sup> (сокращенно: NLM: Ln<sup>3+</sup>). Синтезированные наноматериалы обладают чистой тетрагональной фазой с переменными морфологиями.

Полученные наноматериалы демонстрируют превосходные люминесцентные в видимой области от красного, желтого до зеленого свечения (рис. 1.6), изменяя относительные коэффициенты легирования ионами Eu<sup>3+</sup> Tb<sup>3+</sup>. Исследование биосовместимости показывает, что добавление NLM: Ln<sup>3+</sup> наноматериалов может стимулировать рост нормальных клеток эпителия пигментного эпителия человека (ARPE-19). Следовательно, недавно разработанные наноматериалы NaLa (MoO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> обладают потенциалами для широкого спектра многофункциональных приложений, включая биоизображение, защиту, оптический дисплей, оптоэлектронику для хранения информации и стимуляции клеток.

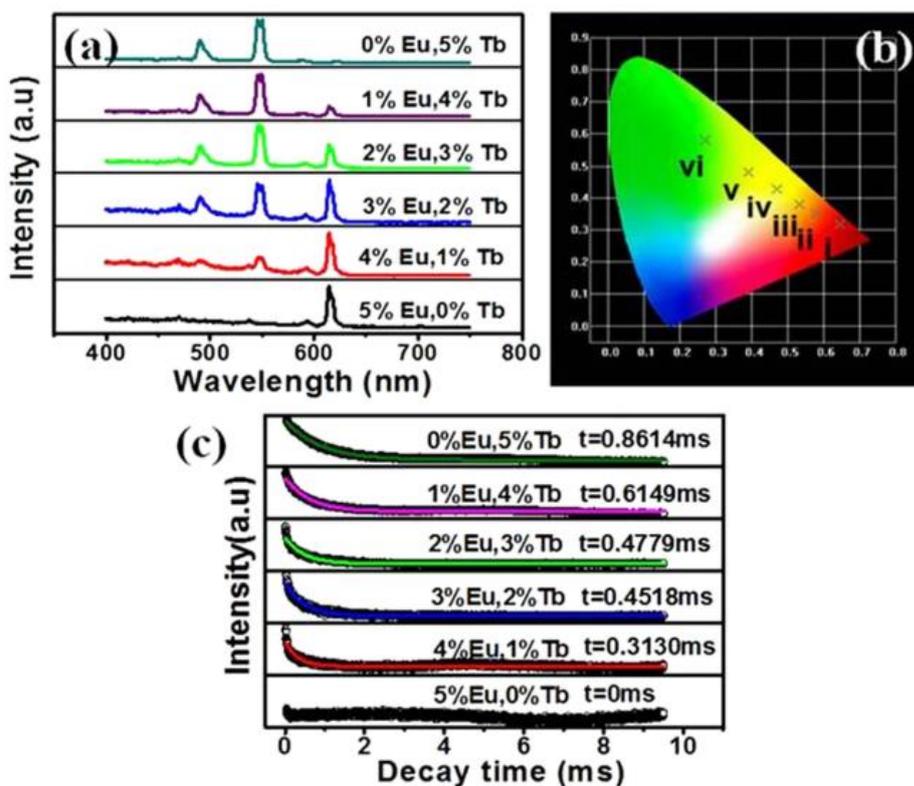


Рисунок 1.6 – Изменение люминесцентных характеристик от концентрации Eu<sup>3+</sup> и Tb<sup>3+</sup> [13]

В работе [14] показано, что фотолюминесценция силикатных стекол легированных Eu и Eu-Yb может быть изменена путем термообработки стекла в восстановительной атмосфере и путем корректировки состава матрицы рис.1.7.

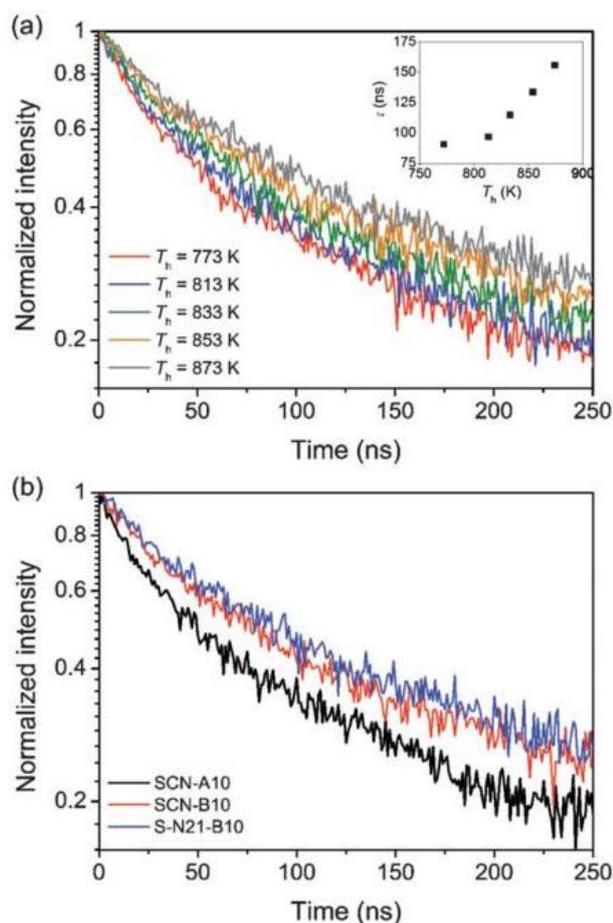


Рисунок 1.7 – кинетика затухания люминесценции Eu<sup>2+</sup> при возбуждении длиной волны 325нм при различных температурах (а), кинетика затухания люминесценции Eu<sup>2+</sup> в различных стеклянных матрицах при T=833 К [14]

В работе [15] были получены люминофоры BaCa<sub>2</sub>In<sub>6</sub>O<sub>12</sub> легированные Eu<sup>3+</sup>. Шаблоны XRD подтверждают шестиугольную фаза BaCa<sub>2</sub>In<sub>6</sub>O<sub>12</sub>: Eu<sup>3+</sup> люминофоры. Полученный спектральные данные показывают, что спектры излучения Ba<sub>1-x</sub>Eu<sub>x</sub>Ca<sub>2</sub>In<sub>6</sub>O<sub>12</sub>, возбужденные при 393 нм, демонстрируют ряд образные пики, присвоенные <sup>5</sup>D<sub>0,1,2,3</sub>→<sup>7</sup>F<sub>J</sub> (J = 0,1,2,3,4) переходы. Люминесценция из высших возбужденных состояний, такая как <sup>5</sup>D<sub>1</sub>, <sup>5</sup>D<sub>2</sub> и <sup>5</sup>D<sub>3</sub>, также наблюдались, хотя концентрация Eu<sup>3+</sup> была до x = 0,4. Что еще более важно, Ba<sub>1-x</sub>Eu<sub>x</sub>Ca<sub>2</sub>In<sub>6</sub>O<sub>12</sub> люминофор все еще излучает белый свет, когда концентрация ионов Eu<sup>3+</sup> до концентрации x = 0,07 до наблюдается тушение,

что показывает, что люминофор является перспективным однофазным люминофором для ближнего ультрафиолетового излучения светоизлучающих диодов. Кроме того, температура влияние на белые люминесцентные свойства.

Изготовлены светодиоды с белым светом с люминофором  $Ba_{0.95}Eu_{0.05}Ca_2In_6O_{12}$ , объединенный с ультрафиолетовых светодиодом ( $\lambda_{max} = 395 \text{ nm}$ ).

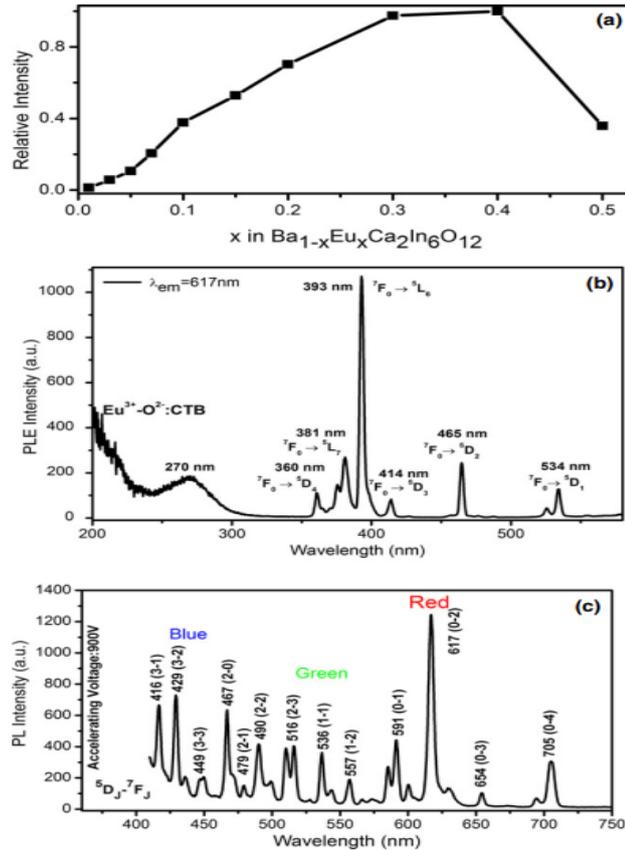


Рисунок 1.8- (а) Относительная интенсивность излучения ( ${}^5D_0 \rightarrow {}^7F_2$ ) как функция замены  $Eu^{3+}$  x, возбуждения (b) и излучения (c)  $BaCa_2In_6O_{12}: 5\% Eu^{3+}$  при возбуждении источника 393 нм [15]

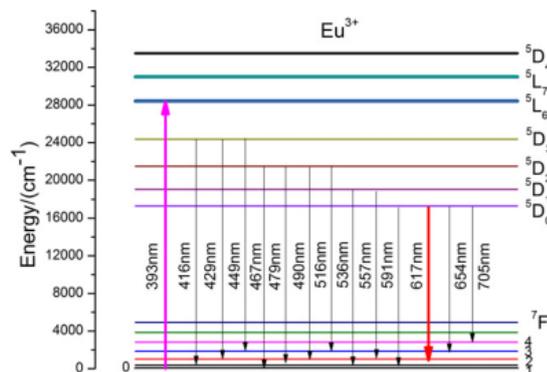


Рисунок 1.9- Механизм излучения в  $\text{Eu}^{3+}$ :  $\text{BaCa}_2\text{In}_6\text{O}_{12}$  порошок люминофор [15]

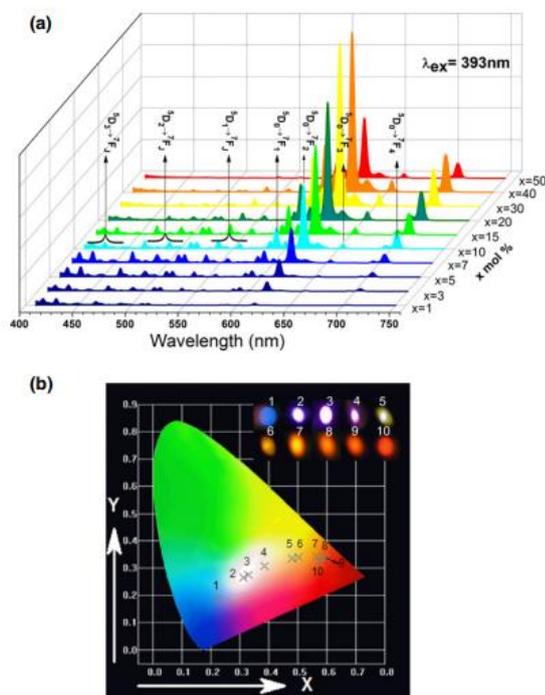


Рисунок 1.10- Спектры PL (а) ( $\lambda_{ex} = 393 \text{ нм}$ ) и диаграмма цветности CIE (б) образцов  $\text{Ba}_{1-x}\text{Ca}_2\text{In}_6\text{O}_{12}: x\text{Eu}^{3+}$  фосфора, приготовленных для различных концентраций  $\text{Eu}^{3+}$  [(1)  $x = 1\%$ , (2)  $x = 3\%$  (3)  $x = 5\%$ , (4)  $x = 7\%$ , (5)  $x = 10\%$ , (6)  $x = 15\%$ , (7)  $x = 20\%$ , (8)  $x = 30\%$ , (9)  $x = 40\%$ , (10)  $x = 50\%$ ]. На вставках показаны фазовые точки как синтезированных люминофоров [15]

Относительная интенсивность излучения ( ${}^5\text{D}_0 \rightarrow {}^7\text{F}_2$ ) в зависимости от замены  $x\text{Eu}^{3+}$ , спектры возбуждения и излучения  $\text{BaCa}_2\text{In}_6\text{O}_{12}: 5\% \text{Eu}^{3+}$  при источнике возбуждения 393 нм приведены на рисунке 1.8. На рисунке 1.8 (а) показана относительная интенсивность излучения ( ${}^5\text{D}_0 \rightarrow {}^7\text{F}_2$ ) как функция концентрации  $x\text{Eu}^{3+}$ . На рисунке 1.8 (а) мы знаем, что интенсивность возрастает с увеличением концентрации  $\text{Eu}^{3+}$  до  $x = 0,4$  и затем уменьшается. Обнаружено, что интенсивность ФЛ для концентрации легированного  $\text{Eu}^{3+}$  больше, чем  $x = 0.4$ , что объясняется хорошо известным эффектом гашения закалки.

Спектр PLE  $\text{BaCa}_2\text{In}_6\text{O}_{12}: 5\% \text{Eu}^{3+}$  показан на рисунке 1.8 (б). Спектр возбуждения, обнаруженный при 617 нм, состоит из широкой полосы, которая приписывается полосе переноса заряда  $\text{O}_2 \& \alpha; -\text{Eu}^{3+}$  (СТВ) и нескольким

линейным пикам, центрирующимся на 360, 381, 393, 414, 465 и 534 нм, что соответствует типичные f-f-переходы, т. е. переходы из основного состояния  ${}^7F_0$  в возбуждающее состояние конфигурации  $4f^6$ . Самый сильный пик в спектре возбуждения находится на 393 нм, который исходит из перехода  ${}^7F_0$ - ${}^5L_6$ . Возбуждение в переходе  ${}^7F_0 \rightarrow {}^5L_6$   $\text{Eu}^{3+}$  при 393 нм дает спектр излучения, как показано на рисунке 1.8 (с), который состоит из всех эмиссионных линий из возбужденных состояний  ${}^5D_{0,1,2,3}$  в основные состояния  ${}^7F_J$  из  $\text{Eu}^{3+}$ , то есть  ${}^5D_3$ - ${}^7F_1$  (416 нм),  ${}^5D_3$ - ${}^7F_2$  (429 нм),  ${}^5D_3$ - ${}^7F_3$  (449 нм),  ${}^5D_3$ - ${}^7F_4$  (467 нм),  ${}^5D_2$ - ${}^7F_1$  (479 нм),  ${}^5D_2$ - ${}^7F_2$  (490 нм),  ${}^5D_2$ - ${}^7F_3$  (516 нм),  ${}^5D_1$ - ${}^7F_1$  (536 нм),  ${}^5D_1$ - ${}^7F_2$  (557 нм),  ${}^5D_0$ - ${}^7F_1$  (591 нм),  ${}^5D_0$ - ${}^7F_2$  (617 нм),  ${}^5D_0$ - ${}^7F_3$  (654 нм) и  ${}^5D_0$ - ${}^7F_4$  (705 нм), как показано на рисунке 1.9. Эти эмиссионные линии  $\text{Eu}^{3+}$  покрывают всю видимую спектральную область со сравнимой интенсивностью, что приводит к выбросу белого света. Цвет излучения белый и невооруженным глазом, как видно из люминесцентной фотографии на вставках на рисунке 1.10 (b).

На рисунке 1.9 показана диаграмма энергетического уровня ионов  $\text{Eu}^{3+}$  и указывает возможные пути, участвующие в этом процессе. При возбуждении при 393 нм ионы  $\text{Eu}^{3+}$  продвигаются от основного состояния до состояния  ${}^5L_6$ . Затем возбужденные ионы  $\text{Eu}^{3+}$  релаксируют к энергетическим уровням  ${}^5D_3$ ,  ${}^5D_2$ ,  ${}^5D_1$  и  ${}^5D_0$  после безызлучательного процесса. В этом процессе ионы  $\text{Eu}^{3+}$  быстро каскадируют в состояния  ${}^5D_3$ ,  ${}^5D_2$ ,  ${}^5D_1$  и  ${}^5D_0$ . Уровень  ${}^5D_0$  заселен и отвечает за флуоресценцию при 617 нм. Ряд спектров ФЛ, полученных при длине волны возбуждения 393 нм для  $\text{Ba}_{1-x}\text{Ca}_x\text{In}_6\text{O}_{12} : x\text{Eu}^{3+}$  ( $x = 1\%, 3\%, 5\%, 7\%, 10\%, 15\%, 20\%, 30\%, 40\%, 50\%$ ) люминофоров с различными концентрациями  $\text{Eu}^{3+}$  представлены на рисунке 1.10 (а). Видно, что спектры излучения показывают совершенно разное соотношение между сине-зеленой эмиссией  ${}^5D_{3,2,1}$  и красной эмиссией  ${}^5D_0$  для более низких и более высоких концентраций  $\text{Eu}^{3+}$ . Когда концентрации  $\text{Eu}^{3+}$  ниже 3%, доминирующий переход люминофоров  $\text{Ba}_{1-x}\text{Eu}_x\text{Ca}_2\text{In}_6\text{O}_{12}$  составляет  ${}^5D_3 \rightarrow {}^7F_J$  (синяя эмиссия) и  ${}^5D_{2,1} \rightarrow {}^7F_J$  (сине-зеленая эмиссия), но  ${}^5D_0 \rightarrow {}^7F_J$  (красная эмиссия) является доминирующей переход для более высоких концентраций  $\text{Eu}^{3+}$ . На рисунке 1.10

(а) интенсивность этих эмиссионных линий 3%, 5% и 7%  $\text{Eu}^{3+}$ , покрывающих всю видимую спектральную область, сравнима, что приводит к эмиссии белого света, соответственно. Между тем, оптимальная концентрация  $\text{Eu}^{3+}$  в  $\text{Ba}_{1-x}\text{Eu}_x\text{Ca}_2\text{In}_6\text{O}_{12}$ , которая производит белый свет, составляет 5%. Также измеряются координаты цветности Международной сети (CIE) для  $\text{Ba}_{1-x}\text{Ca}_2\text{In}_6\text{O}_{12}:x\text{Eu}^{3+}$  при 393 нм, а результаты показаны на рисунке 1.10 (b). При увеличении концентрации ионов  $\text{Eu}^{3+}$  цветовой тон изменяется от синего (который представлен точкой 1), через белый (который представлен точками 2-4) и, наконец, красным, который представлен точкой 9 ( $x = 0,4$ ), расположенной (0,594, 0,336) и очень близко к стандартной красной цветности (0,67, 0,33) для системы Национального телевидения (NTSC). Когда концентрация ионов  $\text{Eu}^{3+}$  больше, чем  $x = 0,4$ , цвет излучения  $\text{Eu}^{3+}$  практически не изменяется, как показано на вставках на рис.1.3.5 (b). В частности, люминофор  $\text{Ba}_{0.95}\text{Eu}_{0.05}\text{Ca}_2\text{In}_6\text{O}_{12}$  показывает излучение белого света, имеющее координаты цвета CIE  $x = 0.331$ ,  $y = 0.275$ . По причинам, упомянутым выше, цвет излучения люминофоров  $\text{Ba}_{1-x}\text{Eu}_x\text{Ca}_2\text{In}_6\text{O}_{12}$  может быть настроен с помощью собственной концентрации  $\text{Eu}^{3+}$  без легирования других центров окраски в однофазной решетке хозяина, хотя концентрация  $\text{Eu}^{3+}$  была до  $x = 0,4$ . Следовательно,  $\text{Ba}_{1-x}\text{Ca}_2\text{In}_6\text{O}_{12}:x\text{Eu}^{3+}$  является оптимальным выбором для производства однофазных светоизлучающих люминофоров. Что еще более важно, люминесценция  $\text{Ba}_{1-x}\text{Eu}_x\text{Ca}_2\text{In}_6\text{O}_{12}$  по-прежнему излучает белое свечение, когда концентрация ионов  $\text{Eu}^{3+}$  достигает  $x = 0,07$ . Это согласуется с точками факела, как показано на вставках на рисунке.1.10(b). Насколько нам известно, максимальные и оптимальные концентрации, излучающие белый свет, которые были зарегистрированы до сих пор, составляют только 6% и 4% в  $\text{BaY}_2\text{ZnO}_5: \text{Eu}^{3+}$  при возбуждении 395 нм соответственно. Однако максимальный и оптимальный концентрации, излучающие белый свет, составляют до  $\sim 7\%$  и  $5\%$  в люминесценции  $\text{Ba}_{1-x}\text{Eu}_x\text{Ca}_2\text{In}_6\text{O}_{12}$  при возбуждении 393 нм соответственно. Таким образом, мы считаем, что наши образцы являются более идеальным кандидатом для однофазных люминесцентных люминофоров.

Видно, что интегральные интенсивности эмиссии для  ${}^5D_J$  ( $J>0$ ) усиливаются с увеличением концентраций допинга до максимальной интенсивности, а затем уменьшаются при более высоких концентрациях на рисунке 1.10 (а). Как показано на рисунке 1.10 (а), интенсивности пиков эмиссии от перехода  ${}^5D_{3,2,1}$  уменьшаются с увеличением концентрации  $\text{Eu}^{3+}$ , тогда как интенсивности пиков излучения от перехода  ${}^5D_0 \sim {}^7F_J$  постепенно возрастают. Этот результат обусловлен закачиванием концентрации методом кросс-релаксации. Возможными каналами поперечной релаксации для депопуляции уровней  ${}^5D_1$ ,  ${}^5D_2$ ,  ${}^5D_3$  являются  ${}^5D_1 + {}^7F_0 \rightarrow {}^5D_0 + {}^7F_3$ ,  ${}^5D_2 + {}^7F_0 \rightarrow {}^5D_0 + {}^7F_5$  и  ${}^5D_2 + {}^7F_0 \rightarrow {}^5D_1 + {}^7F_4$ ,  ${}^5D_3 + {}^7F_0 \rightarrow {}^5D_1 + {}^7F_6$  и  ${}^5D_3 + {}^7F_0 \rightarrow {}^5D_2 + {}^7F_4$ , соответственно. Поскольку для уменьшения уровня  ${}^5D_0$  не существует канала поперечной релаксации, интенсивности люминесценции уровня  ${}^5D_0$  не гасят, очевидно, даже концентрация  $\text{Eu}^{3+}$  достигает 40 мол.%. Выводится, что многополюсное взаимодействие является доминирующим механизмом концентрации тушения  $\text{Eu}^{3+}$  в люминофоре  $\text{BaCa}_2\text{In}_6\text{O}_{12}$ . Кроме того, хорошо известно, что переход  ${}^5D_0 - {}^7F_2$   $\text{Eu}^{3+}$  является электрическим дипольным переходом, поэтому процесс передачи энергии должен контролироваться электрическим мультипольным взаимодействием между люминесцентными центрами согласно теории Декстера.

В зависимости от состава металлсодержащих модификаторов композиции могут избирательно поглощать или пропускать электромагнитное излучение, люминесцировать, проводить ток и т.д. Введение в композиции совокупности модификаторов формирует комплекс свойств, которые могут проявляться одновременно, либо независимо, соответственно условиям их возбуждения [16,17]. Металлы находятся в композициях в составе органических или неорганических соединений, или в элементной форме [18-20]. Синтез металлсодержащих соединений может быть проведен непосредственно в среде мономеров, которые в этом случае будут являться еще и реакционной, в случае использования коллоидного синтеза, и дисперсионной средой [21,22]. Коллоидный синтез позволяет получать оптически прозрачные полимерные

композиции, модифицированные неорганическими полупроводниками и элементными металлами. Неорганические полупроводники образуют ядра коллоидных частиц. В мономере они формируют дисперсную фазу. Размер неагрегированных частиц не превышает нескольких нм. Агрегированные формы достигают размера десятков нм [23,24]. По спектрально-люминесцентным свойствам их можно отнести к квантовым точкам (КТ), которые находятся в специфической среде оптического полимера [25]. Спектрально-люминесцентные свойства полупроводниковых квантовых точек и композиций в целом зависят от многих факторов, в частности структуры и дефектности кристаллов, наличия и вида активаторов ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  и др.), условий формирования, дефектности поверхности частиц и т.д. [20,26,27]. В настоящее время синтезу и свойствам КТ в различных матрицах посвящено достаточно много работ [20,27-33]. Не менее интересными с точки зрения люминесцентных свойств являются лантаноиды. Для них характерны узкополосные поглощение и люминесценция в видимой и ближней ИК области спектра. В отличие от полупроводниковых люминофоров, в которых реализуется рекомбинационный механизм, для соединений лантаноидов характерен молекулярный механизм люминесценции. Реализация разных возможностей по виду спектра и механизму люминесценции в одной композиции может привести к необычным спектрально-люминесцентным свойствам. В качестве модельных композиций, предоставляющих такие возможности, могут выступать композиции на основе оптических полимеров. Исследования оптических полимеров, одновременно модифицированных полупроводниками сложного состава и лантаноидами, ограничены.

### **1.3 Люминесценция материалов модифицированных сульфидом кадмия**

В качестве активного компонентом нанокompозитного материала могут выступать нанокристаллы или КТ полупроводников группы  $\text{A}_2\text{B}_6$  [34]. Интерес к полупроводниковым КТ обусловлен тем, что с уменьшением размеров до 2 нм КТ полупроводников сохраняют кристаллическую структуру.

Первоначально большинство исследований были связаны с малыми концентрациями КТ. Увеличение концентрации полупроводника ведет превращение оптических сред из толстых слоев в тонкопленочные материалы. Таким образом полученные композиты приближаются к монокристаллам сохраняя технологические преимущества матрицы. Размеры частиц, много меньшие длины волны света (2-50нм), обеспечивают нанокompозиту оптическую однородность, превращая его в оптическую среду. Высокая же концентрация полупроводниковых частиц приводит к тому, что прослойки между нанокристаллами из органической матрицы оказываются достаточно «тонкими», благодаря чему носители заряда, генерированные в полупроводниковых наночастицах, легко преодолевают их, обеспечивая гетерогенному композиту полупроводниковую однородность и превращая его в фотополупроводниковую среду.

В работе [35] были исследования нелегированные нанокристаллы CdS при комнатной температуре характеризуются широкими неэлементарными полосами видимого излучения, локализованными в области 775–477 нм (рис.1.11). В кристаллах с малой концентрацией прекурсоров (0.01–0.03%) при разложении на элементарные гауссовы составляющие выделяются шесть элементарных линий излучения, локализованных на 775нм, 689нм, 614нм, 585нм, 525.5нм и 477нм соответственно (рис. 1.11).

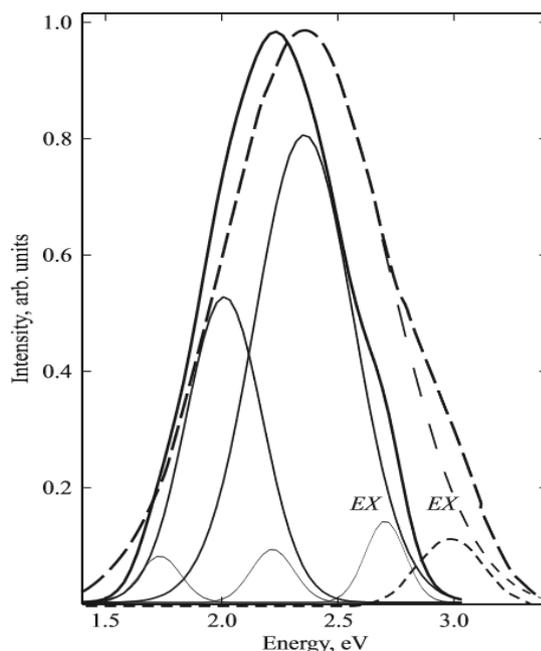


Рисунок 1.11 -Спектры фотолюминесценции нанокристаллов CdS (образец 3) (сплошная линия) и CdS : Zn (образец 6) (пунктирная линия) [35]

Исследование фотолюминесценции НК CdS проводились с помощью автоматического спектрально — люминесцентного комплекса, описание которого представлено в работе [36]. Образцы возбуждались светодиодом с длиной волны 380 нм при температурах 77 К и 300 К. В спектрах люминесценции исследуемых образцов наблюдались широкие полосы в области спектра от 450 нм до 800 нм (рис 1.12).

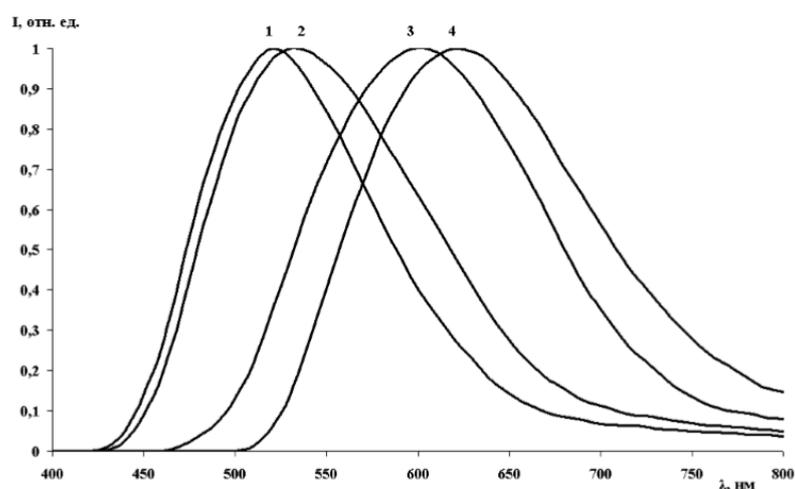


Рисунок 1.12 Нормированные спектры люминесценции КТ CdS при 77 К: образец № 1 (кривая 1), образец № 2 (2), образец № 3 (3), образец № 4 (4) [36]

Из рисунка 1.12 видно, что при уменьшении размера КТ CdS от 6 нм (кривая 4) до 4 нм (кривая 1) спектры люминесценции сдвигаются в коротковолновую область, полуширина спектров уменьшается от 160 нм до 120 нм. При уменьшении температуры от 300 К до 77 К форма спектров и положение максимумов не меняются. Интенсивность люминесценции увеличивается в 5-20 раз в зависимости от размеров КТ CdS.

В работе [37] исследованы изменение спектров люминесценции наночастиц CdS в зависимости от изменения окружения и типа стабилизирующей оболочки. На рисунке 1.13 приведены спектры люминесценции, с максимумами 410 нм и 608 нм.

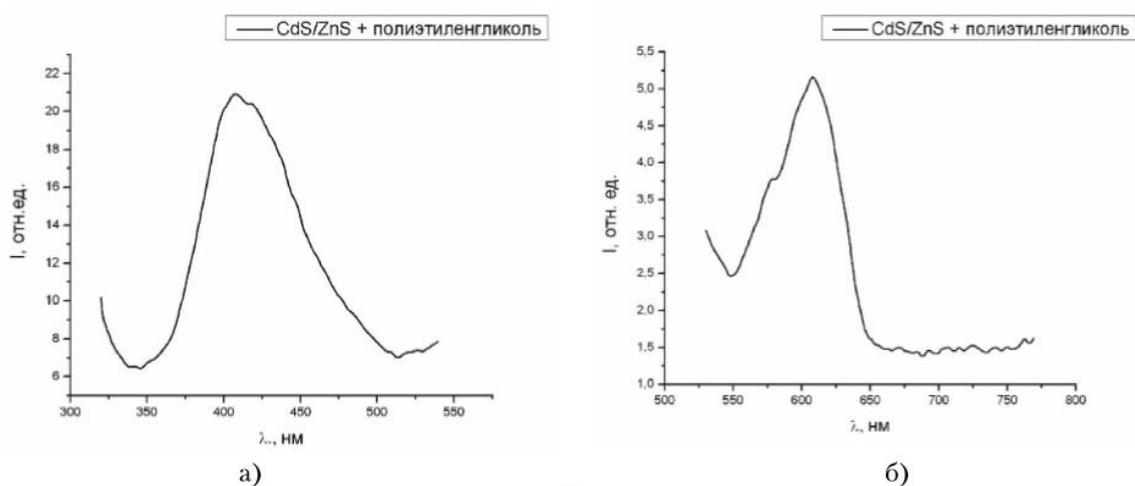


Рисунок 1.13 Спектры люминесценции наночастиц CdS/ZnS, покрытых слоем полиэтиленгликоля при возбуждении в области: а) 297 нм, б) 430 нм [37]

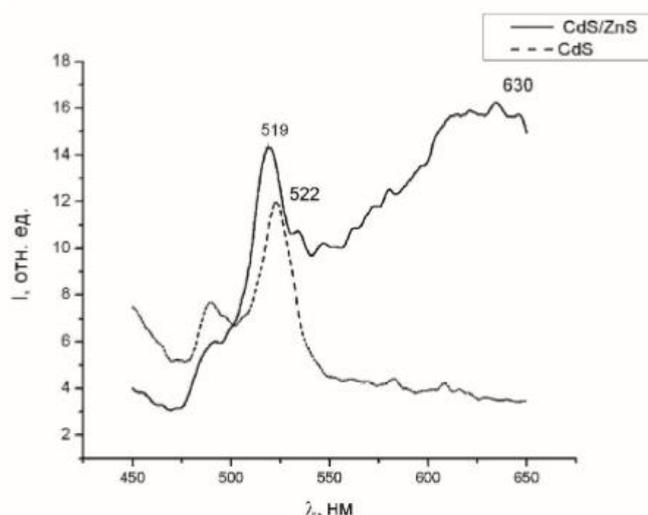


Рисунок 1.14 Спектр люминесценции наночастиц CdS и CdS/ZnS [37]

На рисунке 1.14 показаны спектры люминесценции высушенных наночастиц CdS и CdS/ZnS. В спектрах наблюдается две полосы с максимумом 519 нм при возбуждении 375 нм, и с максимумом 650 нм при возбуждении в области 475 нм. В спектрах люминесценции образца с наночастицами CdS полосы с максимумом на 650 нм не наблюдается. Можно сделать вывод, что появление полосы с максимумом на 650 нм обусловлено покрытием наночастиц CdS оболочкой ZnS [37].

#### **1.4 Постановка задачи исследования**

Несмотря на то, что количество исследований в этой области пока не много, разработка контролируемых методов введения полупроводниковых КТ и редкоземельных элементов в полимерные матрицы для создания новых наноматериалов для фотоники определяет актуальность данной тематики, лежащей в основе настоящей работы.

Актуальность работы обусловлена потребностью науки и техники в материалах с необычными спектральными свойствами, установлением влияния способа синтеза и модифицирования, а также состава и свойств реагентов на формирование композиций и понимание механизмов возникновения их свойств.

**Целью работы** явилось изучение спектрально-кинетических характеристик сульфида кадмия и лантаноидов (III) в синтезированных оптически прозрачных полимерных композициях состава ПММА:CdS:Ln(III).

Задачи исследования:

1. Измерить спектрально-кинетические характеристики фотолюминесценции композитов на основе ПММА одновременно легированных сульфидом кадмия и редкоземельными элементами.
2. Исследовать спектральные характеристики стационарной фотолюминесценции ПММА одновременно легированных сульфидом кадмия и редкоземельными элементами.

3. Измерить спектры пропускания, поглощения и возбуждения композитов на основе полиметилметакрилата, модифицированного сульфидом кадмия и редкоземельными элементами.
4. Рассчитать координаты цветности ФЛ композитов на основе ПММА одновременно легированных сульфидом кадмия и редкоземельными элементами.
5. Изучить механизмы возникновения люминесценции в исследуемых композициях.
6. Дать рекомендации относительно области применения данных материалов.

## 2 ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

### 2.1 Образцы для исследования и методика синтеза

В работе исследовали стеклообразные, оптически прозрачные полимерные композиции на основе полиметилметакрилата (ПММА), модифицированного сульфидом кадмия (CdS), CdS и европием (Eu), CdS и тербием (Tb), CdS и смесью Eu и Tb толщиной 4 мм.

Образец №1 - приготовлен на основе полиметилметакрилата (ПММА), модифицированного сульфидом кадмия (CdS) и Tb. ПММА:CdS:Tb(III)

Образец №2 - приготовлен на основе полиметилметакрилата (ПММА), модифицированного сульфидом кадмия (CdS) и Eu. ПММА:CdS:Eu(III)

Образец №3 - приготовлен на основе полиметилметакрилата (ПММА), модифицированного сульфидом кадмия (CdS). ПММА:CdS.

Образец №4 - приготовлен на основе полиметилметакрилата (ПММА), модифицированного сульфидом кадмия (CdS), Tb и Eu. ПММА:CdS:Eu(III) :Tb(III)



Рисунок 2.1 Фотографии образцов: 1— ПММА: CdS: Tb(III);  
2 —ПММА:CdS:Eu(III) ; 3—ПММА:CdS;  
4—ПММА:CdS:Eu(III):Tb(III), CdS:Eu(III):Tb(III)=1:2:2

Сульфид кадмия синтезирован взаимодействием трифторацетата кадмия с тиацетамидом (ТА,  $C_2H_5NS$ ) при нагревании в среде метилметакрилата («Merck») *in situ* в процессе синтеза композиций ПММА:CdS и

ПММА:СdS:Ln(III) [22, 37]. Концентрация трифторацетата кадмия и тиацетамида в растворах составляла 0.010 моль/л каждого. Раствор трифторацетатов кадмия готовили растворением соответствующей навески соли в метилметакрилате. В приготовленный раствор соли вводили аликвоту раствора тиацетамида в метилметакрилате. Полученный раствор нагревали при температуре 70 – 80 °С в течение 10 – 20 минут. Об образовании сульфида кадмия судили по появлению характерной для него желто-зеленой окраски раствора. Трифторацетаты европия, тербия или их смесь вводили независимо от кадмиевого модификатора после образования в растворе сульфида кадмия. Концентрация лантаноидов, одного или смеси, составляла 0,10 моль/л (полимеризуемой смеси).

Композиции ПММА:СdS и ПММА:СdS:Ln(III), где Ln(III) – Eu(III), Tb(III) или их смесь, в стеклообразном состоянии синтезированы радикальной полимеризацией метилметакрилата в блоке, аналогично [38]. Для этого в растворы вводили перекись бензоила в количестве 0,1 % от массы ММА и нагревали при температуре 60 – 70 °С до вязкого состояния. Вязкими растворами заполняли разборные стеклянные кюветы и продолжали нагревать до перехода композиции в стеклообразное состояние. Полимеризация продолжалась в течение суток. Для исследования из полимерных блоков вырезали пластины размером 2x2x0,40 см.

## **2.2 Принцип работы Спектрофотометра СФ 256-УВИ**

Принцип действия спектрофотометра основан на измерении отношения двух световых потоков: прошедшего через исследуемый образец к прошедшему через образец сравнения. Монохроматическое излучение, выходящее из монохроматора разделяется на два канала ( канал образца и канал сравнения ) с помощью зеркального модулятора и направляется в кюветное отделение, затем излучение из обоих каналов поочередно направляется на приемник излучения.

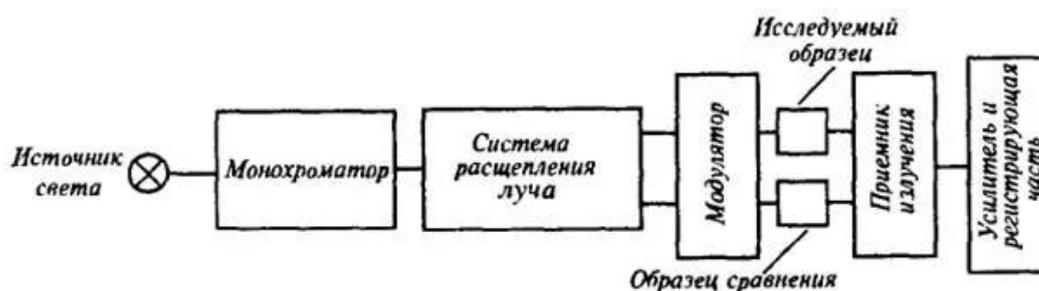


Рисунок 2.3: схема спектрофотометра

### 2.3 Принцип работы Спектрофлуориметра Cary Eclipse

Спектрофотометр Cary Eclipse использует ксеноновую лампу-вспышку для превосходной чувствительности, высокого отношения сигнал-шум и быстрой кинетики. Он измеряет излучение света от образцов в четырех режимах. Используя технологию ксеноновых ламп, он регистрирует данные каждые 12,5 мс и сканирует со скоростью 24 000 нм / мин без сдвига пиков. Cary Eclipse - единственный спектрофотометр с помехоустойчивостью в помещении. Благодаря дополнительному считывающему устройству для микропланшетов, он предлагает сканирование всей длины волны 384 образцов. Пакет BioMelt предоставляет возможность исследования термической денатурации.

Принцип работы спектрофлуориметра основан на выделении узких участков спектра и спектральном сканировании как возбуждающего, так и испускаемого, излучения посредством монохроматоров и последующей автоматической регистрацией, измерением и обработкой спектров возбуждения и люминесценция.

В режиме спектрофотометра в основу работы положен принцип измерения на определенной длине волны отношения светового потока, прошедшего через исследуемый образец, к потоку световому в отсутствии исследуемого образца.

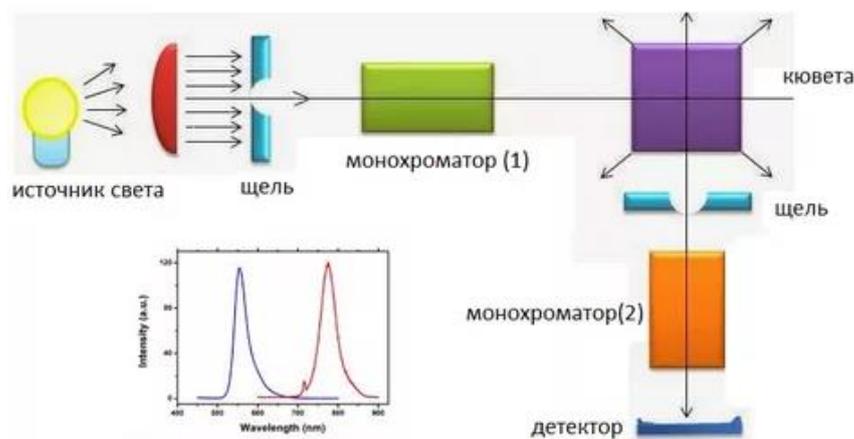


Рисунок 2.4: схема спектрофлуориметра

## 2.4 Метод импульсной люминесцентной спектроскопии с наносекундным временным разрешением

В качестве метода исследования полимерных композитных материалов применялась время-разрешенная фотолюминесцентная (ФЛ) спектроскопия. В качестве источника возбуждения использовался азотный лазер с  $\lambda = 337,1$  нм, (частота 10 Гц, длительность импульса 10 нс). Измерительная система включала дифракционный монохроматор МДР-23, ФЭУ-84 и осциллограф Tektronix DPO 3034, компьютер. Временное разрешение системы регистрации  $\sim 15$  нс.

Эта методика имеет целый ряд преимуществ по сравнению со стационарными методиками измерения, благодаря использованию импульсных лазеров, а также возможности получения дополнительной информации о центрах люминесценции из кинетик затухания люминесценции. Вид спектра со временем после окончания импульса возбуждения также зависят от технологии изготовления образцов.

На рисунке 2.5 приведена блок-схема импульсного оптического спектрометра.

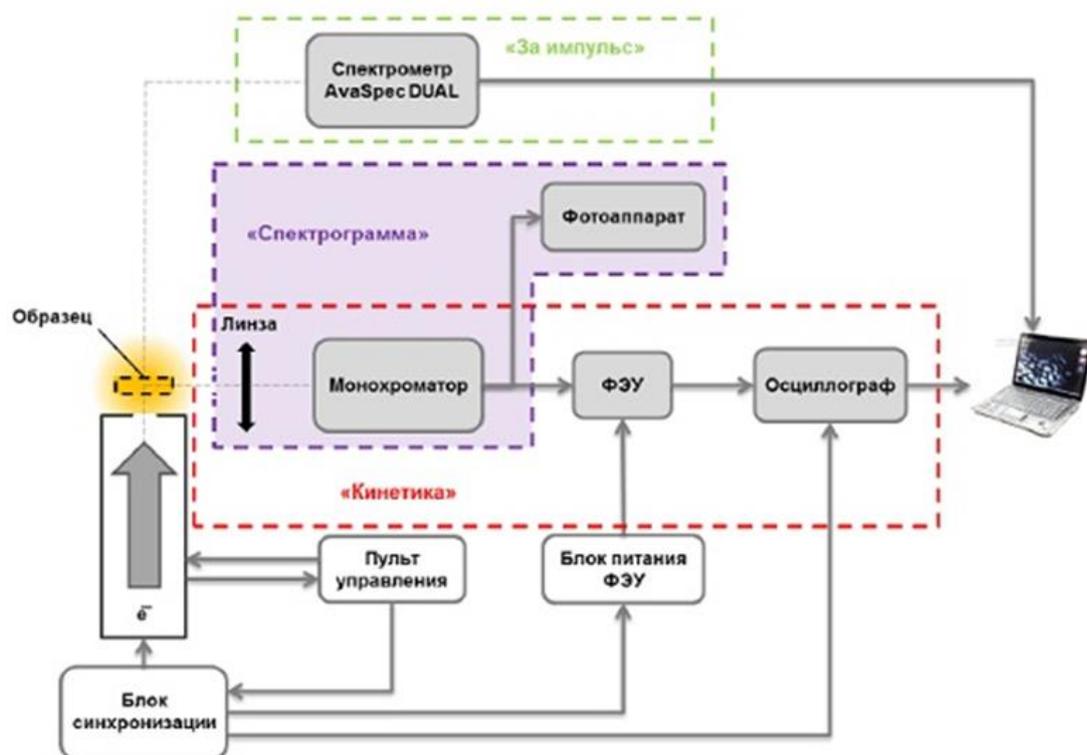


Рис. 2.5 Блок-схема экспериментальной установки.

Технические возможности спектрометра приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Технические характеристики импульсного спектрометра на базе азотного лазера NL-100

Спектральная область измерений	300–850нм
Временное разрешение	15нс
Рабочая длина волны лазера	337,1 нм
Частота	10 Гц
Длительность импульса	10 нс
Плотность мощности	$\sim 10^4$ Вт/см <sup>2</sup>

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4ВМ72	У Маохуа

<b>Школа</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>Материаловедение</b>
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Оптотехника

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

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</li> <li>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</li> <li>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</li> </ol>	<p><i>Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; наблюдение.</i></p>
---	--

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</li> <li>2. Разработка устава научно-технического проекта</li> <li>3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</li> <li>4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</li> </ol>	<p><i>Определение потенциального потребителя результатов исследования</i></p> <p><i>SWOT-анализ, определение возможных альтернатив проведения научных исследований</i></p> <p><i>Планирование этапов работы, определение календарного графика и трудоемкости работы, расчет бюджета</i></p> <p><i>Оценка сравнительной эффективности проекта</i></p>
---	--

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. «Портрет» потребителя результатов НТИ</li> <li>2. Сегментирование рынка</li> <li>3. Оценка конкурентоспособности технических решений</li> <li>4. Матрица SWOT</li> <li>5. График проведения и бюджет НТИ</li> <li>6. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ</li> <li>7. Потенциальные риски</li> </ol>
--

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Ассистент ОСГН	Жаворонок А.В.	—		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
4ВМ72	У Маохуа		

## 4. Фининсовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

### 4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Объектом исследования настоящей работы являются люминофорных композитов для вторичной оптики светодиодов. Исследовали импульсную фотолюминесценцию композитов, выращенных различными производителями. Потенциальным потребителем результатов исследования является НИИ ПП г. Томск.

#### 4.1.1 Технология QuaD

Технология QuaD(QUalityADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект.

Показатели оценки качества и перспективности новой разработки подбираются исходя из выбранного объекта исследования с учетом его технических и экономических особенностей разработки, создания и коммерциализации.

В соответствии с технологией QuaD каждый показатель оценивается экспертным путем по стобальной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)
1	2	3	4	5	6
<b>Показатели оценки качества разработки</b>					
1. Надежность	20%	100	100	1	20

2. Унифицированность	5%	50	100	0,5	2,5
3. Уровень материалоемкости разработки	10%	20	100	0,2	2
4. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	10%	70	100	0,7	7
5. Ремонтпригодность	10%	90	100	0,9	9
<b>Показатели оценки коммерческого потенциала разработки</b>					
6. Конкурентоспособность продукта	10%	80	100	0,8	8
7. Уровень проникновения на рынок	10%	50	100	0,5	8
8. Перспективность рынка	10%	50	100	0,5	5
9. Цена	10%	30	100	0,3	3
10. Финансовая эффективность научной разработки	5%	70	100	0,7	3,5
<b>Итого</b>	<b>100%</b>	<b>610</b>	<b>1000</b>	<b>6,1</b>	<b>68</b>

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{\text{ср}} = \sum V_i \cdot B_i, \quad (1)$$

где  $P_{\text{ср}}$  – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

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

$B_i$  – средневзвешенное значение  $i$ -го показателя.

Из проведенных расчетов можно сделать вывод, что перспективность проделанного исследования выше среднего.

#### 4.1.2 SWOT-анализ

**SWOT** – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT- анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Для того что бы найти сильные и слабые стороны, плазменного метода переработки и методов-конкурентов проведем SWOT–анализ.

Таблица 4.2 – Матрица SWOT

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b>	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b>
	С1. Наличие бюджетного финансирования. С2. Наличие опытного руководителя С3. Использование современного оборудования С4. Наличие современного программного продукта С5. Актуальность проекта	Сл1. Развитие новых технологий Сл2. Высокая стоимость оборудования Сл3. Отсутствие квалифицированного персонала.
В1. Сотрудничество с зарубежными профессорами в этой области В2. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В3. Появление дополнительного спроса на новый продукт В4.Повышение стоимости	- Возможно, создать партнерские отношения с рядом ведущих вузов для совместных исследования в области лазерной обработки деталей; -При наличии вышеперечисленных достоинств мы имеем большой потенциал для	-Снижение цен на лазерные технологии; - Сотрудничество с зарубежными профессорами и повышение квалификации персонала.

конкурентных разработок.	получения деталей с высокими эксплуатационными свойствами.	
У1. Появление новых технологий У2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства . У3. Введение дополнительных государственных требований и сертификации программы.	- Повышение квалификации персонала т.к. тема актуальна и есть современное оборудование.	- Расширение области применения за счет развития новых технологий.

Интерактивные матрицы проекта представлены в таблицах 4.3, 4.4, 4.5, 4.6.

Таблица 4.3 – Интерактивная матрица возможностей и сильных сторон проекта

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	-	+	+	+	+
	B2	+	+	+	+	+
	B3	+	+	+	+	+
	B4	0	-	+	+	+

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильные сторон и возможности: B1C2C3C4C5, B2B4C1C2C3C4C5, B3C1C2C3C4C5, B3C3C4C5.

Таблица 4.4 – Интерактивная матрица возможностей и слабых сторон проекта

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	-	-	-
	B2	+	-	+

	B3	+	0	-
	B4	+	0	-

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и возможности: B2Сл1Сл3, B3B4Сл1.

Таблица 4.5 – Интерактивная матрица угроз и сильных сторон проекта

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	-	-	-	+	+
	У2	+	-	-	-	-
	У3	-	-	-	+	-

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильных сторон и угроз: У1С4С5, У4С3С4.

Таблица 4.6 – Интерактивная матрица угроз и слабых сторон проекта

Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	+	+	+
	У2	-	+	-
	У3	-	-	-

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и угроз: У1Сл1Сл2Сл3.

## 4.2 Инициация проекта

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

*Устав проекта* документирует бизнес-потребности, текущее понимание потребностей заказчика проекта, а также новый продукт, услугу или результат, который планируется создать.

Устав научного проекта магистерской работы имеет следующую структуру:

1. *Цели и результат проекта.* В данном разделе приведена информация о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

В таблице 4.7 приведена информация о заинтересованных сторонах проекта.

Таблица 4.7 – Заинтересованные стороны проекта

<b>Заинтересованные стороны проекта</b>	<b>Ожидания заинтересованных сторон</b>
Пользователь	Исследование спектрально-кинетические характеристики композиций ПММА / CdS:Ln(III)
Научный руководитель, студент	Готовая магистерская диссертация
Предприятия	Композит на основе полимер+ CdS+ Ln
Государство	Применение новых материалов ПММА:CdS:Ln
Разработчик	Получение прибыли со своего продукта
световые технологии	Качественные образцы

В таблице 4.8 представлена информация о иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 4.8 – Цели и результат проекта

<b>Цели проекта:</b>	Исследование спектрально-кинетических характеристик композиций полиметилметакрилата / CdS:Ln(III)
<b>Ожидаемые результаты проекта:</b>	Изучено влияние технологии изготовления полимерных композитов на фотолюминесценцию системы композиций полиметилметакрилата / CdS:Ln(III). В результате исследований были определены: времени затухания и координаты цветности композиций ПММА/CdS:Ln
<b>Требования к результату проекта:</b>	<b>Требование:</b>
	Вид полимера должно влиять на положение максимума и кинетику затухания ФЛ композитов.

	Полимеризация обязательно должна привести к смещению максимума излучения в длинноволновую область, данный эффект по видимому связан с агломерацией КТ в композите.
--	--

2. *Организационная структура проекта.* Состав рабочей группы научно-исследовательской работы представлен в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Рабочая группа научно-исследовательской работы

<b>ФИО, основное место работы, должность</b>	<b>Роль в проекте</b>	<b>Функции</b>
Вильчинская С.С., НИ ТПУ ИШНПТ отделение материаловедение доцент	Руководитель НИР (Научный руководитель)	Предоставление заданий; консультации; помощь при проведении экспериментальных исследованиях; обсуждение результатов.
У Маохуа., НИ ТПУ магистрант группы 4ВМ72	Исполнитель НИР (Магистрант)	Проведение экспериментов, обработка результатов, написание пояснительной записки ВКР

3. *Ограничения и допущения проекта.* Ограничения проекта приведены в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Ограничения проекта

<b>Фактор</b>	<b>Ограничения/ допущения</b>
4.1. Сроки проекта:	
4.1.1. Дата утверждения плана управления проектом	03.02.19
4.1.2. Дата завершения проекта	02.06.19
4.3. Прочие ограничения и допущения	Ограниченное количество образцов для исследования

### 4.3. Планирование управления научно-техническим проектом

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

#### 4.3.1 Иерархическая структура работ проекта

*Иерархическая структура работ (ИСР)* – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта. На рис. № и рис. № представлены шаблон иерархической структуры работ по проекты и пример ИСР по проекту разработки программного продукта.



Рис.4.1. иерархической структуры работ по проекту

#### 4.3.2. Контрольные события проекта

В рамках данного раздела необходимо определить ключевые события проекта, определить их даты и результаты, которые должны быть получены по

состоянию на эти даты. Эту информацию необходимо свести в таблицу(табл. 4.11).

Таблица 4.11 Контрольные события проекта

Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
Составление и утверждение темы диссертации	3.02.19	Приказ об утверждении темы диссертации
Изучение литературы по теме	11.03.19	Обзор литературы(Применение и свойства полупроводниковых нанокompозитов на основе полупроводниковых квантовых точек CdSe/CdS)
Изучение экспериментальной методики	25.03.19	Описание методики эксперимента по исследованию
Измерение спектрально-кинетических характеристик композитов	15.04.19	Спектрально-кинетические характеристики
Анализ результатов	29.04.19	Готовые спектральные материалы, и их описание

#### 4.3.3 План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный план проекта. Линейный график представлен в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Календарный план проекта

Код работы (из ИСР)	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1.1	Составление и утверждение темы диссертации	3	1.02.19	3.02.19	Руководитель
1.2	Анализ актуальности темы	2	4.02.19	5.02.19	Рук.-студ.
2.1	Поиск и изучение материала по теме	3	8.02.19	10.02.19	Студ.-рук.
2.2	Выбор направления исследования	2	11.02.16	12.02.19	Руководитель
2.3	Календарное планирование работ	1	15.02.19	15.02.19	Руководитель
3.1	Изучение литературы по теме	18	16.02.19	11.03.19	Студент
3.2	Подбор нормативных документов	5	14.03.19	18.03.19	Студ.-рук.
3.3	Изучение экспериментальной	5	21.03.19	25.03.19	Студент

	методики				
4.1	Измерение спектрально-кинетических характеристик композитов	15	28.03.19	15.04.19	Студ.-рук.
4.2	Исследование спектральных характеристик системы «синий светодиодлюминофор»	5	18.04.19	22.04.19	Студ.-рук.
5.1	Анализ результатов	5	25.04.19	29.04.19	Студ.-рук.
5.2	Заключение	3	4.05.19	6.05.19	Студент
<i>Итого:</i>		67			

#### 4.3.4 Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. График приведен в таблице 4.13, с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике выделены различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 4.13 – Календарный план-график проведения ВКР по теме

Код работы (из ИСР)	Вид работ	Исполнители	Т <sub>к</sub> , ч.	Продолжительность выполнения работ																		
				Янв.			Февр.			Март			Апр.			Май.			Июнь			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1			
1	Постановка целей, задач	Р, С	2	■																		
2	Описание требований	Р	3	■																		
3	Подбор и изучения материалов	С	20		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
4	Анализ материалов	Р	2							■	■											
5	Изучение литературы	С	40							■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
6	Проектирование	С	20																	■		



Таблица 4.14 – Материальные затраты

Наименование	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
ПММА:СdS	1	200	200
ПММА:СdS:Eu	1	250	250
ПММА:СdS:Tb	1	250	250
ПММА:СdS:Eu:Tb	1	250	250
Всего за материалы			950
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)			225
Итого по статье $C_m$			1175

#### 4.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стенов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. В данной работе используется оборудование, приобретенное ранее. Амортизационные отчисления за период использования оборудования рассчитываются по формуле:

$$C_A = \Phi_n \cdot H_A \cdot T_{об} / F_\phi, \quad (4.2)$$

где  $\Phi_n$  стоимость оборудования, руб.

$H_A$ - норма амортизации, %.

$T_{об}$ - продолжительность использования оборудования за время проведения НИР,  $T_{об}=20*8=160$  ч.;

$F_\phi$  - годовой действительный фонд рабочего времени.

Расчет затрат на оборудование для научных работ сведен в таблицу 4.15.

Таблица 4.15. Расчет затрат на спецоборудование для научных работ

№	Наименование оборудования	$\Phi_n$ , руб.
1	Фотоэлектронный умножитель ФЭУ-84	15000
2	Спектрофотометр СФ 256-УВИ	20000
3	Carry Eclipse Fluorescence	18000
4	Остальная аппаратура	10000
итого		63000

#### 4.4.3 Основная заработная плата

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в табл.4.16

Таблица 4.16 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., руб	Всего заработная плата по тарифу (окладам), руб.
1	1.1Составление и утверждение темы 1.2Анализ актуальности темы 1.3Календарное планирование работ 1.4Выбор направления исследования	Руководитель	13	16000	16000
2	2.1Изучение литературы по теме 2.2 Изучение экспериментальной установки 2.3Исследования спектральных характеристик 2.4Анализ результатов	Магистр	38	2450	2450
Итого:					36900

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (4.3)$$

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

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб} \quad (4.4)$$

где  $T_{\text{раб}}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн. (таблица 4.16);

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

Значит, для руководителя:

$$Z_{\text{осн}} = 16000 * 1,3 = 20800 \text{ рублей}$$

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = (Z_{\text{м}} \cdot M) / F_{\text{д}} \quad (4.5)$$

где  $Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб (в качестве месячного оклада магистра выступает стипендия, которая составляет 2450 руб);

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

при отпуске в 45 раб. дней  $M = 10,4$  месяца, 6 - дневная неделя;

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала (в рабочих днях) (табл 4.16). Тогда,

Для руководителя:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{20800 * 10,4}{254} = 851,6 \text{ рублей}$$

Для дипломника:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{2450 * 10,4}{217} = 117,41 \text{ рублей}$$

Таблица 4.17 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистр
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	82
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	45	52
- невыходы по болезни	–	–
Действительный годовой фонд рабочего времени	254	217

Таблица 4.18 – Результаты расчета основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{б}}$ , руб.	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$ , руб	$Z_{\text{дн}}$ , руб.	$T_{\text{р}}$ , раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$ , руб.
Руководитель	16000	1.3	20800	851,6	48	20800

Магистр	2450		2450	117,41	76	2450
Итого по статье $Z_{\text{осн}}$ :						23250

#### 4.4.4 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

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

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} * Z_{\text{осн}} \quad (4.6)$$

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

$k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной зарплаты ( $k_{\text{доп}} = 0,1$ );

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

Для руководителя:

$$Z_{\text{доп}} = 20800 * 0,1 = 2080 \text{ рублей}$$

В таблице 4.19 приведен расчёт основной и дополнительной заработной платы

Таблица 4.19 – Заработная плата исполнителей ВКР, руб

Заработная плата	Руководитель	Магистр
Основная зарплата	20800	2450
Дополнительная зарплата	2080	–
Зарплата исполнителя	22880	2450
Итого		25330

#### 4.4.5 Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 * (20800 + 2080) = 6864 \text{ руб.} \quad (4.7)$$

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

#### 4.4.6 Накладные расходы

Накладные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (4.8)$$

где  $k_{\text{накл}}$  – коэффициент накладных расходов, который равен 90% (0.9).

$$C_{\text{накл}} = 0,9*(20800 + 2080)=20592 \text{ руб.}$$

#### 4.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы 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.

Таблица 4.20 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НИИ	1175
2. Затраты на спецоборудование	63000
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	25330
4. Затраты по дополнительной оплате	2080
5. Отчисление на специальные нужды	6864
6. Прочие накладные	20592
7. Бюджет затрат НИИ	119041

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы 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.

В результате было получено, что бюджет затрат НИИ составит 119041 руб. При этом затраты у конкурентов составляют 136971 рублей, из чего можно сделать вывод что полученный продукт будет экономичней, чем у конкурентов.

Аналоговые данные были взяты у компании «световые технологии».

## 4.5 Организационная структура проекта

В практике используется несколько базовых вариантов организационных структур: функциональная, проектная, матричная.

Для выбора наиболее подходящей организационной структуры можно использовать табл. 4.21.

Таблица 4.21 – Выбор организационной структуры научного проекта

Критерии выбора	Функциональная	Матричная	Проектная
Степень неопределенности условий реализации проекта	Низкая	Высокая	Высокая
Технология проекта	Стандартная	Сложная	Новая
Сложность проекта	Низкая	Средняя	Высокая
Взаимозависимость между отдельными частями проекта	Низкая	Средняя	Высокая
Критичность фактора времени (обязательства по срокам завершения работ)	Низкая	Средняя	Высокая
Взаимосвязь и взаимозависимость проекта от организаций более высокого уровня	Высокая	Средняя	Низкая

В данном случае выбор лежит к проектной структуре проекта из-за особенностей разработки. Составляющая проекта является модульные системы, работающие в постоянном взаимодействии с другими модулями. Также основной причиной выбора проектной структуры является то, что технология проекта является новой, и имеются ограниченные сроки реализации.

## 4.6 План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта. Пример плана управления коммуникациями приведен в табл. 4.22.

Таблица 4.22 – Пример плана управления коммуникациями

№	Какая	Кто	Кому	Когда
---	-------	-----	------	-------

п/п	информация передается	передает информацию	передается информация	передает информацию
1.	Статус проекта	Руководитель проекта	Представителю заказчика	Ежеквартально (первая декада квартала)
2.	Обмен информацией о текущем состоянии проекта	Исполнитель проекта	Участникам проекта	Еженедельно (пятница)
3.	Документы и информация по проекту	Ответственное лицо по направлению	Руководителю проекта	Не позже сроков графиков и к. точек
4.	О выполнении контрольной точки	Исполнитель проекта	Руководителю проекта	Не позже дня контрольного события по плану управления

#### 4.7 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты. Информацию по данному разделу необходимо свести в таблицу (табл. 4.23).

Таблица 4.23– Реестр рисков

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска *	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Потеря актуальности темы	Появление новых идей	2	5	средний	Применение в нанотехнологии	Ежегодно появление новых наноматериалов
2	Маленькие образцы	Увеличение толщины образца позволяет получить хорошие данные	4	5	высокий	Увеличение толщины образцов	С течением времени создание новых образцов
3	Недостоверность полученных результатов	Низкая точность выводов из эксперимента	2	4	средний	Тщательное проведение экспериментальных работ	Неправильное использование используемого оборудования

4	Невыполнение исследований в срок	Наказание за невыполнение контрактных обязательств	2	1	низкий	Привлечение дополнительных рабочих сил	Систематические остановки экспериментальных исследований
---	----------------------------------	--	---	---	--------	--	--

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

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} \quad (4.9)$$

где  $I_{\Phi}^p$  - интегральный финансовый показатель разработки;

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

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

Так как разработка имеет одно исполнение то:

$$I_{\Phi}^p = \frac{319162}{330625} = 0.96$$

Для аналогов соответственно:

$$I_{\Phi}^{a1} = \frac{330625}{330625} = 1$$

$$I_{\Phi}^{a2} = \frac{325500}{330625} = 0,98$$

$I_{\Phi}^{a1}$  – соответствует газофазному насыщению водород;

$I_{\Phi}^{a2}$  – соответствует плазменно – имерсионной имплантации водорода.

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в разгах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разгах (значение меньше единицы, но больше нуля).

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

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i \cdot b_i^m \tag{4.10}$$

$$I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i \cdot b_i^p \tag{4.11}$$

где  $I_m^a$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для аналога;

$I_m^p$  – интегральный показатель ресурсоэффективности разработки;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го параметра;

$b_i^a$  – бальная оценка  $i$ -го параметра для аналога и разработки,

устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы, пример которой приведен ниже.

Таблица 4.24 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	ПО	Весовой коэффициент парамет	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
----------	----	-----------------------------	----------------	----------	----------

	ра			
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,25	4	3	3
2. Удобство в эксплуатации	0,3	4	3	5
3. Энергосбережение	0,15	3	4	2
4. Надежность	0,2	5	4	3
5. Материалоемкость	0,1	5	4	4
ИТОГО	1	21	18	17

$$I_m^p = 0.25 \cdot 4 + 0.3 \cdot 4 + 0.15 \cdot 3 + 0.2 \cdot 5 + 0.1 \cdot 5 = 4.15$$

$$I_1^a = 0.25 \cdot 3 + 0.3 \cdot 3 + 0.15 \cdot 4 + 0.2 \cdot 4 + 0.1 \cdot 4 = 3.45$$

$$I_2^a = 0.25 \cdot 3 + 0.3 \cdot 5 + 0.15 \cdot 2 + 0.2 \cdot 3 + 0.1 \cdot 4 = 3.55$$

Интегральный показатель эффективности разработки  $I_{\text{финр}}^p$  и аналога  $I_{\text{финр}}^a$  определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\text{ф}}^p}; I_{\text{финр}}^a = \frac{I_m^a}{I_{\text{ф}}^a} \quad (4.12)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^a} \quad (4.13)$$

где  $\mathcal{E}_{\text{ср}}$  – сравнительная эффективность проекта;  $I_{m^p}^p$  – интегральный показатель разработки;  $I_{m^a}^a$  – интегральный технико-экономический показатель аналога.

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{4,15}{0,91} = 4.56$$

$$I_{\text{финр}}^{a1} = \frac{3,45}{1} = 3.45$$

$$I_{\text{финр}}^{a2} = \frac{3.55}{0.93} = 3.81$$

$$\mathcal{E}_{cp1} = \frac{4,56}{3,45} = 1.32$$

$$\mathcal{E}_{cp1} = \frac{4.56}{3.81} = 1,2$$

Таблица 4.25– Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Аналог 1	Аналог 2	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0.93	0,91
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3.45	3.55	4.15
3	Интегральный показатель эффективности	3.45	3.81	4.5+6
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1.32	1.2	1

#### 4.9 Оценка абсолютной эффективности исследования

В основе проектного подхода к инвестиционной деятельности предприятия лежит принцип денежных потоков (cash flow). Особенностью является его прогнозный и долгосрочный характер, поэтому в применяемом подходе к анализу учитываются фактор времени и фактор риска. Для оценки общей экономической эффективности инноваций согласно «Методическим рекомендациям по оценке эффективности инвестиционных проектов...» в качестве основных показателей рекомендуются:

- чистый доход;
- чистый дисконтированный доход;
- внутренняя норма доходности;
- потребность в дополнительном финансировании;
- срок окупаемости;

- индексы доходности затрат и инвестиций и др.

$$K_d = \frac{1}{(1 + E)^t}$$

Таблица 4.26– План денежных потоков

№	Наименование показателей	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1.	Выручка от реализации, тыс.руб.	0	89,184	89,184	89,184	89,184
2.	Итого приток, тыс.руб.	0	89,184	89,184	89,184	89,184
3.	Инвестиционные издержки, тыс.руб.	-66,296	0	0	0	0
4.	Операционные затраты, тыс. руб. С+Ам+ФОТ	0	24,827	24,827	24,827	24,827
5.	Налогооблагаемая прибыль		64,357	64,357	64,357	64,357
6.	Налоги, тыс. руб Выр-опер=донал.приб*20%	0	12,252	12,252	12,252	12,252
7.	Итого отток, тыс.руб. Опер.затр.+налоги	-66,296	37,079	37,079	37,079	37,079
8.	Чистый денежный поток, тыс. руб. ЧДП=Пчист+Ам Пчист=Пдонал.-налог	-66,296	52,105	52,105	52,105	52,105
9.	Коэффициент дисконтирования (приведения при $i = 20\%$ )	1,0	0,733	0,594	0,478	0,382
10.	Дисконтированный чистый денежный поток, тыс.руб. (с8*с9)	-66,296	38,192	30,95	24,90	19,90
11.	То же нарастающим итогом, тыс.руб. (NPV=58,976 тыс.руб.)	-66,296	-28,104	3,187	28,087	47,987

Таким образом, чистая текущая стоимость по проекту в целом составляет 47,987 тыс. рублей, что позволяет его эффективности.

#### 4.9.1 Дисконтированный срок окупаемости

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

Этот недостаток устраняется путем определения дисконтированного срока окупаемости.

Рассчитывается данный показатель примерно по той же методике, что и простой срок окупаемости, с той лишь разницей, что последний не учитывает фактор времени.

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока (см. табл. 4.27).

Таблица 4.27 – Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателя	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1.	Дисконтированный чистый денежный поток ( $i=0,20$ )	-66,296	38,192	30,95	24,90	19,90
2.	То же нарастающим итогом	-66,296	-28,104	3,187	28,087	47,987
3.	Дисконтированный срок окупаемости	$PP_{дск} = 1 + 28,104/30,95 = 0,94$ года				

### Выводы

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет судить о приемлемости существующего варианта решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

В ходе проведения анализа показателей эффективности инвестиций была получена чистая текущая стоимость (NPV) – 47,987тыс. руб. Таким образом, данный инвестиционный проект можно считать выгодным, NPV является положительной величиной. Дисконтированный срок окупаемости проекта ( $PP_{дск}$ ) составляет 0.92 года.

### Заключение по разделу

Потенциальными потребителями разработки могут являться научные лаборатории, так и медицинские центры, которые занимаются наличием распознающих молекул на поверхности нанокристаллов позволяющие им реализовать адресное связывание: нужный объект (например, опухолевый) окрашивается заданным цветом. Целевым рынком являются компании, которые занимающиеся производством и продажей новых материалов.

Из карты сегментирования можно сделать вывод, что предложенный алгоритм по исследованию нанокomпозитов с внедрением квантовых точек слабо развита. Поэтому данное направление имеет большие перспективы.

Благодаря SWOT-анализу, можно сделать вывод о том, что сильной стороной проекта является его простота и экономичность, что позволит уменьшить влияние угроз на реализацию проекта.