

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
ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕГРАДАЦИИ КОМПОЗИТНЫХ ЛЮМИНОФОРОВ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

УДК 535.3

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4В21	Нгуен Ван Ву		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Полисадова Е.Ф.	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Грахова Е. А.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	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., доцент		

Оглавление	
Введение	4
Глава 1. Люминесценция и свойства люминофоров.....	7
1.1 Люминесценция. Основные понятия.....	7
1.1.1 Спектры поглощения и возбуждения.....	7
1.1.2 Выход излучения, эффективность и яркость свечения светодиодов..	10
1.1.3 Разгорание и затухание люминесценции.....	12
1.1.4 Спектры люминесценции при фотовозбуждении и под воздействием электронным пучком.....	14
1.2 Светодиоды белого свечения на основе люминофоров.....	20
1.2.1 Люминофоры	20
1.2.2 Светодиоды белого свечения на основе люминофоров.....	22
1.2.3 Пространственное расположение люминофора.....	26
Глава 2. Объект, метод исследований и описание экспериментальных установок	30
2.1 Объект исследования	30
2.2 Метод исследований и описание экспериментальных установок	30
2.2.1 Методика импульсной катодолюминесцентной спектрометрии с наносекундным временным разрешением	30
2.2.2 Методика регистрации спектров импульсной катодолюминесценции на базе оптоволоконного спектрометра AvaSpec..	31
Глава 3. Исследование люминесцентных свойств люминофоров при облучении электронными пучками.....	33
3.1 Исследование структуры и оптических свойств образца	33

3.2	Исследование интегральных спектров свечения	34
3.3	Исследование цветовых характеристик свечения	36
3.4	Исследование спектров свечения с временным разрешением	37
3.5	Исследование кинетики затухания люминесценции.....	38
3.6	Исследование влияния облучения на люминесцентные свойства композитного люминофора.....	39
3.7	Исследование влияния плотности энергии возбуждения на кинетику затухания люминесценции	41
3.8	Исследование влияния температуры на кинетику затухания люминесценции	44
Глава 4.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	47
4.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований	48
4.1.1	Оценка научного уровня исследования	48
4.1.2	SWOT-анализ исследования	49
4.2	Организация и планирование научно-исследовательских работ	50
4.2.1	Линейное планирование	51
4.3	Бюджет НИИ.....	54
4.3.1	Расчет материальных затрат	54
4.3.2	Затраты на оплату труда.....	55
4.3.3	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	56
4.3.4	Накладные расходы.....	57
4.4	Определение ресурсоэффективности исследования	58

Глава 5. Социальная ответственность	61
5.1 Анализ вредных факторов на рабочем месте	61
5.1.1 Санитарные требования к помещению лаборатории	62
5.1.2 Микроклимат	62
5.1.3 Уровень шума	63
5.1.4 Освещение.....	64
5.2 Анализ опасных факторов на рабочем месте	66
5.2.1 Электробезопасность	66
5.2.2 Расчет защитного заземления	68
5.2.3 Инструкции	70
5.3 Охрана окружающей среды	71
5.4 Защита в чрезвычайных ситуациях.....	72
Заключение.....	75
Список используемой литературы	76

Введение

В течение последних десятилетий технический прогресс в области изготовления и разработки светодиодов быстро развивается. Современные светодиоды в настоящее время характеризуются отличными оптическими характеристиками: прочностью, миниатюрностью, надежностью и высоким квантовым выходом излучения. В отличие от других источников света у светодиодов высокий к.п.д, процесс преобразования электрической энергии в световую имеет к.п.д близкий к единице. Очень важным и имеющим большое значение для человека является создание светодиодов дневного света. Это относится в первую очередь к промышленному и уличному освещению. Светодиоды излучают практически монохроматический свет. Однако на их основе можно создать источники белого света. Самые распространенные источники белого света, применяемые в системах освещения, создаются на основе полупроводниковых светодиодов, излучение которых полностью или частично используется для оптического возбуждения одного или нескольких люминофоров. В процессе работы светодиодов, чип внутри светодиода излучает коротковолновое излучение, люминофор поглощает энергию от этого излучения и переизлучает эту энергию в длинноволновой области спектра. Можно получить максимум излучения от светодиода, в его конструкции использован люминофор в случае, когда длина волны максимума поглощения люминофора совпадает с пиковой длиной волны излучения чипа. Таким образом, люминофор играет важную роль преобразователя энергии излучения в белых светодиодах и эффективность этого процесса во многом определяет характеристики светодиода. Немаловажное значение для эксплуатационных свойств светодиода имеет устойчивость люминофора к воздействию «жесткого» излучения, температуры.

Целью дипломной работы является исследование влияния облучения и температуры на спектрально-кинетические характеристики люминесценции композитных люминофоров.

Для достижения цели работы необходимо было решить следующие экспериментальные задачи:

- Исследовать спектрально-кинетические характеристики люминесценции композитного люминофора.
- Исследовать спектрально-кинетические характеристики люминесценции композитного люминофора после облучения электронным пучком высокой мощности.
- Исследовать спектрально-кинетические характеристики люминесценции композитного люминофора при высоких температурах.

Глава 1. Люминесценция и свойства люминофоров

1.1 Люминесценция. Основные понятия

Излучение называется люминесценцией, избыточное над тепловым излучением тела, в котором это излучение имеет длительность, превышающий период световых колебаний.

В первой части этого определения, Видеман подчеркивал отличие свечения нагретых тел от свечения – свечение люминофоров как холодный свет, происходит без нагревания. Вторая часть определения, данная Вавиловым, подчеркивает отличие люминесценции от излучения заряженных частиц, свечения при рассеянии и отражении света, и тормозного излучения Вавилова – Черенкова. Люминесценция продолжается после возбуждения в течение некоторого времени, а все указанные виды свечения после прекращения возбуждения исчезают сразу[4].

1.1.1 Спектры поглощения и возбуждения

Важной характеристикой люминофоров являются спектры поглощения, которые отражают зависимость величины энергии поглощения от длины волны света падающего на люминофор.

Поглощение света может быть как центр люминесценции (примесное поглощение), так и решетка основы (в этом случае полоса поглощения называется фундаментальной или основной). При этом спектральная область, в которой поглощение происходит, определяется свойствами активатора и кристаллической решетки. Большинство люминофоров имеет основную полосу поглощения, которая расположена в ультрафиолетовой области спектра (рисунок 1.1). Как показывает из рисунка 1.1, основная полоса поглощения $ZnS \cdot Cu$ соответствует $\lambda \approx 335$ нм. Поглощение центра люминесценции (иона меди) обуславливает полосу с максимумом при $\lambda \approx 360$ нм. Максимальное поглощение увеличивается с увеличением концентрации меди.

Смещение границей основной полосы поглощения в сторону более длинных волн происходит при чем, что состав основы люминофора изменяется. Например в основу ZnS-люминофоров вводим Cd или заменим медь на марганец[2].

Для люминофоров на основе германатов, силикатов, арсенатов, фосфатов поглощение обусловлено активаторами в области $\lambda = 200 - 400$ нм. Вызвано это поглощение внутри иона электронными переходами в последних; энергетическое состояние ионов активаторов может зависеть от окружения. Так, галофосфат кальция, активированный Sb имеет центр поглощения в ионы Sb, но концентрация фтора и хлора в решетку галофосфата непосредственно влияет на максимум спектра поглощения.

Люминофоры могут быть иметь два активатора, один активатор поглощает энергию и передает энергию другому активатору, называемый сенсбилизатором (например для люминофора галофосфата кальция, активированного сурьмой и марганцем, то сурьма(Sb) поглощает энергию, и передает марганцу(Mn).

Центр люминесценции в большинстве случаев – это сложное образование, его свойства зависят от окружающих ионов решетки основы люминофора. В конце, вакансии в решетке основы люминофора, образованные в процессе формирования обуславливают поглощения.

Спектры отражения люминофора характеризуют его область поглощения. Величина поглощения рассчитывается по соотношению $K_{\text{погл}} = 1 - K_{\text{отр}}$.

Спектрами поглощения в ряде случаев характеризуется суммарное поглощение, складывающееся из активного, который вызывает люминесценцию, и того, не приводящего к возникновению свечения. Ещё одна из важных характеристик кроме спектров поглощения – это спектры возбуждения, отличие которых от спектров поглощения определяется только областью активного поглощения энергии. Спектрами возбуждения

является зависимость от длины волны возбуждающего света интенсивности свечения люминофора.

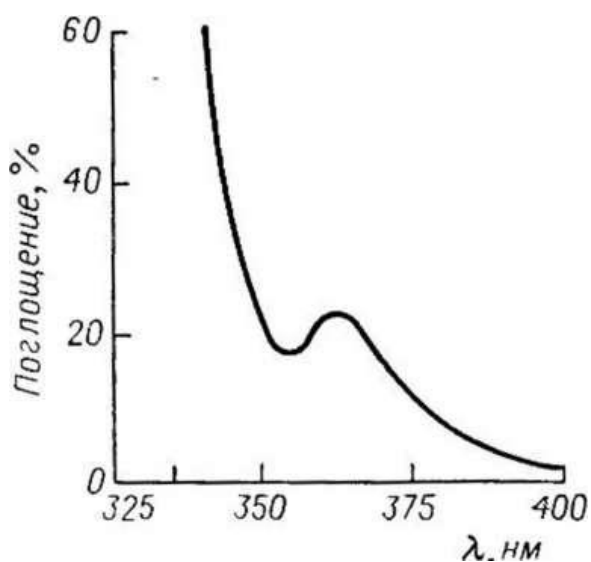


Рисунок 1.1 – Спектр поглощения люминофора ZnS-Cu [5]

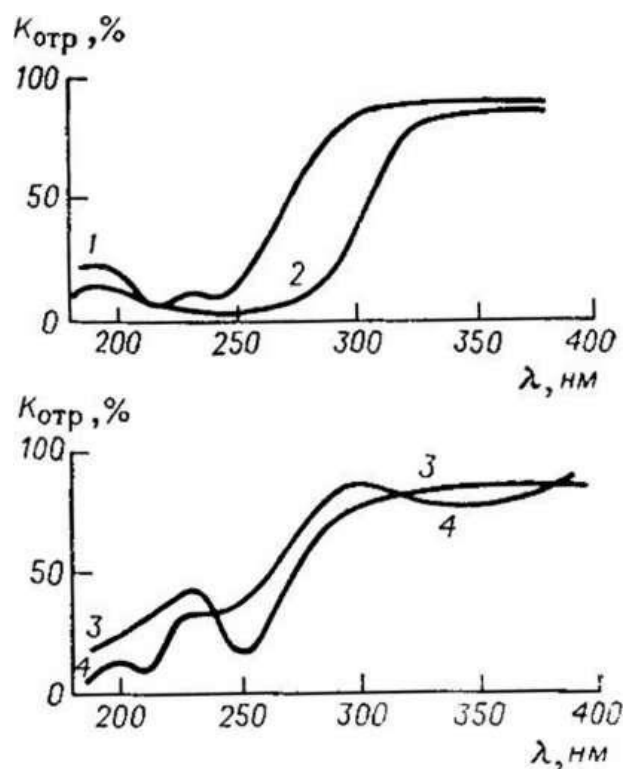


Рисунок 1.2 – Спектры отражения люминофоров [6]:

- 1 — на основе галофосфата кальция, активированного Sb и Mn; 2 — $MgWO_4$, 3 — $CaSiO_4-Pb-Mn$; 4 — Zn_2SiO_4-Mn

1.1.2 Выход излучения, эффективность и яркость свечения светодиодов

Выход свечения светодиода измеряют в единицах — 1 кандела на 1 м^{-2} или люменах, отнесенных к единице мощности (Вт). Обычно у величины выхода размерность — $\text{кд} \cdot \text{м}^{-2} / \text{А} \cdot \text{см}^{-2}$, $\text{лм} / \text{А}$ или $\text{лм} / \text{Вт}$ (светоотдача). Между диодами различной формы и размера можно сравнивать с помощью отношения яркости излучения к плотности тока.

Энергетическая эффективность светодиода является безразмерной величиной. Она определяется отношением мощности светового потока к мощности подводимой энергии.

Ещё один важный параметр — квантовая эффективность, определенная отношением числа излучательных квантов к количеству электронов, прошедших через р-п-переход. Эта величина обычно выражается в процентах [(число квантов/число электронов)·100%]. Квантовая (η_q) и энергетическая (η_p) эффективности связаны соотношением

$$\eta_p = \eta_q \cdot \frac{h\nu}{U}$$

где U — напряжение смещения, В;

$h\nu$ — энергия кванта, эВ.

Различают внешнюю и внутреннюю квантовую эффективность. Внутренняя квантовая эффективность характеризуется непосредственно излучательной рекомбинацией, а внешняя эффективность есть доля внутренней за вычетом потерь, связанных с выводом излучения из кристалла.

В том случае, излучение сильно поглощается с энергией кванта, то величина внешней квантовой эффективности составляет лишь сотую долю от внутренней величины. У разных светодиодов величина внешней квантовой эффективности в пределах 0.02 – 14%. При многократном отражении от внутренней плоскости кристалла потери на поглощение сильно повышаются. Угол полного внутреннего отражения большинства материалов для светодиодов очень мал ($16 - 17^\circ$), коэффициент преломления составляет 3.5,

поэтому большая часть излучения не выходит из кристалла. Покрытие с большим коэффициентом преломления применяется для улучшения световывода, а также для этого придают кристаллу форму конуса или полусферы. С помощью этих способов доля излучения, падающая на внутреннюю поверхность кристалла под большим углом уменьшается, и, следовательно, способствуется вывод света из кристалла.

Можно считать яркость излучения по уравнению:

$$B = 39300 \frac{hL_j}{\lambda_{\max}} \cdot \frac{S_{\text{пер}}}{S_{\text{изл}}}$$

где L [лм/Вт] — средний коэффициент видности, рассчитанный из кривой видности и спектра свечения; λ_{\max} [нм] — длина волны в максимуме спектра; B [кд·м⁻²] — яркость свечения; j [А·см⁻²] — плотность тока; $S_{\text{изл}}$ — площадь поверхности, через которую выводится излучение; $S_{\text{пер}}$ — площадь р-п-перехода.

Интенсивность свечения I зависит от приложенного напряжения V и от плотности тока электронного пучка по уравнению:

$$I = kf(j)(V - V_0)^q$$

где $f(j)$ — функция зависимости интенсивности свечения от плотности тока пучка электронов; k — константа, выражающая зависимость люминофора от природы;

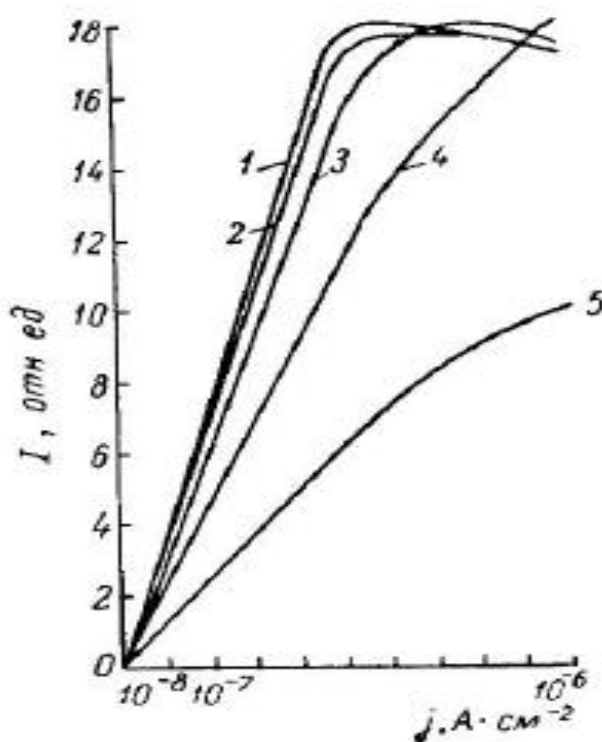


Рисунок 1.3 — Зависимость

интенсивности свечения люминофоров от плотности тока электронного пучка ($V=15$ кВ):

- | | | |
|--|---------------|----|
| 1-Zn·Ag; | 2-ZnS·CdS·Lu; | 3- |
| ZnS·CdS·Ag·A; | 4-ZnS·Tm; | 5- |
| Sr ₃ (PO ₄) ₂ ·Eu[2] | | |

V_0 — «напряжение мертвое» (минимальное напряжение необходимо для прохождения поверхностного слоя электроном).

Для разных люминофоров величина q лежит в пределах $1 \div 3$. Интенсивность свечения достигает насыщение (предела) при определенных значениях плотности тока. Эти значения зависят от состава люминофора [например, интенсивность свечения люминофора Zn_2SiO_4-Mn достигается насыщение при $j = 10$, при $j = 200$ $\text{мкА} \cdot \text{см}^{-2}$ для люминофора $ZnS-Ag$ (рисунок 1.3). Энергия электронов почти не влияет на эффект насыщения. Насыщение интенсивности свечения люминофора при увеличении плотности тока электронного пучка обусловлено, во-первых, нагреванием экрана, следствием чего температурное тушение люминесценции является, и, во-вторых, возникновением тормозящего электроны на поверхности люминофора заряда.

1.1.3 Разгорание и затухание люминесценции

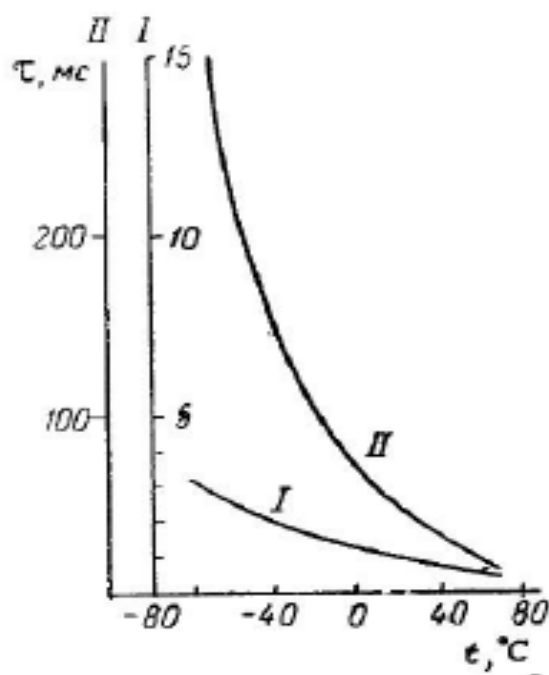


Рисунок 1.4 – Зависимость длительности затухания свечения люминофора $ZnS-Ag$ от температуры: I — спад яркости свечения до 0,1% от начальной величины; II — до 0,001%[2]

При возбуждении люминофоров катодным пучком, люминесценция вызвана переходом внутри центра, затухание люминесценции подчиняется иногда закону экспоненциальному. В ряде случаев этот закон только на ранних

стадиях сохраняется. Следует отметить, скорость повышения свечения и затухания не зависит от температуры и условий возбуждения. На дальних стадиях затухание подчиняется гиперболическому закону. Типичным примером являются люминофоры $ZnF_2 \cdot Mn$ и $Zn_2SiO_4 \cdot Mn$.

Затухание люминофоров на основе ZnS , $ZnS - CdS$, $ZnS - ZnSe$, активированных Ag, Au, Cu близко подчиняется гиперболическому закону (рисунок 1.4). Скорость затухания зависит от температуры и условий возбуждения. При увеличении плотности тока, ускоряющего напряжения и температуры скорость затухания увеличивается. Увеличение плотности тока, с одной стороны, приводит к усилению выброса локализованных на ловушках зарядов, а с другой стороны, увеличивает число электронов и дырок, которые захватываются на ловушках. В результате ускоряется высвечивание.

Введение в основу сульфидных люминофоров металлов-гасителей люминесценции, в частности никеля приводит к значительному снижению длительности послесвечения.

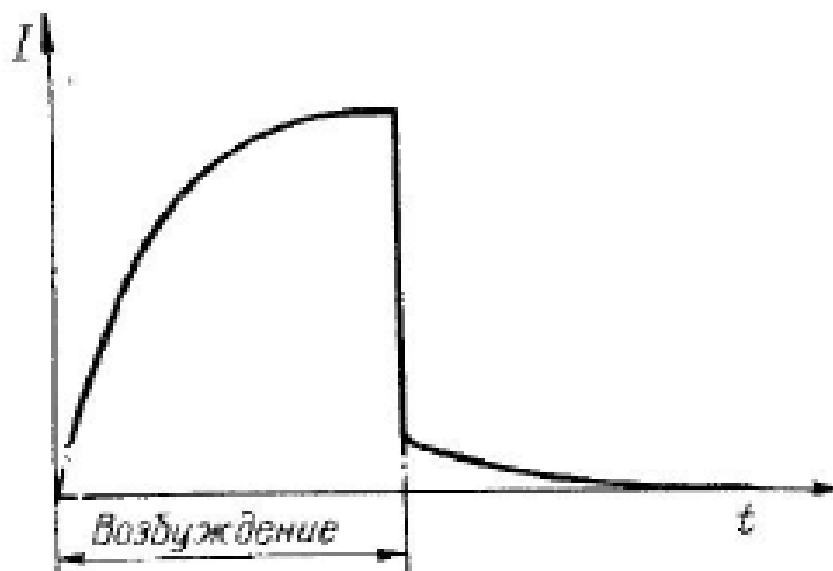


Рисунок 1.5 – Кривые разгорания и затухания свечения характеристических люминофоров[2]

1.1.4 Спектры люминесценции при фотовозбуждении и под воздействием электронным пучком

Спектры люминесценции при фотовозбуждении

Максимум спектра поглощения смещен по отношению к максимуму спектра отражения в сторону длинных волн (рисунок 1.6) – согласно правилу Стокса – Ломмеля. Это обусловлено тем, что часть энергии, которая поглощается люминофором, рассеивается в его решетке, переходя в тепло (эти потери называются стоксовскими потерями). «Антистоксовские» люминофоры излучают в видимой области спектра при возбуждении в ИК-области, занимают особое место, которое противоречит вышесказанному правилу.

Спектры излучения у большинства описываемых далее люминофоров представляют собой широкие полосы. Однако у люминофоров с редкоземельными активаторами в некоторых случаях спектры люминесценции представляются характерными узкими полосами. Воздействие ионов основной решетки на энергетическое состояние ионов активатора обуславливает расширение полосы.

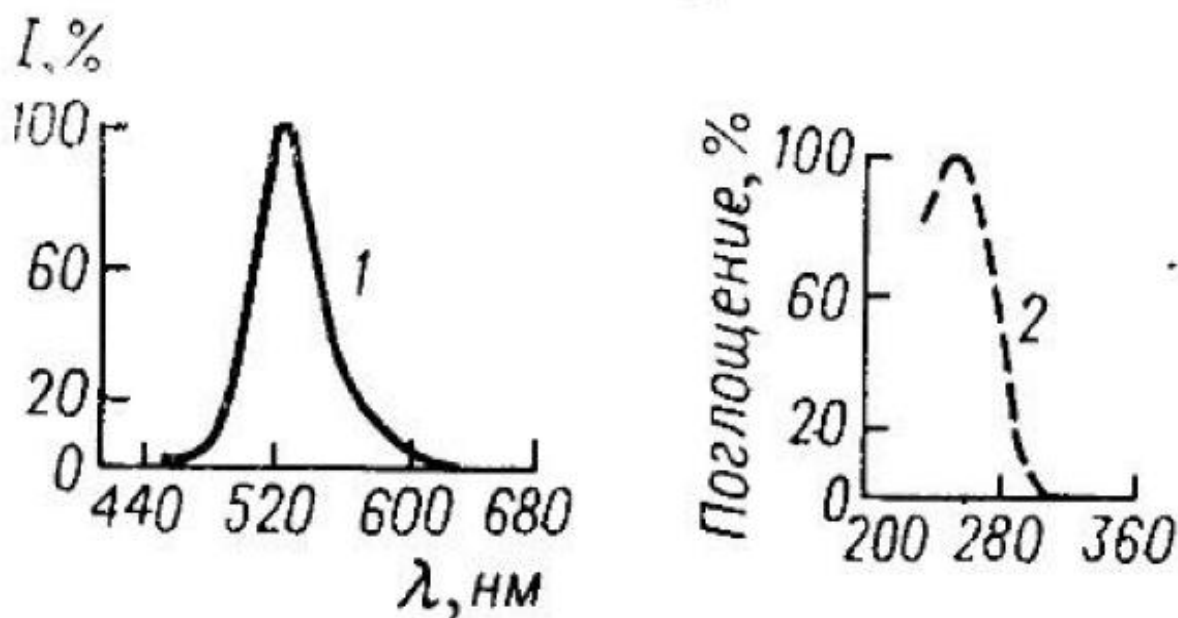


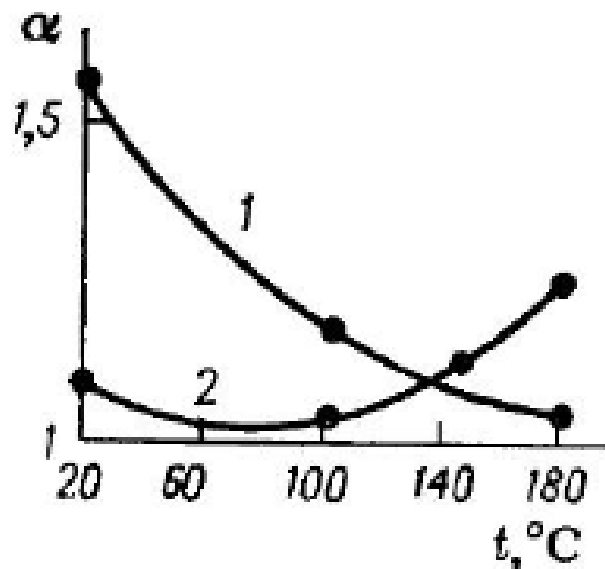
Рисунок 1.6 – Спектры излучения (1) поглощения (2) люминофора - $Zn_2SiO_4 - Mn[2]$

Спектр излучения люминофоров может зависеть от основы люминофора, химической природы активатора и взаимодействия между люминофором и

активатором. В том случае, если у люминофоров несколько активаторов, то спектр излучения ещё зависит от их воздействия.

В нескольких случаях, один активатор в одной и той же основе может давать полосы излучения, которые располагают в различных областях спектра. Например, люминофор ZnS-Cu, в зависимости от условий приготовления и концентрации меди, может излучать в красной, синей и зеленой области спектра. Иногда спектр люминесценции люминофоров состоит из нескольких полос, и у этих полос различный электронный переход центра свечения. например можем служить фторгерманат магния и арсенат, активированные Mn. Вводить два активатора в одну основу, например в случае люминесценции сенсibilизированной, можем привести соответствующих этим активаторам — в полосе первого активатора интенсивность свечения уменьшается, то в полосе второго активатора она увеличивается.

Спектральный состав зависит от положения активатора в решетке (междуузельное положение, замещение иона в узле), природы атомов основы, а также от различий в валентном состояний активатора, который вошел в решетку основы. Одним из примеров влияния на спектр излучения структуры центра



свечения является галофосфат кальция, активированный сурьмой(Sb) и марганцем(Mn). В качестве примера влияния структуры центра свечения на

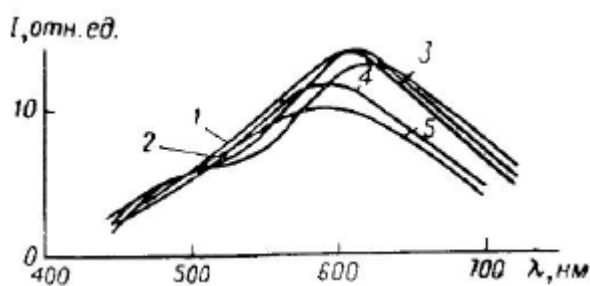
Рисунок 1.7 – Зависимость степени нелинейности стационарной яркости свечения голубой (1) и зеленой (2) полос люминофора ZnSCu от температуры[7]

спектр излучения следует привести галофосфат кальция, активированный Sb и Mn. У этого люминофора спектр излучения, состоящий из двух полос,

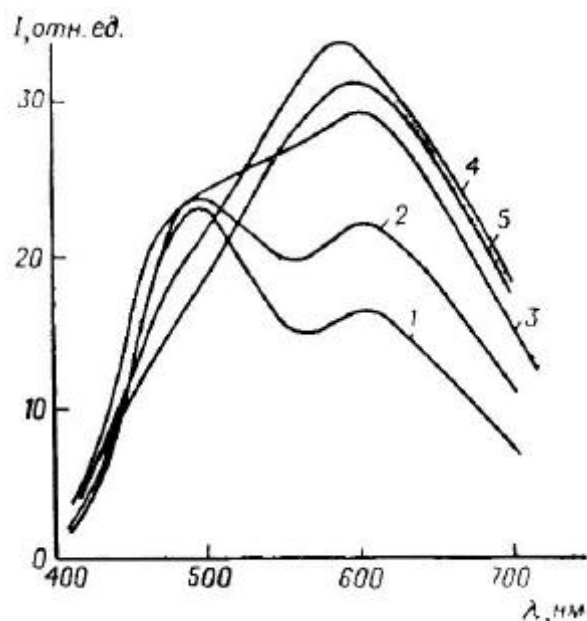
соответствующих излучению Mn и Sb. Свечение этого люминофора имеет интенсивность и положение, зависящие от концентрации активаторов и соотношения F^- и Cl^- , которые входят в состав галофосфата. Ионы галогенов Cl^- влияют на положение основной полосы Mn тем, что ионы Ca^{2+} могут окружать ионы Mn^{2+} четырьмя различными способами. Эти ионы Ca^{2+} в свою очередь по-разному связаны с фтором, сурьмой, кислородом или хлором.

Спектры излучения также зависят от длины волны, интенсивности возбуждающего света и от температуры. Интенсивность возбуждающего света влияет на спектр излучения так, что люминофор имеет несколько полос излучения, у каждой из них интенсивность, зависящая от интенсивности возбуждающего света, интенсивность одной из полос в частности быстрее достигает насыщения. Например для люминофора ZnS-Cu, имеет две полосы в его спектре излучения при концентрации активатора $0.002 \div 0.003\%$, зависимость от интенсивности возбуждающего света E интенсивности свечения определяется по закону $I \sim E^\alpha$, где α зависит от температуры для зеленой и синей полос различно (рисунок 1.7).

Характеристические люминофоры $(Ca, Mg)_3(P_4O_{10})_2-Sn$ и $(Ca, Zn)_3(P_4O_{10})_2-Sn$ могут быть хорошо определены зависимостью от длины волны возбуждающего света спектров излучения. Спектры излучения этих люминофоров состоят из широких полос, расположенных в зеленой и красной областях. При возбуждении излучением с длиной волны $\lambda = 312$ нм появляется зеленая полоса, а при $\lambda = 252$ нм — красная (рисунок 1.8).



а)



б)

Рисунок 1.8 – Зависимость спектров излучения люминофора

$(Ca, Zn)_3(PO_4)_2-0.08Sn$ от температуры[2]

$a - \lambda_{\text{возб}} = 252 \text{ нм}; \quad б - \lambda_{\text{возб}} = 312 \text{ нм};$

1 – 20°; 2 – 100°; 3 – 200°; 4 – 300°; 5 – 350°

Студер и Ганс[8] подробно рассмотрели влияние температуры на спектры свечения люминофоров различных классов. Согласно этим авторам, при увеличении температуры для различных люминофоров то в спектрах излучения наблюдаются следующие изменения:

- расширение спектра свечения и смещение максимума в длинноволновую область ($ZnS-CdS-Ag$, $ZnS-Ag$);
- смещение спектра свечения в коротковолновую область ($MgWO_4$);
- расширение спектра излучения без смещения положения максимума (ZnO , Zn_2SiO_4-Mn);
- перераспределение интенсивности излучения разных полос [$(Zn, Be)_2SiO_4$ Mn].

Можно объяснять зависимость спектра свечения от температуры для люминофоров многополосных так что температурное тушение люминесценции различно для отдельных полос. Примером можно служит характеристический люминофор $(Ca, Zn)_3(PO_4)_2-Sn$ при понижении температуры интенсивность зеленой полосы увеличивается, а красной — уменьшается (рисунок 1.8). Такое различие поведения полос, можно объясняется тем, что центры зеленой люминесценции связаны с ионами олова в фосфате кальция имеют α -структуру, а красные центры люминесценции обусловлены ионами олова, расположенными в твердом растворе фосфата кальция в фосфате цинка, имеющего β -структуру.

Спектры люминесценции под воздействием электронным пучком

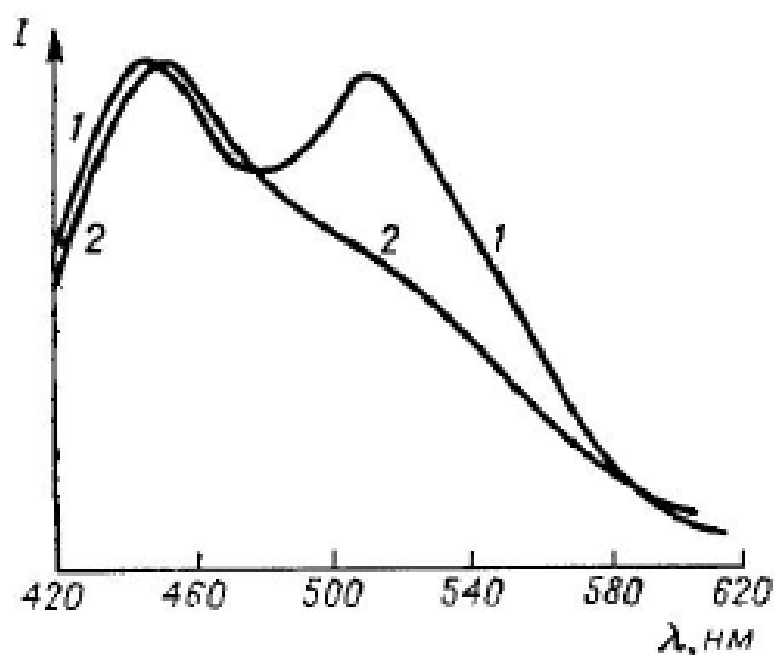


Рисунок 1.9 – Зависимость спектра излучения люминофора ZnS-Cu от плотности тока: 1 — 100 мкА; 2 — 250 мкА[2]

При возбуждении катодными лучами, с изменением условий возбуждения, то есть величин плотности тока и ускоряющего напряжения, спектры излучения люминофоров с одним активатором не меняются с этим изменением. Только в том случае у люминофора несколько полос свечения, то изменение наблюдается. Примером может служить люминофор ZnS-Cu, так у этого люминофора при повышении плотности тока и малых концентрациях меди,

интенсивность длинноволновой полосы свечения уменьшается по отношению к коротковолновой (рисунок 1.9).

У многополосных люминофоров спектры, при большей плотности тока катодовозбуждения, длинноволновая полоса в последнем случае может быть подавлена, это причина, наблюдающая различие при фото- и катодовозбуждении. При фотовозбуждении в кристаллы люминофора свет может проникать глубже, вследствие поглощения центрами люминесценции излучение в коротковолновой части спектра в большей степени может ослабляться.

При катодовозбуждении спектр излучения как и в случае фотовозбуждения зависит от температуры, если в нем присутствуют несколько активаторов или есть несколько полос излучения.

Расширение, сужение или разрешение отдельных полос являются причиной изменения спектра.

При возбуждении катодным пучком в спектре ZnS-Tm проявляется линейчатая структура[9].

При катодном возбуждении, люминофор поглощает величину энергии, эту величину трудно определить из-за рассеяния части электронов, которые попадают на люминофор. Кроме того, вторичная электронная эмиссия возникает в процессе возбуждения. Поэтому величина энерго- и светоотдачей являются характеристиками катодолюминофоров. Энергоотдачей является отношение излучаемой к проводимой энергии, а светоотдачей является отношение светового потока, излучаемого люминофором к энергии подводимой. Энергоотдача зависит от плотности тока и от ускоряющего напряжения[9]. Выход люминесценции невысок при катодном возбуждении из-за больших потерь, например для лучших сульфидных люминофоров, выход люминесценции не превышает 20-25% (см. табл. IX. 10, стр. 179).

результатирующий химический состав люминофора можно описать формулой $(Y_{1-x}Gd_x)_3(Al_{1-y}Ga_y)_5O_{12}$. На рисунке 2.2 показаны спектр излучения люминофоров $(Y_{1-x}Gd_x)_3(Al_{1-y}Ga_y)_5O_{12}$, легированных церием при разных значениях x и y [11]. Видно, что при добавке гадолиния спектр излучения сдвигает в длиноволновую сторону, а добавка галлия вызывает сдвиг в противоположном направлении — в сторону коротких волн.

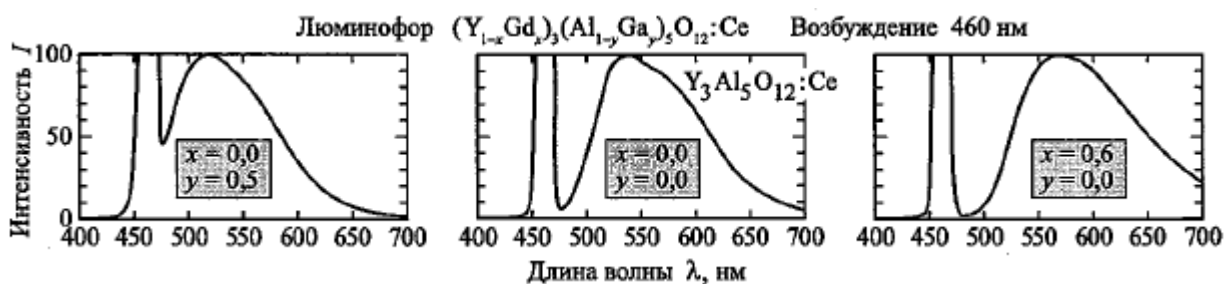


Рисунок 2.2 – Спектры излучения алюмоиттриевого граната, легированного Се в различных концентрациях (YAG:Ce)[11]

Положение люминофоров на основе YAG:Ce на цветовой диаграмме МКО показано на рисунке 2.3. Область затемненная соответствует источникам света на основе люминофоров YAG:Ce и светодиодов синего свечения. Видно, что такие источники могут обладать высокой цветовой температурой.

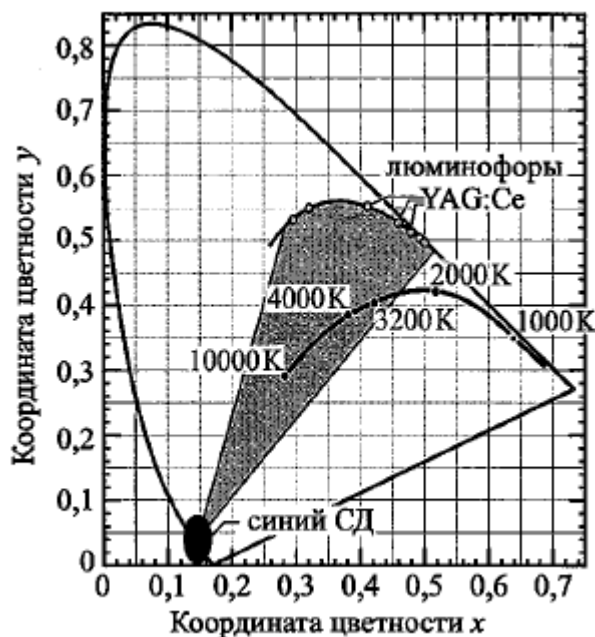


Рисунок 2.3 – Положение люминофоров на основе YAG:Ce на цветовой диаграмме МКО. Затемненная область соответствует источникам белого света,

созданным на основе светодиодов синего свечения и люминофоров YAG:Ce[11]. Показана кривая Планка с цветовыми температурами Люминофоры на основе алюмотербиевых гранатов (TAG) с химической формулой $Tb_3Al_5O_{12}$ являются альтернативой люминофорам на основе YAG. Оба типа люминофоров имеют кристаллическую структуру граната. К тому же радиусы ионов Tb^{3+} и Y^{3+} очень близки ($r_{Tb^{3+}} = 1,04 \text{ \AA}$, $r_{Y^{3+}} = 1,02 \text{ \AA}$). Следовательно, при изменении атомов Y атомами Tb кристаллическая решетка YAG-люминофора изменится не очень сильно. Это справедливо даже тогда, когда молярная доля тербия составляет 30% [15]. Хотя TAG-люминофоры обладают немного меньшей эффективностью излучения, они все же являются серьезными конкурентами YAG-люминофорам.

1.2.2 Светодиоды белого свечения на основе люминофоров

В работах [11] описаны первые светодиоды белого свечения, созданные на основе светодиодов синего свечения InGaN/GaN и люминофоров. Для оптического возбуждения люминофора в таких устройствах применялись светодиоды синего свечения на основе InGaN/GaN, рассмотренные в работе [11] а в качестве люминофора использовался легированный церием люминофор АИГ(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).

На рисунке 2.4, а показано поперечное сечение структуры светодиодной лампы белого света. Изображен кристалл светодиода синего свечения и люминофор, окружающий этот кристалл. Люминофор АИГ(YAO) 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 2.4 б).

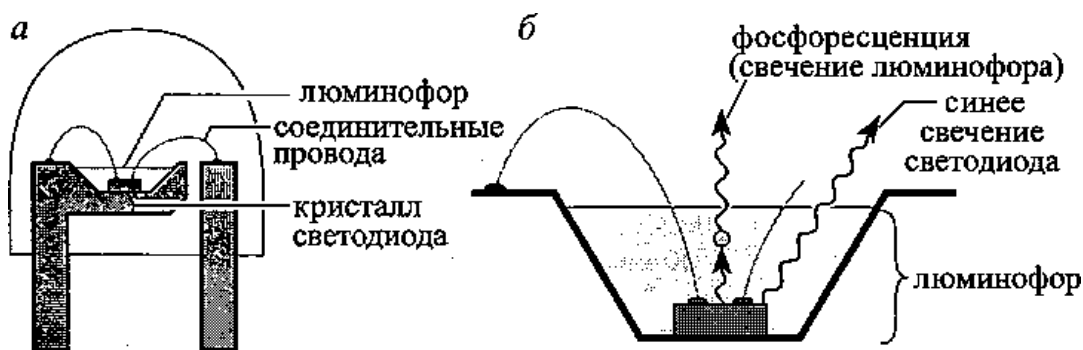


Рисунок 2.4 – Структура светодиодов белого свечения, состоящего из кристалла светодиода синего свечения на основе InGaN, люминофора и корпуса из эпоксидной смолы (а). Излучение люминофора и синее свечение кристалла (б)[11].

На рисунке 2.4 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 2.5 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.

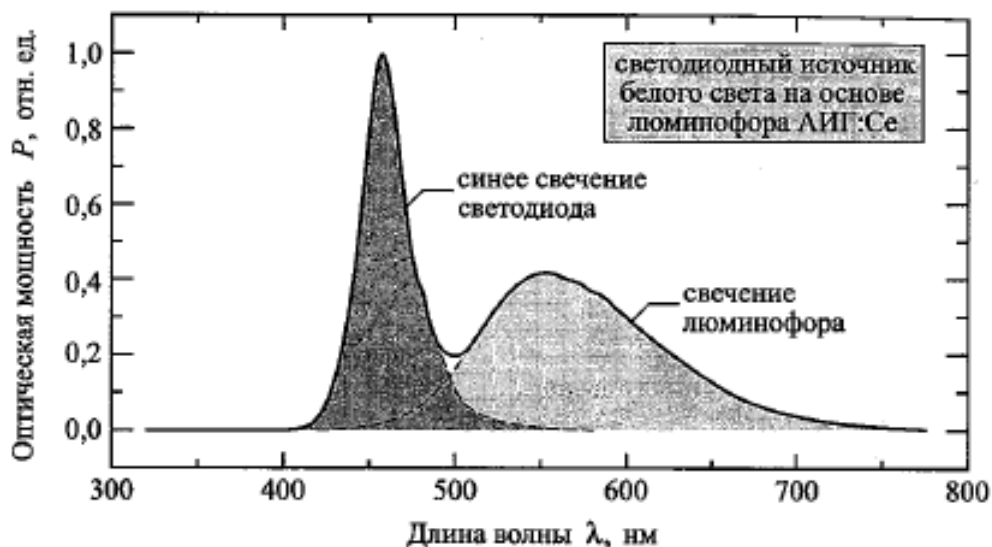


Рисунок 2.5 – Спектр излучения светодиодной лампы белого света на основе люминофора, изготовленного Nichia Chemical Industries Corporation (Anan, Tokushima, Japan)[1]

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 (Narukawa, 2004). В результате этого происходит увеличение излучения в красном диапазоне спектра (рисунок 2.6). Более того, применение оптимизированного состава люминофора позволило заметно снизить провал в спектре излучения, что также видно на рисунке 2.6. 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.

Однако здесь следует отметить, что 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.

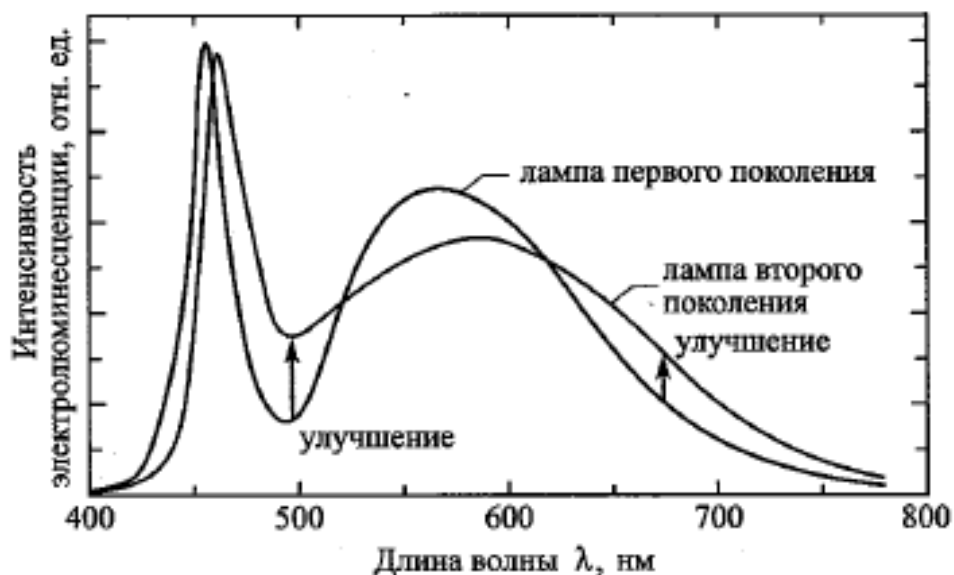


Рисунок 2.6 – Спектр электролюминесценции светодиодных ламп белого света первого и второго поколений фирмы Nichia Chemical Industries Corporation.

Уширение спектра излучения источников второго поколения ведет к повышению индекса цветопередачи и снижению провала на спектральной характеристике[12].

Для источников белого света важной характеристикой является объемная однородность цвета. Цветность источника белого света не должна зависеть от направления излучения. Для получения однородности цвета необходимо обеспечить такое распределение люминофора, при котором для всех направлений излучения внутри материала длина оптического пути была бы одинаковой[13].

Объемной однородности цвета можно также добиться введением в эпоксидную смолу минеральных рассеивающих примесей[13]. В качестве таких примесей могут использоваться оптически прозрачные вещества, например

TiO₂, CaF₂, SiO₂, CaCO₃ и BaSO₄, показатель преломления которых отличается от показателя преломления смолы. Назначение минеральных добавок заключается в том, чтобы заставить свет отражаться, преломляться и рассеиваться, уравнивая тем самым вероятность распространения света во всех направлениях, что и обеспечивает объемную однородность цвета.

1.2.3 Пространственное расположение люминофора

Пространственное расположение люминофора сильно влияет на однородность цвета и эффективность источников белого света. Можно расположить люминофор внутри источника по двум вариантам: ближнее и удаленное. При удаленном расположении люминофор отдельно располагается от кристалла полупроводника (рисунок 2.7, в). При ближнем расположении люминофор близко располагается от полупроводникового кристалла (рисунок 2.7, а и б).

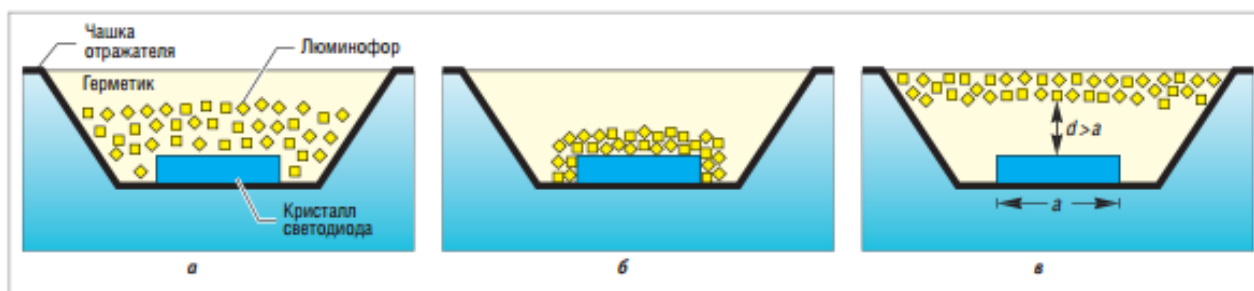


Рисунок 2.7 – Расположение люминофора: а – ближнее расположение люминофора; б – ближнее конформное; в – удаленное, при котором люминофор и кристалл разделены расстоянием, как минимум превышающим поперечные размеры кристалла[3].

На рисунке 2.8 приведены фотографии трех вариантов пространственного расположения люминофора. Технология осуществления ближнего расположения люминофора, показанного на рисунке 2.8, а, разрабатывалось в Nichia Corporation в течение 1990-х гг. Частицы люминофора растворяются в эпоксидной смоле, которая затем распределяется по чашке отражателя. На частицы люминофора действуют сила тяжести, сила Архимеда и сила трения, которые определяют пространственное распределение люминофора. В

результате действия этих сил ближе к поверхности кристалла оказываются более тяжелые частицы люминофора.

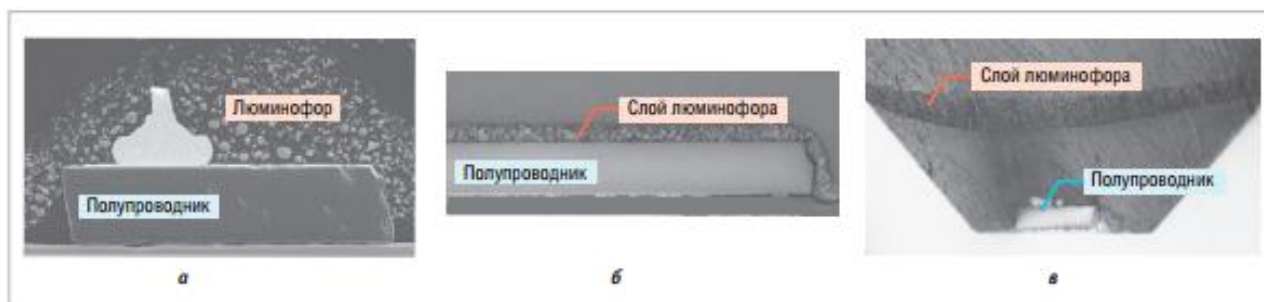


Рисунок 2.8 – Распределение люминофора внутри источников белого света: а – ближнее расположение люминофора; б — ближнее конформное расположение люминофора; в — удаленное расположение люминофора[3].

На рисунке 2.8,б показан еще один вариант ближнего расположения – конформное расположение люминофора. Такое расположение люминофора позволяет существенно снизить затраты на изготовление источников белого света, поскольку нанесение слоя люминофора происходит в процессе формирования полупроводниковой структуры, а не при сборке лампы. Источники света с конформным расположением люминофора имеют малую площадь и высокую яркость, эти характеристики позволяют использовать люминофор в разных оптических системах, например в системах воспроизведения изображений. В таких устройствах, как передние фары автомобиля, часто требуется использование линз. Именно для этих применений и подходят точечные источники, т.е. источники с малой площадью излучения.

Поглощение излучения люминофора полупроводниковым кристаллом является основным недостатком источников света с ближним его расположением. Излучение люминофора, которое направлено в сторону полупроводникового кристалла, может быть поглощено, например, металлическими контактами, покрывающими кристалл, поскольку ни контакты, ни сам кристалл, как правило, не обладают высокой отражающей способностью.

Эту проблему можно решить, если люминофор пространственно отделить от полупроводникового кристалла, т.е. создать структуру с удаленным расположением люминофора. В структурах с удаленным люминофором вероятность попадания излучения существенно снижается на полупроводниковый кристалл с малой отражающей способностью. Это объясняется тем, что в таких структурах первичный источник (полупроводниковый кристалл) пространственно удален от вторичного источника (люминофора). Если $d > a$, то есть расстояние между люминофором и кристаллом превышает поперечные размеры кристалла, как показано на рисунке 2.8, в вероятность попадания на поверхность полупроводника существенно излучения люминофора снижается. В результате этого, эффективность таких источников значительно повышается. Моделирование хода лучей и эксперименты с источником, созданным на основе люминофора, пространственно удаленного от него, действительно показали увеличение интенсивности излучения люминофора на 75% и 27% соответственно. Сообщалось [14], что при использовании метода отвода рассеянных фотонов (метода SPE), удалось повысить выход излучения в среднем на 61%. При низких значениях тока световая отдача SPE-излучателей превышает 80 лм/Вт, тогда как на обычных структурах она, как правило, составляет 54 лм/Вт [1].

В работе [33] был проведен анализ свойств люминофоров для люминофоров различного состава. В основном рассмотрены люминофоры на основе различных типов иттриевых гранатов, нитридные соединения, люминофоры на основе силикатов. В качестве ионов-активаторов используются ионы церия, европия, марганца. Такие характеристики как интенсивность свечения, долговечность, наличие температурного тушения были рассмотрены. Как можно видеть, для многих люминофоров с хорошей интенсивностью и долговечностью проблемой является температурное тушение. Сведения приведены в таблице 2.1. Составы для люминофоров, используемых в светодиодах с «синим» и «уф» чипами могут быть различны, что определяется эффективностью переноса энергии возбуждения.

Таблица 2.1 – Составы люминофоров для белых светодиодов (○: хороший, Δ: средний, ×: плохой)[33]

Светодиод	Люминофор	Химический состав	Эмиссионные характеристики			
			Интенсивность	Ширина	Долговечность	Температурное гашение
Синий светодиод	Зеленый люминофор	$Y_3(Al,Ga)_5O_{12}/Ce$	Δ	широкий	○	Δ
		$SrGa_2S_4/Eu$	○	средний	×	×
		$(Ba,Sr)_2SiO_4/Eu$	○	средний	Δ	Δ
		$Ca_3Sc_2Si_3O_{12}/Ce$	○	широкий	○	○
		$CaSc_2O_4/Ce$	○	широкий	○	○
		β -sialon/Eu	○	средний	○	○
	Желтый люминофор	$(Sr,Ba)Si_2O_2N_2/Eu$	○	средний	Δ	○
		$Ba_3Si_6O_{12}N_2/Eu$	○	средний	○	○
		$(Y,Gd)_3Al_5O_{12}/Ce$	○	широкий	○	Δ
		$Tb_3Al_5O_{12}/Ce$	Δ	широкий	○	Δ
		$CaGa_2S_4/Eu$	○	средний	×	×
		$(Sr,Ca,Ba)_2SiO_4/Eu$	○	широкий	○	Δ
Красный люминофор	$Ca-\alpha$ -sialon/Eu	○	средний	○	○	
	$(Sr,Ca)S/Eu$	○	широкий	×	×	
	$(Ca,Sr)_2Si_5N_8/Eu$	○	широкий	Δ	Δ	
	$CaAlSiN_3/Eu$	○	широкий	○	○	
	$(Sr,Ba)_3SiO_5/Eu$	○	широкий	×	○	
УФ светодиод	Синий люминофор	K_2SiF_6/Mn	○	узкий	○	○
		$(Sr,Ca,Ba,Mg)_{10}(PO_4)_6Cl_2/Eu$	○	узкий	○	Δ
		$(Ba,Sr)MgAl_{10}O_{17}/Eu$	○	средний	○	○
	Зеленый люминофор	$(Sr,Ba)_3MgSi_2O_8/Eu$	○	узкий	Δ	Δ
		$SrGa_2S_4/Eu$	○	средний	×	×
		β -sialon/Eu	○	средний	○	○
		$SrSi_2O_2N_2/Eu$	○	средний	○	○
		$Ba_3Si_6O_{12}N_2/Eu$	○	средний	○	○
	Красный люминофор	$BaMgAl_{10}O_{17}/Eu,Mn$	○	узкий	○	○
		$SrAl_2O_4/Eu$	Δ	широкий	Δ	Δ
		$(Sr,Ca)S/Eu$	○	широкий	×	×
		$(Ca,Sr)_2Si_5N_8/Eu$	Δ	широкий	Δ	Δ
	$CaAlSiN_3/Eu$	○	широкий	○	○	
	La_2O_2S/Eu	Δ	средний	Δ	Δ	
	$3,5MgO \cdot 0,5MgF_2 \cdot GeO_2/Mn$	Δ	средний	○	○	
	$(Sr,Ca,Ba,Mg)_{10}(PO_4)_6Cl_2/Eu,Mn$	Δ	широкий	○	○	
	$Ba_3MgSi_2O_8/Eu,Mn$	○	широкий	Δ	Δ	

Глава 2. Объект, метод исследований и описание экспериментальных установок

2.1 Объект исследования

Объектом исследования является композитный люминофор на основе итрий-алюминиевого граната, активированного церием, изготовленный в Научно-исследовательском институте полупроводниковых исследований (г. Томск). В качестве полимерной основы для введения частиц люминофора был использован силикон. Силикон обладает высокой степенью прозрачности в видимой области спектра, является инертным материалом по отношению к люминофору, довольно легко формуется (обладает необходимой вязкостью), устойчив к температурам в области рабочих температур светодиодов.

2.2 Метод исследований и описание экспериментальных установок

2.2.1 Методика импульсной катодолуминесцентной спектроскопии с наносекундным временным разрешением

Для исследований с высоким временным разрешением используется установка “Импульс 1”, которая представлена на рисунке 2.6.

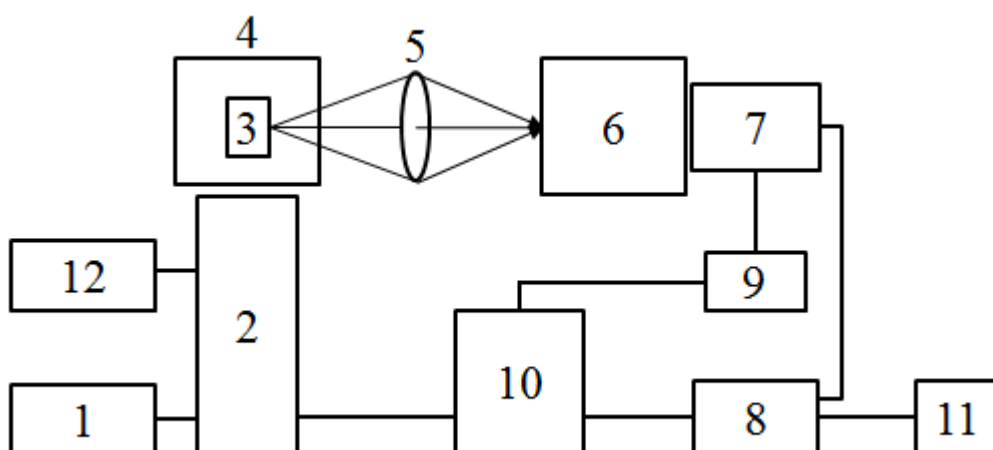


Рисунок 2.9 – Установка для импульсной люминесцентной спектроскопии. 1 – блок питания ускорителя; 2 – импульсный наносекундный ускоритель

электронов; 3 – исследуемый образец; 4 – измерительная камера (криостат); 5 – линзовая система; 6 – монохроматор; 8 – осциллограф; 7 – фотоэлектронный умножитель (ФЭУ); 9 – блок питания ФЭУ; 10 – генератор импульсов ГИ-1; 11 – компьютер; 12 – пульт управления

Параметры установки:

- Средняя энергия электронов, $E = 250$ кВ
- Длительность импульса электронов, $\tau = 15$ нс
- Ток в импульсе, $I = 0,1 - 1$ кА
- Область измерения, $\lambda = 220 - 1000$ нм
- Временное разрешение, $\Delta t = 7$ нс
- Рабочая область температур, $t_0 = 80 - 500$ К

Установка состоит из ускорителя электронов, криостата в котором располагается исследуемый кристалл, зондирующего источника света, линз, монохроматора, ФЭУ и осциллографа.

Работа установки: При исследовании люминесценции, образования и релаксации дефектов в оптических материалах исследуемый образец помещается в криостат. Криостат представляет собой вакуумную ячейку, в которой температура на кристаллодержателе может изменяться от 80 К до 500 К. После установления необходимой температуры кристалл облучается коротким импульсом электронов. Под действием электронов происходит возбуждение центров люминесценции, образование и преобразование дефектов. Свечение регистрируется с помощью ФЭУ и осциллографа. Необходимая длина волны выбирается с помощью монохроматора.

2.2.2 Методика регистрации спектров импульсной катодолюминесценции на базе оптоволоконного спектрометра AvaSpec

Интегральный спектр свечения импульсной катодолюминесценции (ИКЛ) регистрируется с помощью оптоволоконного спектрометра AvaSpec-2048. Этот

спектрометр работает в спектральном диапазоне 200 – 1100 нм с обратной линейной дисперсией 1,2 нм/мм.

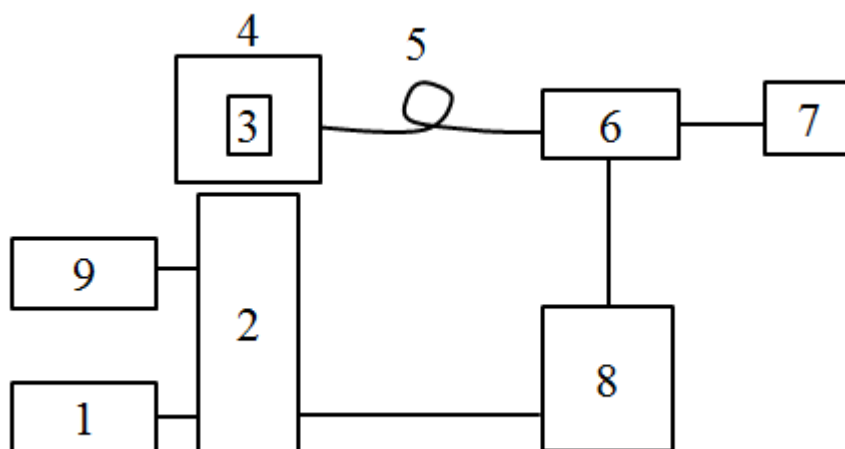


Рисунок 2.10 – Установка для регистрации интегральных спектров: 1 – блок питания ускорителя; 2 – импульсный наносекундный ускоритель электронов; 3 – исследуемый образец; 4 – измерительная камера; 5 – кварцевый оптоволоконно; 6 – Спектрометр AvaSpec 2048; 7 – компьютер; 8 – генератор импульсов ГИ – 1; 9 – пульт управления

Регистрация интегральных спектров излучения при импульсном электронном возбуждении осуществлялась в следующей последовательности:

1. Закрепить исследуемый образец (3) в держателе, откачивать воздух из измерительной камеры (4).

2. Располагать кварцевое оптоволоконно (5) непосредственно перед выходным окошком измерительной камеры.

3. Запуск спектрофотометра обеспечивается после запуска ускорителя. Внешний генератор импульсов ГИ-1 (7) обеспечивает эту синхронизацию.

Глава 3. Исследование люминесцентных свойств люминофоров при облучении электронными пучками

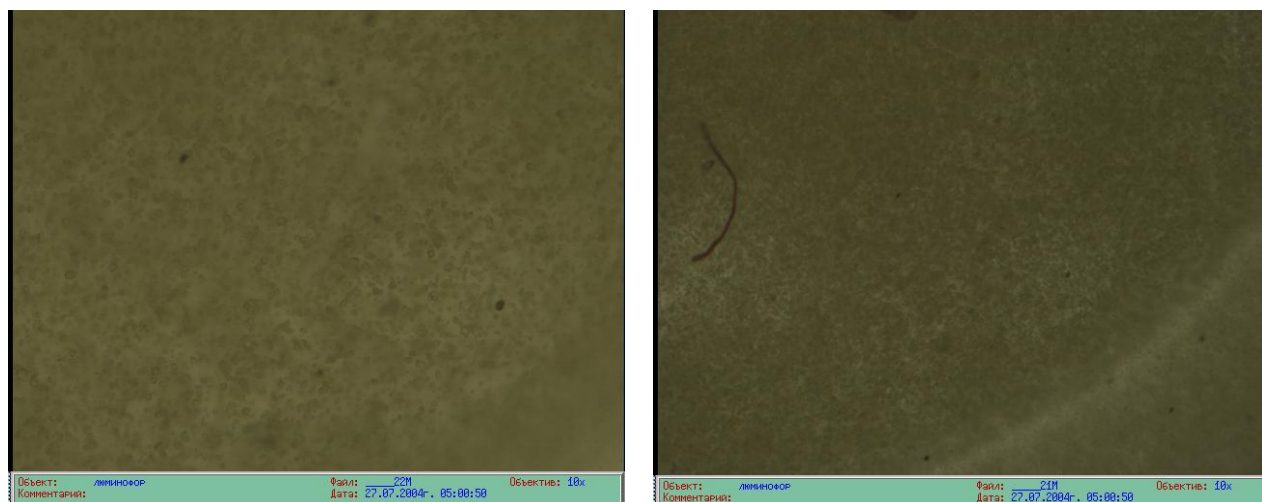
3.1 Исследование структуры и оптических свойств образца

Для исследования образец композитного люминофора толщиной 1,1 мм (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Образец композитного люминофора толщиной 1,1 мм

Фотографии двух противоположных поверхностей образца композитного люминофора, полученные с помощью микровизора проходящего света – μ Vivo-10 показаны на рисунке 3.2. Люминофор достаточно равномерно распределяет в полимере. Образец однороден по составу, включений, скоплений люминофора не наблюдается.



а)

б)

Рисунок 3.2 – Фотографии верхней а) и нижней б) поверхности образца

На рисунке 3.3 представлен спектр отражения от поверхности образца, измеренный с помощью интегрирующего фотометрического шара с диффузно отражающей белой внутренней поверхностью.

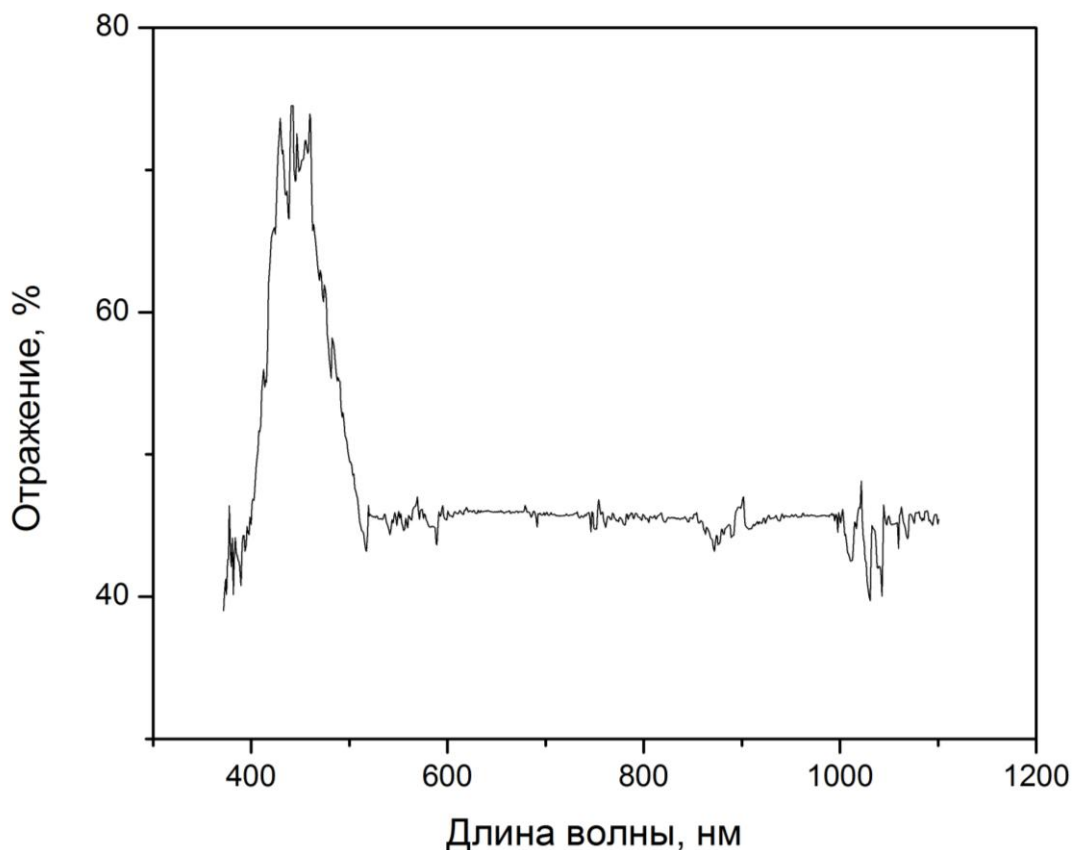


Рисунок 3.3 – Спектр отражения от поверхности образца

Пик в области 450-460 нм связан с люминесцирующей компонентой в суммарном измеряемом потоке. Достоверно оценить величину коэффициента отражения оказалось возможным в большей части видимой и ИК области. Как показано на рисунке, образец отражает около 45 % потока, причем величина коэффициента отражения не меняется в диапазоне 520 – 1100 нм.

3.2 Исследование интегральных спектров свечения

Интегральный спектр импульсной катодолюминесценции люминофора показан на рисунке 3.4. Под действием электронного пучка исследуемый композитный люминофор интенсивно люминесцирует. В спектре регистрируется две полосы свечения: полоса в диапазоне 350 – 450 нм с максимумом на

390 нм, и полоса в области 470 – 750 нм с двумя пиками на 530 нм и 580 нм. Характерным для образца, является присутствие свечения в УФ и видимой области.

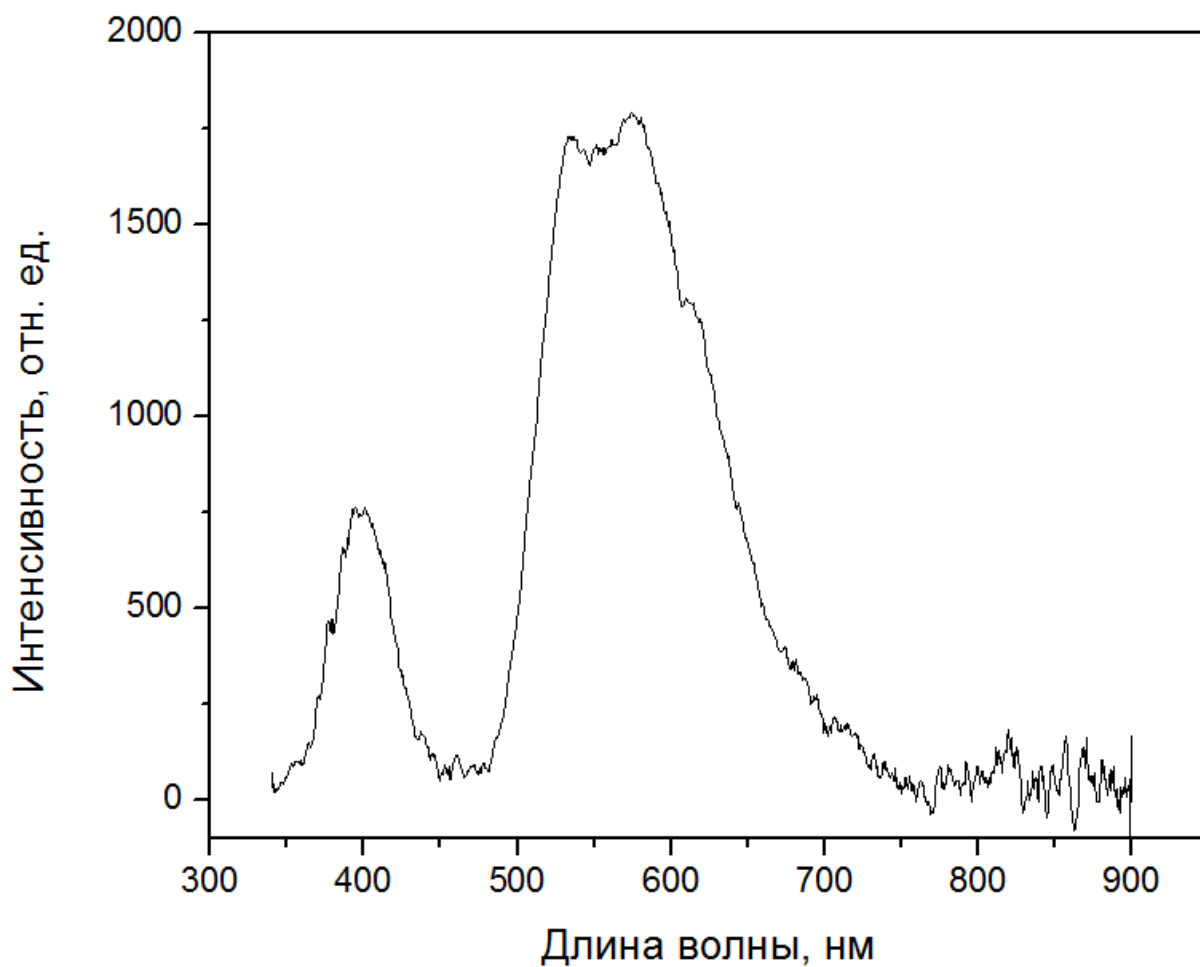


Рисунок 3.4 – Интегральный спектр свечения ИКЛ, зарегистрированный оптоволоконным спектрометром AvaSpec-2048

3.3 Исследование цветовых характеристик свечения

С помощью спектрометра AvaSpec-2048 были измерены цветовые характеристики свечения люминофора. Диаграмма цветности показана на рисунке 3.5. Из рисунка 3.5 видно, что люминофор излучает желтый свет с цветовыми координатами $x = 0,435$; $y = 0,527$; $z = 0,037$. Доминирующие длины волны для данного люминофора 530 нм.

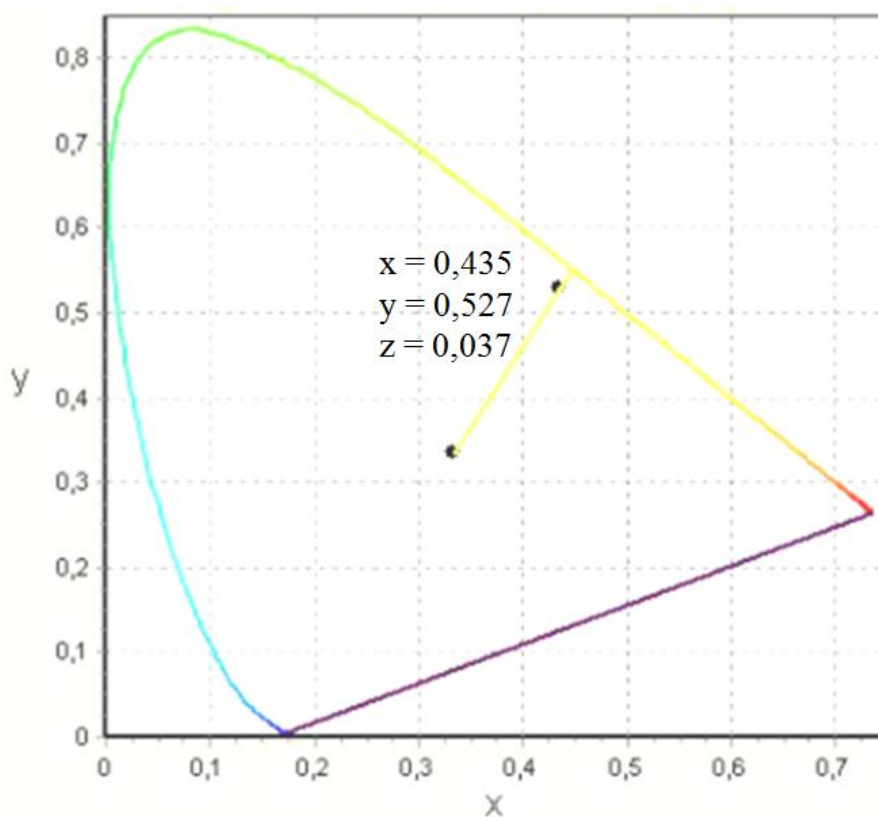


Рисунок 3.5 – Цветовая характеристика свечения композитного люминофора на диаграмме цветности

Как правило, для создания «белых» светодиодов люминофоры с желтым свечением являются оптимальными, как было показано в обзоре литературы. В этом случае возбуждение осуществляется «синим» чипом, которое частично поглощается люминофором и преобразуется в желтый свет, частично проходит сквозь люминофор. Потоки от чипа и люминофора, по законам сложения цветов, в сумме дают белое свечение.

3.4 Исследование спектров свечения с временным разрешением

Спектр импульсной катодолюминесценции люминофора с наносекундным временным разрешением показан на рисунке 3.6. Наблюдаются широкие полосы свечения в области 300 – 450 нм и 480 – 600 нм с максимумами на 390 нм, 530 нм. Кроме того, регистрируется слабый пик в области 570 нм.

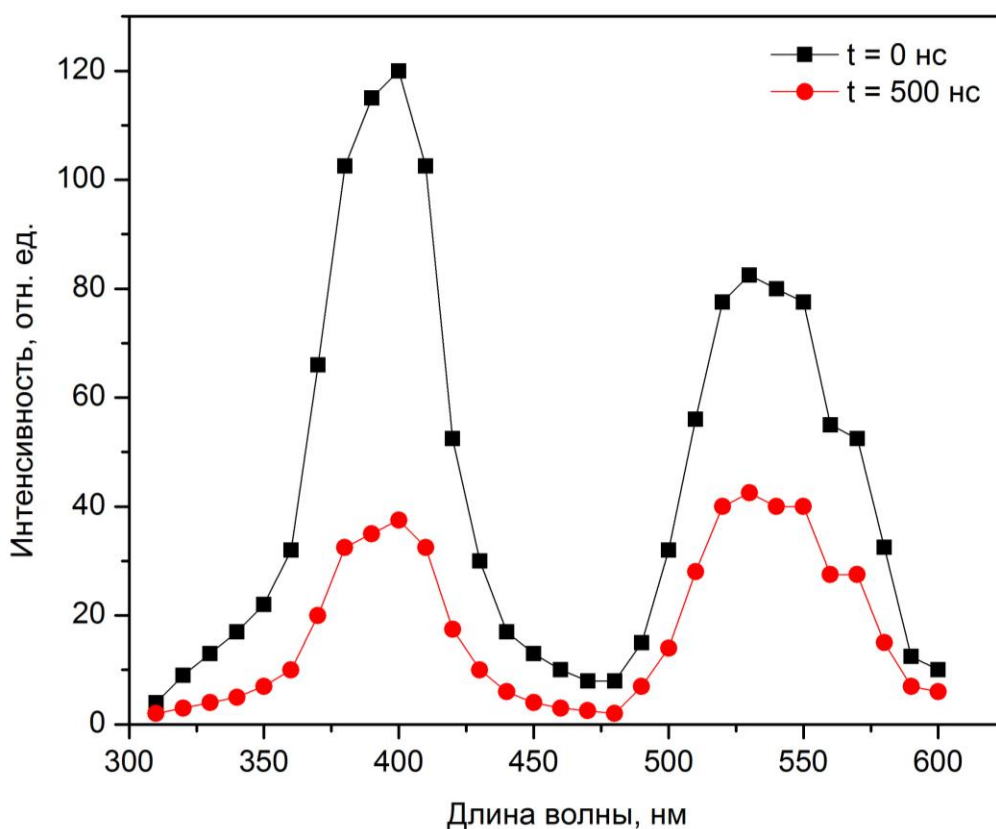


Рисунок 3.6 – Спектр импульсной катодолюминесценции люминофора в моменте воздействия электронного пучка ($t = 0$ нс) и после времени $t = 500$ нс

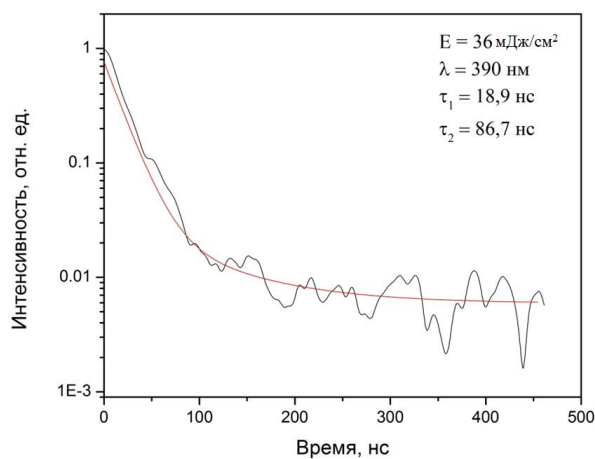
Как можно видеть, при регистрации интенсивности в заданный момент времени после облучения, наблюдается изменение соотношения интенсивностей полос в УФ и видимой области спектра. В начальный момент времени доминирующей является полоса на 390 нм. Как показали исследования, затухание в УФ полосе происходит с большей скоростью. Со временем наблюдается эволюция спектрального состава. В спектре, измеренном через 500 нс после окончания импульса возбуждения,

интенсивности полосы на 530 нм уменьшилась примерно в два раза, а на 390 нм - в три раза. Это свидетельствует о наличии в структуре люминофора нескольких типов центров люминесценции с различными характеристиками. Следует отметить, что положение пиков от способа регистрации не меняется, при этом значительно меняется соотношение интенсивностей полос, по сравнению с интегральным спектром. В частности, пик на 580 нм, достаточно интенсивный в интегральном спектре, в спектре с временным разрешением имеет меньшую интенсивность по сравнению с основной полосой на 530 нм.

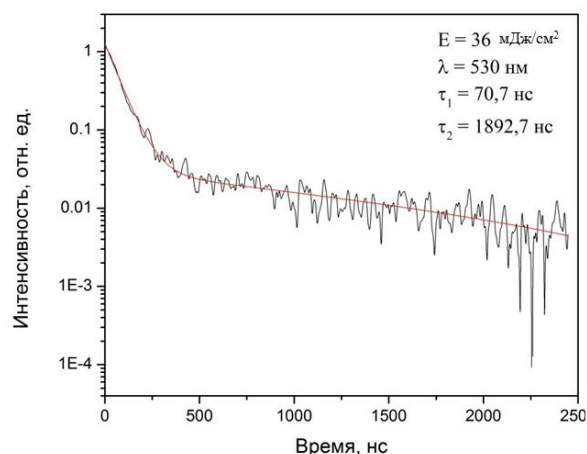
3.5 Исследование кинетики затухания люминесценции

Параметры кинетики затухания люминесценции образца исследовались в наиболее интенсивных полосах 390 нм и 530 нм. Установлено, что при действии электронным пучком параметры кинетики люминесценции в данных полосах значительно различаются. Затухание свечения в УФ области происходит в пределах наносекундного диапазона, в видимой области свечение регистрируется в интервале более 2 мкс. Кинетика не является моноэкспоненциальной, удовлетворительно описывается суммой двух экспоненциальных составляющих: «быстрый» и «медленный» компонент.

В области 300 – 450 нм с максимумом на 390 нм релаксация происходит с характеристическими временами затухания ~ 18,9 нс и 86,7 нс (рисунок 3.7, а). В кинетике релаксации свечения на длине волны 530 нм выделяются две стадии релаксации с характерными временами релаксации 70,7 нс и 1892,7 нс (рисунок 3.7, б).



а)



б)

Рисунок 3.7 – Кинетики затухания люминесценции в полосах 390 нм (а), 530 нм (б) при возбуждении электронным пучком

Как следует из полученных результатов, компонент с временем затухания 70-80 нс регистрируется в обеих полосах свечения. В видимой области существенный вклад в интенсивность дает длинновременная составляющая люминесценции. В УФ полосе компонента с временем затухания около 18 нс определяет более высокую скорость затухания.

3.6 Исследование влияния облучения на люминесцентные свойства композитного люминофора

Устойчивость к деградации композитного люминофора в светодиоде будет оказывать существенное влияние на эксплуатационные свойства светодиодного источника света. Срок службы таких источников превышает 10000 часов и изменение светового выхода люминофора, потемнение полимерной основы в процессе эксплуатации приведет к ухудшению параметров источника света, что недопустимо. В этой связи, исследование влияния облучения на излучательные свойства композитного люминофора имеет большое значение. В качестве источника излучения был выбран малогабаритный ускоритель электронов, генерирующий пучки со средней энергией электронов 250 кэВ. Конструкция ускорителя позволяет варьировать

плотность энергии возбуждения в широких пределах, что дает широкие экспериментальные возможности. Интенсивное облучение электронным пучком позволяет прогнозировать свойства люминофора при более длительном, но менее интенсивном облучении.

На рисунке 3.8 показан интегральный спектр свечения импульсной катодолюминесценции композитного люминофора до и после многократного облучения электронным пучком. Облучение электронным пучком в каждом цикле облучения проводилось с интервалом между импульсами примерно 1 мин. Видно, что интенсивность люминесценции не значительно меняется после облучения электронным пучком. Изменение количества импульсов облучения от 30 до 100 приводит к незначительным изменениям интенсивности люминесценции.

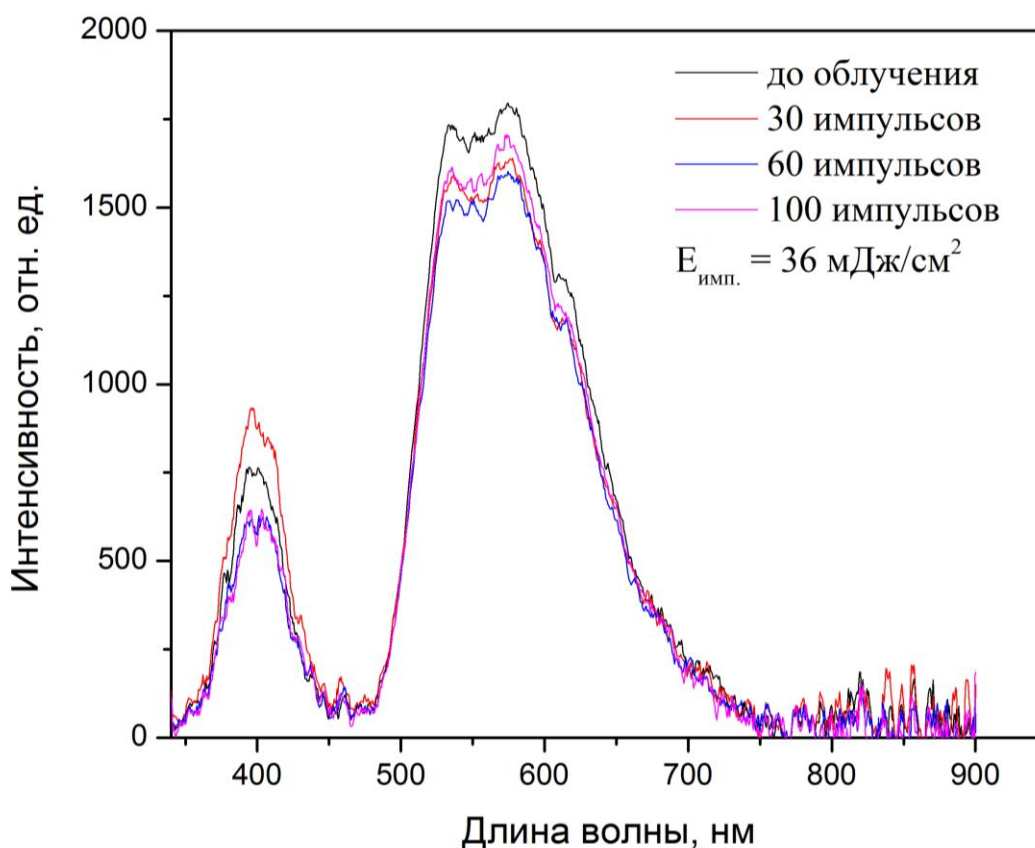
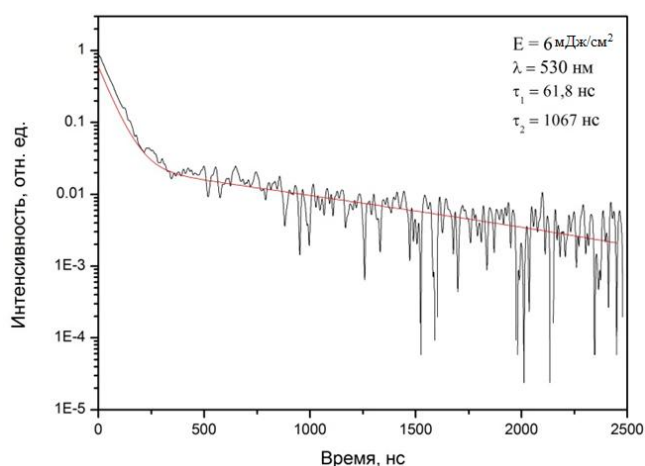


Рисунок 3.8 – Интегральный спектр свечения импульсной катодолюминесценции до и после многократного облучения электронным пучком

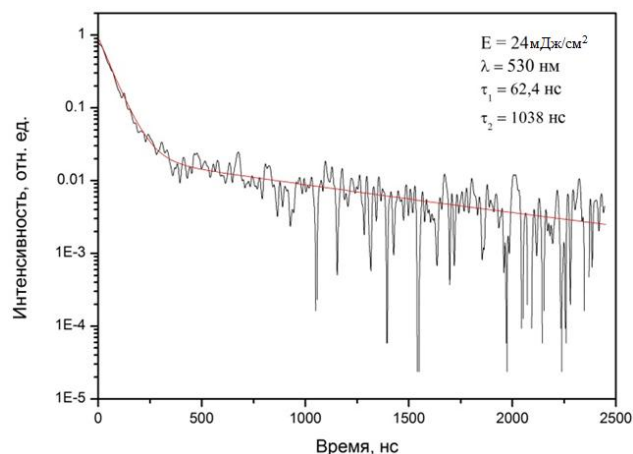
Измерения проводились при плотности энергии пучка электронов около 36 мДж/см². Следует отметить, что интенсивность в некоторых пределах может меняться от импульса к импульсу при одинаковых условиях возбуждения вследствие разброса по энергии пучка электронов, особенностей синхронизации процесса. Т.е. вариации интенсивности в некоторой степени могут быть обусловлены существующей погрешностью измерений. В целом же можно отметить, что многократное облучение композитного люминофора не приводит к ухудшению его излучательных свойств.

3.7 Исследование влияния плотности энергии возбуждения на кинетику затухания люминесценции

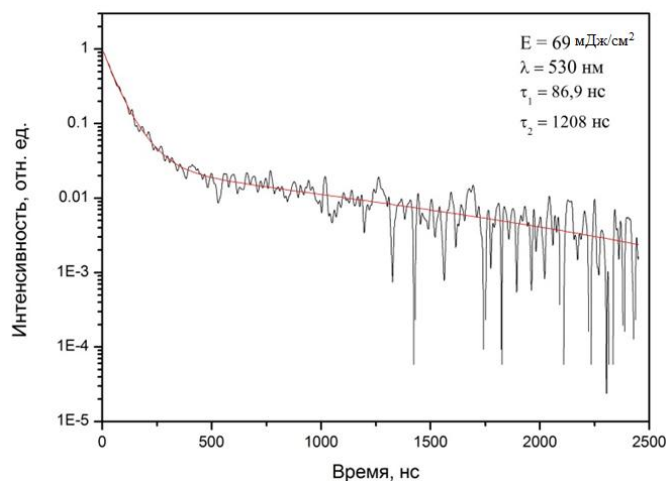
Кинетика затухания свечения исследуемого композитного люминофора в полосе 530 нм при возбуждении электронным пучком разной плотностью возбуждения показана на рисунке 3.9. Интенсивность вспышки в полосе 530 нм обычно выше при высшей плотности возбуждения у электронного пучка. Наблюдается существенное различие в кинетических кривых затухания образца при возбуждении электронным пучком разной плотностью возбуждения в полосе 530 нм. В кинетике релаксации свечения на длине волны 530 нм при возбуждении электронным пучком плотностью $E = 6$ мДж/см² (рисунок 3.9, а), выделяется две стадии релаксации с характерными временами релаксации 61,8 нс и 1067 нс. Двухстадийный характер затухания люминесценции также наблюдается при возбуждении электронным пучком плотностями $E = 12$ мДж/см² (рисунок 3.9, б) и $E = 69$ мДж/см² (рисунок 3.9, г). Основное отличие от релаксации при возбуждении электронным пучком плотностью $E = 6$ мДж/см² заключается в увеличении характеристических времен релаксации до 86,4 нс и 1208 нс.



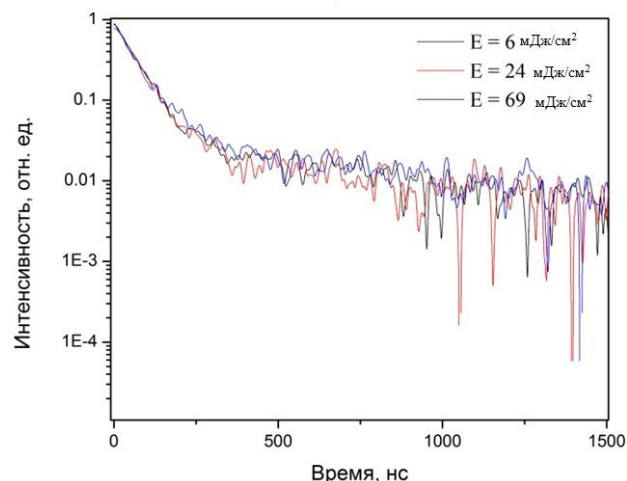
а)



б)



в)



г)

Рисунок 3.9 – Кинетика затухания свечения композитного люминофора в полосе 530 нм при возбуждении электронным пучком разной плотностью возбуждения (а, б, в), сравнение кинетики люминесценции при разных плотностях возбуждения

Таблица 3.1 – Времена затухания свечения композитного люминофора в полосе 530 нм при возбуждении электронным пучком разной плотностью возбуждения

E (мДж/см ²)	6	24	69
τ_1 (нс)	61,8	62,4	86,9

τ_2 (нс)	1067	1038	1208
---------------	------	------	------

Видно, что различие в кинетических кривых затухания образца при возбуждении электронным пучком разной плотностью возбуждения в полосе 530 нм не является значительным (таблица 3.1).

На рисунке 3.10 представлены кинетики затухания свечения исследуемого композитного люминофора в полосе 390 нм при возбуждении электронным пучком разной плотностью возбуждения. Было изучено поведение коротковременного компонента затухания в наносекундном временном интервале.

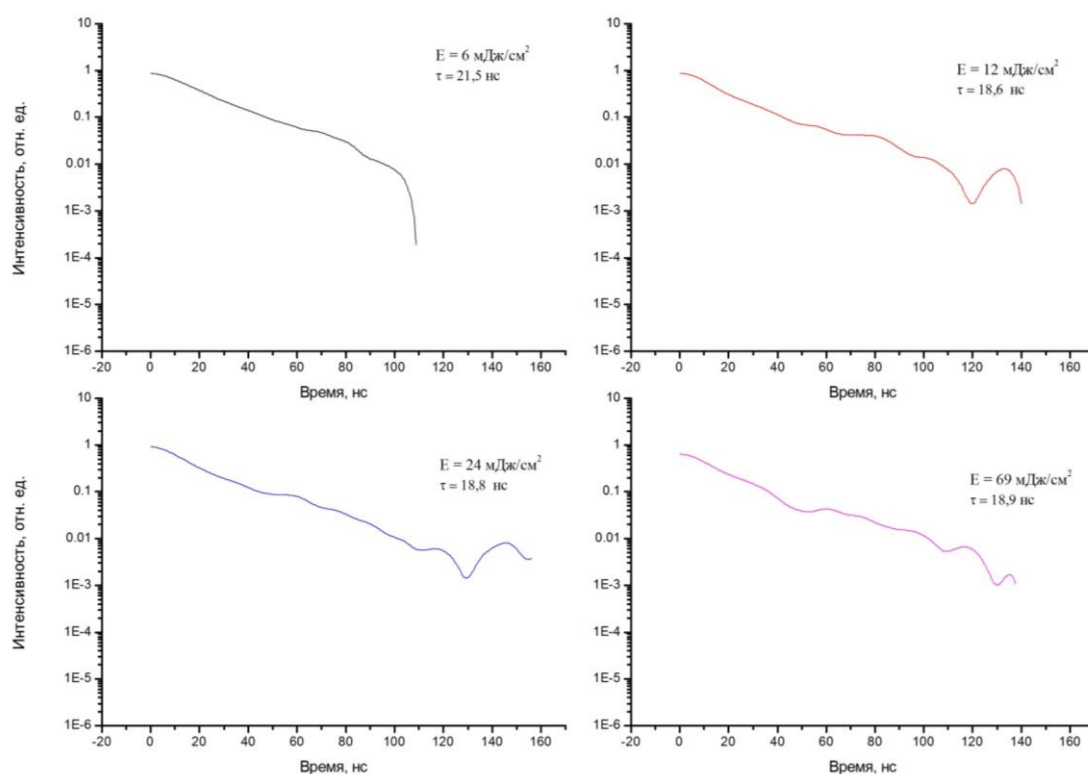
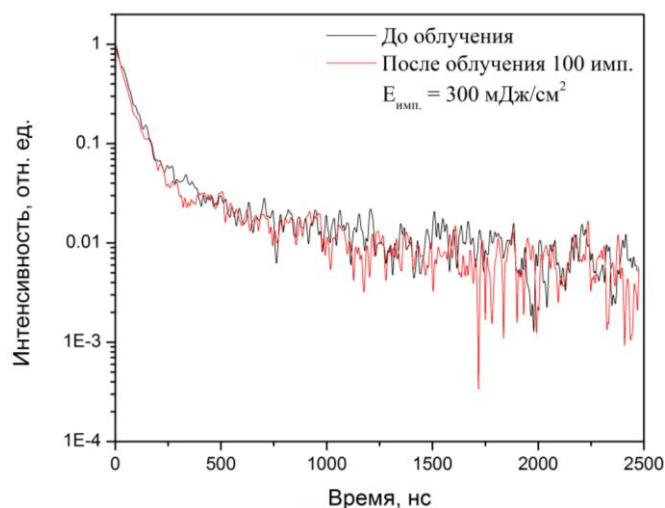


Рисунок 3.10 – Кинетика затухания свечения исследуемого композитного люминофора в полосе 390 нм при возбуждении электронным пучком разной плотностью возбуждения

В наносекундном временном интервале затухания свечения в полосе 390 нм происходит в характеристическом времени ~ 18 -20 нс. Видно, что время затухания практически не изменяется при увеличении плотности возбуждения от 6 до 69 мДж/см².

Было изучено влияние облучения на кинетику в основной полосе свечения при более интенсивном энергетическом воздействии. На рисунке 3.11 представлена кинетика затухания свечения исследуемого композитного люминофора в полосе 530 нм до и после многократно облучения. Плотность возбуждения в этом случае составляла 300 мДж/см^2 .



в)

Рисунок 3.11 – Кинетика затухания свечения исследуемого композитного люминофора в полосе 530 нм до и после многократно облучения электронным пучком высокой плотностью возбуждения

Исследования показали, что характер кинетики затухания люминесценции не меняется. Время затухания свечения композитного люминофора в полосе 530 нм при облучении электронным пучком не меняется в пределах ошибки измерения. Интенсивность свечения в данной полосе также остается стабильной. При интенсивном энергетическом воздействии исследуемый композитный люминофор проявляет значительную деградационную стойкость.

3.8 Исследование влияния температуры на кинетику затухания люминесценции

В процессе работы светодиода люминофор может находиться при повышенных температурах, поэтому необходимо было исследовать влияние

температуры на люминесценцию исследуемого образца. Измерения проводились в интервале до 140 °С.

На рисунке 3.12 показана кинетика затухания свечения композитного люминофора в полосе 530 нм при возбуждении электронным пучком на температурах 50, 90 и 140 °С. Кинетика люминесценции также включает две стадии – быструю и медленную. С ростом температуры характер кинетики не меняется. Однако, наблюдается тенденция к укорачиванию времени затухания, τ длинновременного компонента уменьшается от 685 до 447 нс при увеличении температуры от 50 до 140 °С. При этом величина τ_1 меняется в пределах 60-70 нс. В таблице 3.2 приведены значения времен затухания при различных температурах.

Таблица 3.2 – Времена затухания свечения композитного люминофора в полосе 530 нм при возбуждении электронным пучком при изменении температуры

T (°C)	50	90	140
τ_1 (нс)	62,7	64	72,1
τ_2 (нс)	685,8	426,4	447,5

Следует отметить, что интенсивность свечения в процессе увеличения температуры не менялась значительно. Температурного тушения для данного люминофора в исследованном временном интервале не наблюдается.

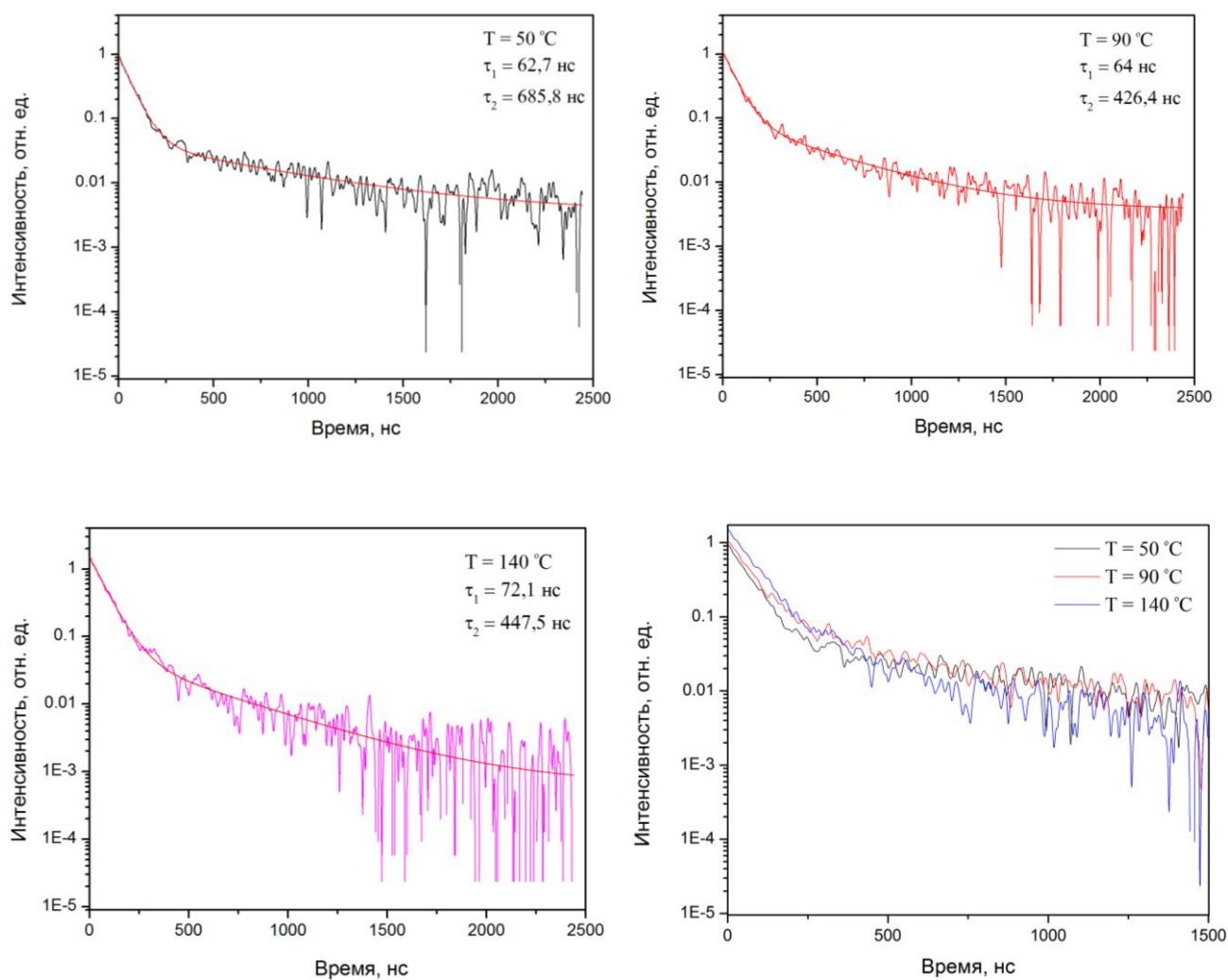


Рисунок 3.12 – Кинетика затухания свечения композитного люминофора в полосе 530 нм при возбуждении электронным пучком при изменении температуры

т.е. экспериментальные исследования показывают, что композитный люминофор на основе иттрий-алюминиевого граната обладает стабильностью излучательных характеристик в пределах рабочих температур светодиода.

Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Белый светодиод по сравнению с традиционными лампами, обладает весьма хорошими характеристиками, такими как низкое энергопотребление, высокий КПД, высокая надежность, длительный срок службы, малый вес и размер устройств, отсутствие ультрафиолетового и инфракрасного излучения в спектре, хорошая механическая прочность, безопасность использования, стойкость к воздействию агрессивных сред и т.д. В настоящее время белые светодиоды редко используются в освещении из-за таких недостатков, как высокая цена, их сложно производить, а также, в большинстве случаев они обладают низким качеством цветопередачи [1].

Одним из самых главных и эффективных способов устранения недостатков является исследование и поиск более эффективных и качественных люминофоров. Общая эффективность светодиода зависит от коэффициента преобразования люминофора. Спектр переизлучения люминофора определяет качество излучаемого света, и т.д. Поэтому, получение более эффективного, долговечного люминофора с необходимым спектром является целью многочисленных исследований.

Результаты данной работы необходимы для разных энергетических компаний, институтов и центров исследования.

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований

4.1.1 Оценка научного уровня исследования

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

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

где $K_{\text{ну}}$ – коэффициент научного или научно-технического уровня;

$K_{\text{дуй}}$ – коэффициент достигнутого уровня i -го фактора;

d_i – значимость i -го фактора;

n – количество факторов.

Результаты расчетов занесем в таблицу 2.1.

Таблица 4.1 – Оценка научного уровня разработки

Показатели	Значимость показателя	Достигнутый уровень	Значение i -го фактора
	d_i	$K_{\text{дуй}}$	$K_{\text{дуй}} \cdot d_i$
1. Новизна полученных или предполагаемых результатов	0,4	0,4	0,16
2. Перспективность использования результатов	0,4	0,3	0,12
3. Завершенность полученных результатов	0,2	1	0,2
4. Масштаб возможной реализации полученных результатов	0,3	0,5	0,15

Результативность	$K_{\text{ну}} = \sum(K_{\text{д}yi} \cdot d_i) = 0,63$
------------------	---

Новизна полученных или предполагаемых результатов: полученные результаты показали преимущества композитных люминофоров по сравнению с обычными.

Перспективность использования результатов: результаты данной работы возможно использовать в будущем, в связи с созданием более эффективных белых светодиодов.

Завершенность полученных результатов: полученные результаты не требуют доработки и усовершенствований.

Масштаб возможной реализации полученных результатов: результаты работы, возможно, реализуются на энергетических заводах или в центрах исследования.

4.1.2 SWOT-анализ исследования

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта[16].

Таблица 4.2 – SWOT-анализ исследования

Сильные стороны	Возможности во внешней среде
С1. Новизна разработки; С2. Результаты данной работы можно применить в исследовании и изготовлении более эффективных белых светодиодов; С3. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.	В1. Возможность применения в практических созданиях; В2. Возможность применения для обучения студентов; В3. Возможность применения в исследовании.
Слабые стороны	Угрозы внешней среды

Сл1. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца.	У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.
Сл2. Трудность в регулировании эксперимента	У2. Развитая конкуренция технологий производства

Из таблицы 4.2 видно, что сильные стороны преобладают над слабыми, и возможности во внешней среде преобладают угрозы. Следовательно, данное исследование удовлетворяет предъявляемым к нему требованиям.

4.2 Организация и планирование научно-исследовательских работ

Для выполнения работы собирается рабочая группа из двух человек, в которую входят научный руководитель (НР) и студент(СТ). Далее составляется поэтапный перечень всех необходимых работ, выбирается оптимальное время их исполнения в рабочих днях и количество задействованных в работе человек. Результаты проделанной работы занесены в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 – Этапы работ

№	Описание работы	Исполнитель
1	Разработка технического задания	НР
2	Подготовка рабочего места и программного обеспечения, материалов	НР, СТ
3	Составление плана исследования и подготовка литературы и справочных данных	НР, СТ
4	Исследование спектрально-кинетических характеристик люминесценции композитного люминофора до и после облучения электронным пучком высокой мощностью	НР, СТ
5	Исследование спектрально-кинетических характеристик люминесценции композитного	НР, СТ

	люминофора после воздействия высокой температурой	
6	Обработка и анализ результатов	СТ
7	Разработка раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	СТ
8	Разработка раздела «Социальная ответственность»	СТ
9	Оформление ВКР по стандарту ТПУ. Подготовка доклада, демонстрационных материалов.	НР, СТ

4.2.1 Линейное планирование

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

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях. Для расчёта ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожи}$ используется следующая формула:

$$t_{ожи} = \frac{3t_{мини} + 2t_{макс}}{5},$$

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

$t_{мини}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{макс}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.

Исходя из расчётов трудоемкости работ, определяется время выполнения каждой i -ой работы (T_{pi}) по формуле:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i},$$

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

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

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

Для примера расчета, рассчитаем ожидаемую трудоемкость и продолжительность работы №1:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 4}{5} = 2,8;$$

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} = \frac{2,8}{1} = 2,8 \approx 3.$$

В таблице 4.4 представлен календарный график работ.

Таблица 4.4 – Календарный график

Название Работы	Трудоёмкость работ			Численность исполнителей $Ч_i$	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}
	t_{\min} , чел-дни	t_{\max} , чел-дни	$t_{ожі}$, чел-дни		
Разработка технического задания	2	4	2,8	1	3
Подготовка рабочего места и программного обеспечения, материалов	3	5	3,8	2	2

Составление плана исследования и подготовка литературы и справочных данных	6	8	6,8	2	7
Исследование спектрально-кинетических характеристик люминесценции композитного люминофора до и после облучения электронным пучком высокой мощностью	5	10	7	2	4
Исследование спектрально-кинетических характеристик люминесценции композитного люминофора после воздействия высокой температурой	5	10	7	2	4
Обработка и анализ результатов	10	15	12	1	12
Разработка раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	5	10	7	1	7
Разработка раздела «Социальная ответственность»	5	10	7	1	7

Оформление ВКР по стандарту ТПУ. Подготовка доклада, демонстрационных материалов.	5	10	7	2	4
---	---	----	---	---	---

Вывод: Из результатов организации и планирования НИР следует, что для реализации НИР необходимо два исполнителя – научный руководитель и студент. Руководитель занимается организационными вопросами, контролем и проверкой расчетов, суммарная длительность работ для него составляет 26 рабочих дней режима. Студент выполняет непосредственно анализы и расчеты, длительность работ для него составляет 47 дня. На выполнение всего исследования исполнителям потребуется 60 рабочих дней.

4.3 Бюджет НТИ

При формировании бюджета учитываются следующие группы затрат:

- 1) материальные затраты;
- 2) затраты на оплату труда;
- 3) отчисления во внебюджетные страховые фонды;
- 4) амортизация;
- 5) накладные расходы.

4.3.1 Расчет материальных затрат

В пункте «Материальные затраты» отражается стоимость приобретенных материалов, которые являются необходимыми компонентами при проведении исследовательских работ.

Материальные затраты сведены в таблицу 4.5.

Таблица 4.5 – Канцелярские расходы

№	Наименование изделия	Количество (ед. штук, упаковок)	Цена единицы изделия, руб.	Общая стоимость изделия, руб.
1	карандаши	1	50	50
2	ручки	2	50	100
3	бумага для печати	200	2	400
Итого:	550 руб.			

4.3.2 Затраты на оплату труда

Расходы по оплате труда определяются исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов.

Дополнительная заработная плата исполнителей равна 12 % от основной заработной платы, а также зарплата зависит от географического места работы.

$$Z_{\text{зп}} = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \cdot 1,3,$$

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

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (12 % от $Z_{\text{осн}}$);

1,3 – районный коэффициент для г. Томска.

Расчет заработной платы представлен в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Расчет заработной платы

Исполнитель и	Н дней , дн	Оклад , руб	Доплат ы премии, руб.	$Z_{мес}$, руб./мес	$Z_{день}$, руб./день	$Z_{осн}$, руб.	$Z_{доп}$, руб	$Z_{зп}$, руб
НР	26	23000	9,2	41860	1900	4940 0	5928	7193 0
СТ	47	17000	5,1	28730	1310	6157 0	7390	8965 0
Итого $Z_{зп}$		161580 рублей						

4.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды - это обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Отчисления во внебюджетные фонды определяются по следующей формуле:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot Z_{зп}$$

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

В соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%.

Итого по отчислениям во внебюджетные фонды:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot Z_{\text{зп}} = 161,58 \cdot 0,3 = 48,474 \text{ тыс.руб.}$$

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнители	$Z_{\text{зп}}$, руб.	$Z_{\text{внеб}}$, руб.
Студент	89650	26895
Научный руководитель	71930	21579
Итого:		48474

4.3.4 Накладные расходы

К элементу «Накладные расходы» относятся налоги, сборы, платежи по обязательному страхованию имущества, платежи за предельно допустимые выбросы загрязняющих веществ; вознаграждения за изобретения и рационализаторские предложения; затраты на командировки; плата сторонним организациям за пожарную и сторожевую охрану; за подготовку кадров; оплата услуг связи, вычислительных центров, банков; плата за аренду; представительские расходы; затраты на ремонт. И принимаются на уровне 16 % от затрат на осуществление технического проекта.

Величина накладных расходов определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = Z_{\text{затраты на исследование}} \cdot k_{\text{нр}}$$

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

4.3.5 Формирование сметы бюджета затрат

Смета бюджета затрат отражает сумму средств необходимых для конкретного пункта исследования.

Смета бюджета затрат представлена в таблице 4.8

Таблица 4.8 – Смета бюджета затрат

Наименование статьи	Сумма, руб.	Структура, %
1. Материальные затраты	550	0,22
2. Затраты на оплату труда исполнителей	161580	64,45
3. Отчисления во внебюджетные фонды	48474	19,33
5. Накладные расходы	40115	16
Бюджет затрат	250719	100

Общая сумма расходов на осуществление исследования – 250719 руб.

Наибольшие расходы приходятся на затраты на оплату труда (64,45 % от всей суммы).

4.4 Определение ресурсоэффективности исследования

Определение ресурсоэффективности исследования можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности:

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

b_i – балльная оценка разработки, устанавливаем экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

Для нормального функционирования данного исследования необходимо принять ряд критериев. В данном случае выбираем следующие:

Для нормального функционирования данного проекта необходимо принять ряд критериев. В данном случае выбираем следующие:

1. надежность – стабильная работа оборудования во долгом времени;
2. гибкость – способность проекта реагировать на изменение условий, в данном случае, гибкость между проведением экспериментов и анализом измеренных результатов;
3. адаптивность – возможность приспособить данный проект под другим условиям, в данном случае это изменение комнатной температуры или изменение света в комнате
4. простота эксплуатации – исследование должно быть выполнен с обеспечением рационального расположения элементов, ясностью и простотой схемы, с целью создания условий для работы с проектом персонала средней квалификации;
5. экономичность – исследование должно быть выполнен таким образом, чтобы затраты на его создание, эксплуатацию и развитие были минимальными при условии соблюдения требований гибкости, безопасности и надежности.

После выбора критериев оцениваем их по 5-и бальной шкале и определяем интегральный показатель, с помощью которого делаем вывод об эффективности использования технического проекта.

Оценочные критерии для расчета интегрального показателя ресурсоэффективности приведены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Оценочные критерии исследования

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
1. Надежность	0,25	5
2. Гибкость	0,20	4
3. Адаптивность	0,10	3
4. Простота эксплуатации	0,20	4
5. Экономичность	0,25	4
Итого:	1,00	

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = 0,25 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,25 \cdot 4 = 4,15$$

По 5-балльной шкале показатель ресурсоэффективности исследования имеет достаточно высокое значение, что говорит об эффективности использования исследования.

Проведя анализ данного раздела, была получена оценка научного уровня и произведено планирование научно-исследовательской работы.

Результаты данного исследования могут быть использованы в исследовании и создании белых светодиодов. Данная работа может быть опубликована и использоваться для анализа и оценки разных люминофоров. За счет проведения исследования на базе помещения с необходимыми средствами для расчета экономится значительная часть финансовых ресурсов. В итоге затраты исследования составили 250719 рублей. Это позволяет утверждать, что данное исследование эффективно, так как средняя цена проведения анализа в данной области гораздо выше. Проведение SWOT-анализа и определение ресурсоэффективности показало, что исследовательский проект удовлетворяет предъявляемым к нему требованиям, а также эффективности его использования.

Глава 5. Социальная ответственность

Целью этого раздела работы является разработка вопросов производственной и экологической безопасности на рабочем месте на установке «Импульс-1», в лаборатории «Импульсной оптической спектрометрии» кафедры оптики и светотехники ТПУ, где были проведены экспериментальные исследования для данной дипломной работы, а также разработка мероприятий по обеспечению безопасности при проведении экспериментов и противопожарной профилактике.

5.1 Анализ вредных факторов на рабочем месте

Основная часть экспериментов в данной дипломной работе направлены на изучение спектров и кинетики люминесценции стекол легированные ионами лантаноидов. Эксперименты проводились на установке «Импульс-1», эксплуатация которой связана с существованием и возможным появлением ряда опасных и вредных факторов:

1. Световое излучение импульсной лампы в момент вспышки может вызвать временную потерю зрения, нарушения зрительной адаптации.

2. Импульсная лампа является источником УФ-излучения, которое обладает фотохимическим и ионизационным действием, которое может раздражающе подействовать на слизистую оболочку дыхательных путей.

3. Нарушение механической целостности кварцевой колбы импульсной лампы опасно попаданием осколков на работающего.

4. Излучение лазера обладает значительной интенсивностью. Опасным является попадание в глаза луча лазера или его отражение. Возможно поражение электрическим током при случайном прикосновении к токоведущим частям установки.

5. Постоянный шум, создаваемый при работе форвакуумного насоса и систем охлаждения приборов, оказывает вредное воздействие на психику работающего, вызывая переутомление.

6. Неосторожное обращение с жидким азотом может привести к обморожению высокой степени.

7. Загрязнение воздуха может произойти в результате выброса масла из диффузионного насоса.

8. Перенапряжение органов зрения возможно при длительной работе с осциллографом или при недостатке освещения в лаборатории.

5.1.1 Санитарные требования к помещению лаборатории

Помещение лаборатории должно соответствовать по своим размерам (площади, объему) количеству работающих. Для обеспечения нормальных условий труда санитарные нормы СП 60.13330.2012 устанавливают на одного работающего объем производственного помещения не менее 15 м³, площадь помещения не менее 4,5 м² [23]. В лаборатории одновременно работают три человека. Высота помещения (H) составляет 3 м, длина (B) – 8 м, ширина (L) – 6 м.

Таким образом, площадь помещения $S = 48 \text{ м}^2$, объем $V = 144 \text{ м}^3$. Следовательно, на одного работающего приходится 24 м² площади и 72 м³ объема лаборатории, т.е. параметры помещения удовлетворяют санитарным нормам [23].

5.1.2 Микроклимат

Согласно ГОСТ 12.1.005-88 (2000) устанавливается комплекс оптимальных и допустимых метеорологических условий для рабочей зоны помещения, включающей требования к температуре воздуха, влажности, скорости движения воздуха.

Необходимость учета основных параметров микроклимата обусловлена существованием теплового баланса между организмом человека и окружающей средой производственного помещения. Параметры микроклимата

оптимизируются для нормальной регуляции жизненных процессов. Поддержание температуры на уровне $20 \div 25$ °С. Согласно паспорту лаборатории относительная влажность в помещении 50-60 %, скорость движения воздуха 0.2 м/с[23]. Работа в помещении относится к категории работ Ia с интенсивностью энерготрат до 120 ккал/ч, производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением. В помещении для удаления вредных веществ из воздуха рабочей зоны используется общеобменная вентиляция. Очистка от вредных примесей в воздухе, осуществляется кондиционерами. Условие труда изложено в таблице 10 и соответствует нормам..

Таблица 5.1 – Микроклимат для работы в помещении установки «Импульс-1»

	Категория работ	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, t°С	Относительная влажность воздуха, φ%	Скорость движения воздуха, м/с	
		Диапазон ниже оптимальных величин t° _{опт}	Диапазон выше оптимальных величин t° _{опт}			Если t° < t° _{опт}	Если t° > t° _{опт}
Холодный	Ia	20,0 - 21,9	24,1 - 25,0	19,0 - 26,0	15 - 75 "±"	0,1	0,1
Теплый	Ia	21,0 – 22,9	25,1 - 28,0	20,0 - 29,0	15 - 75 "*"	0,1	0,2

5.1.3 Уровень шума

В результате гигиенических исследований установлено, что шум ухудшает условия труда, оказывая вредное воздействие на организм человека. При длительном воздействии шума на организм человека происходят

нежелательные изменения: снижается острота зрения и слуха, повышается кровяное давление, притупляется внимание. Сильный продолжительный шум может быть причиной функциональных изменений сердечно-сосудистой и нервной системы. Учитывая тот факт, что шум оказывает неблагоприятное воздействие на процесс мышления и научной деятельности, в лаборатории уровень внутренних шумов снижен до минимума, превышение предельно допустимого уровня 60 дБ, установленный ГОСТ 12.1.003-83 (1999), отсутствуют. Для снижения шума при работе форвакуумного насоса применяется звукоизолирующий кожух, установленный на резиновые амортизаторы. Кроме того, здание, в котором находится лаборатория, удалено от сильных источников шума: центральных улиц, автомобильных и железных дорог, аэропортов и т.д.

5.1.4 Освещение

Производственное освещение.

Одно из условий нормальной работы – обеспечение нормальной освещенности. Освещенность рабочего места должна быть согласно СП 52.13330.2011 в пределах 300лк.

Требования к освещенности рабочего места:

- освещенность должна соответствовать характеру зрительной работы;
- величина освещенности должна быть постоянна во времени;
- регулярная чистка застекления световых проемов, обеспечивающих естественное освещение;
- регулярная чистка светильников в сроки, предусмотренные нормативами.

Принято отдельное нормирование освещенности в зависимости от применяемых источников света и системы освещения. Величина минимальной освещенности устанавливается по характеристикам зрительной работы, которую определяют наименьшим размером объекта различения, контрастности объекта с фоном и характеристикой фона. Различают восемь разрядов и четыре подразряда работы в зависимости от степени зрительного

напряжения. Зрительная работа, производимая в помещении, относится к 5 разряду, т.е. к разряду средней точности.

В данной лаборатории естественное освещение осуществляется через одно окно, следовательно естественное освещение практически отсутствует, это связано с тем что выполнение работ требует затемнения.

В лаборатории имеется 8 люминесцентных ламп, следовательно система освещения в лаборатории является достаточной.

Таблица 5.2 – Взаимосвязь нормируемых параметров искусственного освещения с характеристиками зрительных работ в помещении установки «Импульс-1»

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной	Относительная продолжительность зрительной работы, %	Освещенность на рабочей поверхности от системы общего искусст-	Средний КЕО при верхнем и боковом освещении, %	Минимальный КЕО при боковом освещении, %	
1	2	3	4	5	6	7	8
Различение объектов при фиксированной линии зрения							
Средней точности	>0,5	В	1	≥70	150	2,0	0,5
			2	<70	100	2,0	0,5
Обзор окружающего пространства							

продолжение таблицы 11

Высокая насыщенность помещения светом	-	Г	-	-	300	3,0	1,0
Общая ориентировка в пространстве интерьера							
Малое скопление людей	-	Ж	2	-	50	-	-

Общая ориентировка в зонах передвижения							
Малое скопление людей	-	3	2		20	-	-

5.2 Анализ опасных факторов на рабочем месте

5.2.1 Электробезопасность

Лаборатория, в которой проводились работы, оснащена электрическим оборудованием и установками, что обуславливает необходимость проведения мероприятий по предотвращению воздействия на человека такого опасного производственного фактора как электрический ток. Кроме того, неисправность электрооборудования и электропроводки может стать причиной термического поражения человека или возникновения пожара.

Поражающее действие электрического тока зависит от значения и длительности протекания тока через тело человека, рода и частоты тока, места протекания тока, индивидуальных свойств человека. Наиболее опасным для человека является переменный ток с частотой 20 – 100 Гц. Опасной величиной тока является ток, равный 0.001 А, а смертельный 0.1 А. Поэтому следует соблюдать технику электробезопасности.

Согласно требованиям «Правил устройства электроустановок», утвержденных Госэнергонадзором от 12.04.2003, лаборатория, где производится проектирование прибора, оборудована следующим образом:

- на распределительном щитке имеется рубильник для отключения общей сети электропитания;
- во всех приборах имеются предохранители для защиты от перегрузок в общей сети питания и защиты сети при неисправности прибора.

Эксплуатация приборов должна соответствовать «Правилам технической эксплуатации» электроустановок промышленных предприятий. Согласно этим правилам необходимо исключить возможность прикосновения человека к

токоведущим частям приборов. Для этого проводятся следующие мероприятия:

- учитывая, что все приборы и устройства по способу защиты человека от поражения электрическим током, в соответствии с ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ имеют класс не ниже 1, все приборы заземляются путем присоединения металлических корпусов или частей приборов к контурному заземлению, проведенному в лаборатории;

- сопротивление изоляции всех токоведущих проводников должно быть не менее 1 МОм;

- для подключения приборов должны использоваться только стандартные электрические разъемы;

- при проведении работ с включенными приборами строго соблюдается инструкция по технике безопасности;

- запрещено использование в работе неисправных приборов;

- конструкции приборов непромышленного производства, применяемых в работе, закрыты кожухами соответствующей степени защиты электрооборудования, согласно ГОСТ 12.2.061-81 ССБТ, исключающими прикосновение работающего к токоведущим частям, а также контактными площадками для подключения заземляющего проводника. На задних стенках приборов и устройств, которые питаются от сети 220 В, 50 Гц имеется надпись красными буквами «Опасно! Высокое напряжение!».

С целью устранения опасности поражения электрическим током, в помещении проведено контурное защитное заземление. На улице на расстоянии двух метров от лаборатории на глубине 2 метров закопан медный лист (площадью 1×1 м), на котором прикручена медная шина (сечение 1×10 см). И эта медная шина контуром полностью уходит в помещение 48 м². Медная шина соединена с источником питания с помощью закрученных болтов и опояна зарыта полностью. То есть обеспечивает надежное заземление.

Лаборатория удовлетворяет приведенным выше требованиям, поэтому ее можно отнести к помещениям без повышенной опасности поражения людей электрическим током. Это сухое помещение без повышенного напыления, температура воздуха – нормальная, пол помещения покрыт изоляционным материалом, поэтому мы не рассматриваем дополнительного требования.

Повышенная электробезопасность при работе на установках в лаборатории обеспечивается применением защитного экрана, защитного заземления и т.д..

5.2.2 Расчет защитного заземления

Целью расчета защитного заземления является определение основных параметров заземления, при которых напряжение прикосновения и шага в период замыкания фазы не превышают допустимых значений. Способ расчета основан на применении коэффициентов использования проводимости заземлителя. Расчет сделан по допустимому сопротивлению растеканию тока заземлителя[24].

Данные для расчета:

1. Напряжение питания электроустановки: 380В;
2. Сеть: глухозаземленная нейтраль;
3. Мощность источника питания сети: 25 кВт;
4. Ток замыкания на землю $I_3 < 500$ А;
5. Форма и размер вертикальных электродов: труба с диаметром $d_{\text{э}} = 15$ см и длиной $l_{\text{э}} = 1.6$ м;
6. Отношение расстояний между заземлителями к их длине составляет $a/l = 2.5/1.6 \approx 2$;
7. Форма горизонтального электрода: полоса толщиной $b = 15$ см, длиной $l_{\text{э}} = 2.6$ м;
8. Климатическая зона I: грунт – влажный песок, $\rho = 700$ Ом·м;
9. Допустимое сопротивление по растеканию тока заземляющего устройства: $R_{\text{д}} = 10$ Ом;

10. Тип заземляющего устройства: контурный

11. Размеры контура заземления $L_1 = 8$ м, $L_2 = 5$ м;

Расчет параметров заземлителя

1. Суммарная длина горизонтального электрода: $l_r = 2(8+5) = 26$ м.
Учитывая, что расстояние между вертикальными электродами принимают не менее 2.5 – 3.0 м примем количество вертикальных электродов $n = 20$ шт..

2. Расчетное значение удельного сопротивление грунта для вертикального заземлителя:

$$\rho_{\text{в}} = \rho_{\text{гр}} \cdot K_{\text{п}} = 700 \cdot 2 = 1400 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

для горизонтального заземлителя:

$$\rho_{\text{г}} = \rho_{\text{гр}} \cdot K_{\text{п}} = 700 \cdot 4.5 = 3150 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

3. Сопротивление одиночного вертикального заземлителя $R_{\text{в}}$, верхний край которого находится на поверхности земли определяется по формуле:

$$R_{\text{в}} = 0.366 \cdot \frac{\rho_{\text{в}}}{l} \cdot \lg \frac{4l}{d}, \text{ Ом}$$

где $\rho_{\text{в}}$ – сопротивление вертикального электрода, найденное выше, l – длина, d – диаметр вертикального электрода. $R_{\text{в}} = 56$ Ом.

4. Сопротивление горизонтального заземлителя $R_{\text{г}}$ расположены на поверхности земли определяется по формуле:

$$R_{\text{г}} = 0.183 \cdot \frac{\rho_{\text{г}}}{l} \cdot \lg \frac{2l}{0.5b}, \text{ Ом}$$

где $\rho_{\text{г}}$ – сопротивление горизонтального электрода, l – длина, b – ширина горизонтального электрода

$$R_{\text{г}} = 0.183 \cdot \frac{3150}{26} \cdot \lg \frac{2 \cdot 26}{0.5 \cdot 0.15} = 63 \text{ Ом.}$$

5. Расчетное сопротивление заземлителя $R_{\text{з}}$ определяется как:

$$R_3 = \frac{R_B \cdot R_T}{R_B \cdot \eta_T + R_T \cdot \eta_B \cdot n}, \text{ Ом}$$

где η_T и η_B - коэффициенты определяются по табл.4, n - количество вертикальных электродов.

При правильно рассчитанном устройстве заземления должно выполняться условие: $R_3 \leq R_d$

$$R_3 = \frac{56 \cdot 63}{56 \cdot 0.32 + 63 \cdot 0.63 \cdot 20} = 9.3 \text{ Ом}$$

Расчетное сопротивление заземлителя R_3 меньше допустимого значения R_d , это свидетельствует о том, что все основные параметры принятого нами заземлителя (форма, размеры, размещение электродов в земле и относительно друг друга) выбраны правильно, следовательно, напряжения прикосновения и шага находятся в допустимых пределах.

5.2.3 Инструкции

На основании материала рассмотренного в этом разделе были составлены инструкции, которые при соблюдении сведут риск поражения электрическим током и пожарной опасности к минимуму.

К рабочему месту инженера предъявляются следующие требования:

1. Все электрооборудование лаборатории должно быть заземлено, токоведущие части закрыты защитными крышками.
2. Электроизмерительные приборы, розетки, кабели и провода с инструментом должны находиться в исправном состоянии, а переносные светильники должны иметь защитные стекла или сетки.
3. Допустимый уровень шума на рабочем месте не должен превышать 60 дБ.
4. В местах постоянного дежурства должна находиться медицинская аптечка.

Запрещается:

1. Включать электроприборы без заземления.
2. Использовать в качестве заземления водопроводные или отопительные трубы.
3. Производить монтаж или ремонт при включенном электропитании
4. Использовать в работе неисправные электроинструменты.
5. Эксплуатация устройства лицами, не ознакомленными с настоящей инструкцией.

Инструкция по правилам пожарной безопасности при работе в лаборатории (общие положения):

6. Все сотрудники лаборатории обязаны знать и соблюдать правила пожарной безопасности (ПБ).
7. По окончании работ ответственный обязан выключить общее электропитание лаборатории.

При обнаружении дефектов в изоляции электроприборов и проводов немедленно сообщить об этом лицу, ответственному за ПБ.

5.3 Охрана окружающей среды

Защита окружающей среды – это комплексная проблема, требующая усилий многочисленных людей. Наиболее активной формой защиты окружающей среды от вредного воздействия выбросов промышленных предприятий является полный переход к безотходным и малоотходным технологиям и производствам. Важным направлением экологизации промышленного производства следует считать совершенствование технологического процесса и разработку нового оборудования с меньшим уровнем выбросов, примесей и отходов в окружающую среду.

В качестве дополнительных средств защиты применяют: аппараты и системы для очистки газовых выбросов, сточных вод от примесей; глушители шума при сбросе газов в атмосферу и др. эти средства защиты постоянно совершенствуются и широко внедряются в технологические и эксплуатационные циклы во всех отраслях народного хозяйства.

5.4 Защита в чрезвычайных ситуациях

Наиболее типичной чрезвычайной ситуацией в условиях проводимых работ является возникновение пожара. Согласно ГОСТ 12.1.033 – 81 понятие пожарная безопасность означает состояние объекта, при котором с установленной вероятностью исключается возможность возникновения и развития пожара и воздействия на людей опасных факторов пожара, а также обеспечивается защита материальных ценностей. Пожарная безопасность обеспечивается мерами противопожарной профилактики направленной на исключение возникновения и поддержания условий горения и включает комплекс мероприятий необходимых для предупреждения возникновения пожара, ограничения распространения огня, защиты людей и тушения пожара.

Лаборатория где находится установка «Импульс-1» согласно Технический регламент « О требованиях пожарной безопасности»от 22 июля 2008 года № 123-ФЗ относится к категории В.

Возникновение пожара при работе с электронной аппаратурой может быть по причинам как электрического, так и неэлектрического характера.

В целях снижения пожарной опасности проводятся технические, эксплуатационные и организационные мероприятия. Технические мероприятия обуславливают требования противопожарных норм при проектировании зданий, электрических установок системы отопления и т.д.

Эксплуатационные – требования по эксплуатации оборудования, ремонту, правильному содержанию.

Организационные меры требуют обучения персонала правилам пожарной безопасности.

Предупреждения возникновения пожара достигается исключением образования горючей среды и источников возгорания или поддержанием параметров среды в пределах исключающих горение.

На случай возникновения пожара, внутри здания имеются средства по тушению: противопожарные краны, огнетушители, ящики с песком.

Для организации эвакуации в коридорах вывешены схемы с указанием всех возможных путей, которыми можно покинуть здание (рисунок 5.1).

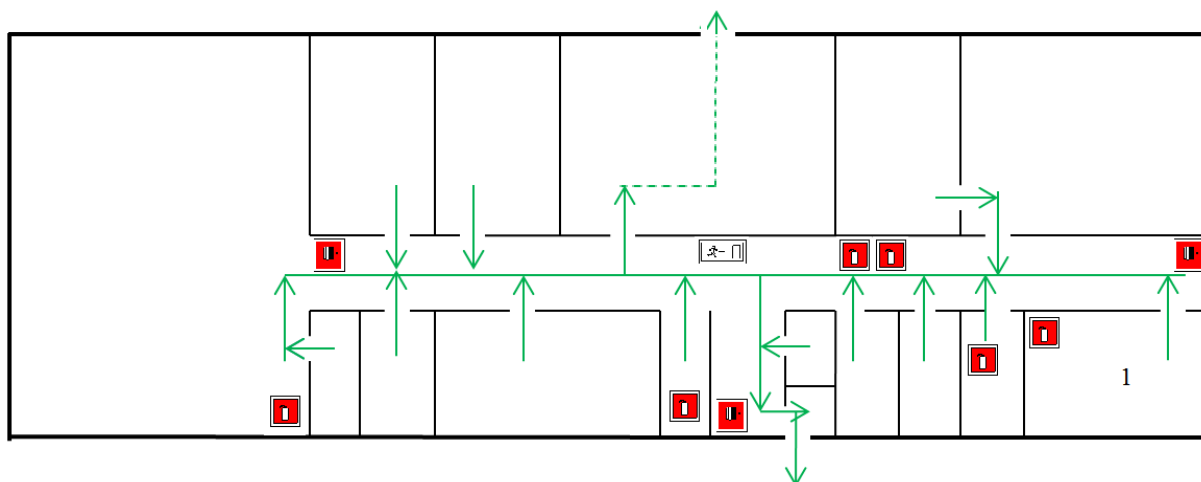


Рисунок 5.1 – Схема эвакуации

1- Установка «Импульс - 1»



- огнетушитель



- пожарный кран



- направление движения

— - путь к основному эвакуационному выходу

- - - - - путь к запасному эвакуационному выходу

Средства пожаротушения для прекращения горения применяются различными способами: охлаждение зоны реакции или самих горючих веществ; разбавление реагирующих веществ – снижение концентрации одного из реагентов; химическое торможение реакции горения; изоляция реагирующих веществ от зоны сгорания. В помещении имеются углекислотные огнетушители ОУ-5. Он предназначен для тушения электрооборудования под напряжением до 1000В и др. предметы. При загорании нужно поднести огнетушитель к

загоранию, выдернуть чеку и нажав на нижний рычаг направить струю на огонь. Необходимо также вызвать пожарную охрану.

Заключение

Исследованы спектрально-кинетические и цветовые характеристики люминесценции композитного люминофора на основе силикона с внедренными кристаллами иттрий-алюминиевого граната при воздействии сильнофокусированного электронного пучка.

1. Установлено, что в спектре ИКЛ композитного люминофора на основе ИАГ регистрируется две полосы свечения с максимумами на 390 и 530 нм с различными временами затухания. «Синяя» полоса затухает с постоянной времени ~ 20 нс, «желтая» ~ 1000 нс.
2. Показано, что при изменении плотности энергии возбуждения от 6 до 69 мДж/см² кинетика люминесценции в полосе на 390 нм не изменяется, кинетика люминесценции в полосе на 530 нм изменяется в пределах 61,8 – 86,9 нс в коротковременной стадии, а в длинновременной стадии 1038 – 1208 нс.
3. Установлено, что интенсивное воздействие потоком ускоренных электронов на композитный люминофор не приводит к изменению его излучательных характеристик.
4. Показано что при изменении рабочей температуры от комнатной до 150 °С интенсивность свечения меняется не значительно, кинетика люминесценции укорачивается в полосе 530 нм от 685,8 до 426,4 нс.

Таким образом, можно отметить, что исследованный композитный люминофор отвечает основным требованиям для его использования в светодиодах, обладает устойчивостью к деградации при облучении электронами, температурной устойчивостью.

Список используемой литературы

1. Ф. Шуберт. Светодиоды. Перевод с английского под редакцией А.Э. Юновича. Москва: Физматлит, 2-е издание. 2008. 496 с.
2. Казгикин О.Н., Марковский Л. Я., Миронов И. А., Пскерман Ф. М., Петошина Л. Н.. Неорганические люминофоры//Издательство «Химия», 1975, 192 с.
3. Kim J. K., Schubert E. F., Luo H., Cho J., Park Y. and Sone C. "Strongly enhanced phosphor efficiency in GaInN white light-emitting diodes using remote phosphor configuration and diffuse reflector cup" Jpn. J. Appl. Phys. - Express Letter 44, L 649 (2005).
4. Вавилов С.И. Собрание сочинений. Т. 2. М., Изд. АН СССР, 1952, 547 с.
5. Gisolf I. H. «Physica», 1939, p. 295—355.
6. Bril A., Van Meurs-Hoekstra W. Phil. Res. Repts, 1964, v. 19, № 3, p. 296 – 305.
7. Винокуров Л. А., Фок М. В. Опт. и спектр., 1958, г. 4, № 1, с. 118 – 121.
8. Gans Z. In., Studer F. Y. Preparation and Characteristic of Solid Luminescent Materials. New York, 1948, p. 258 – 268.
9. Левшин В. Л., Блажевич А.И., Арапова Э. Я. и др. «Труды ФИАН им. П. Н. Лебедева», 1963, т. 23, с. 64 – 135.
10. Кюри Д. Люминесценция кристаллов. М., ИЛ, 1961. 199 с.
11. Fasol G and Nakamura S. The Blue Laser Diode (Springer, Berlin, 1997).
12. Narukawa Y. "White light LEDs" Optics & Photonics News 15, №4, p. 27 (2004).
13. Reeh U., Stath N., Hohn K., Waitl G., Schmidt R., Schlotter P., and Schneider J. "Light-radiating semiconductor component with luminescence conversion element" US Patent 6,576,930 B2 (2003).

14. Narendran N., Freyssinier-Nova J. P., Zhu Y. and Gu Y. "Extracting phosphor- scattered photons to improve white LED efficiency" Phys. Stat. Sol. (a) 202, R60 (2005).

15. Potdevin A., Chadeyron G., Boyer D., Caillier B., and Mahiou R. "Sol-gel based YAG:Tb³⁺ or Eu³⁺ phosphors for application in lighting sources" J. Phys. D: Appl. Phys. 38, 3251 (2005).

16. И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.

17. Белый светодиод[электронный ресурс]. Режим доступа:
https://ru.wikipedia.org/wiki/Белый_светодиод

18. Абрютин М.С., Анализ финансово-экономической деятельности предприятия учеб. – практ. Пособие. – М.: Дело и сервис 2000. – 256 с.

19. Анализ финансовой отчетности учеб. пособие для вузов под ред. О.В. Ефимовой. – М.: Омега-Л, 2006. – 449 с.

20. Арутюнов Ю.А., Финансовый менеджмент: теория и практика М.: Проспект 2008. – 1024 с.

21. Негашев Е.В., Анализ финансов предприятия учеб. пособие. – М.: Высш. шк.2001 – 192 с.

22. Тренев Н.Н., Управление финансами учеб. пособие для вузов. – М.: Финансы и статистика 2003. – 496 с.

23. СП 60.13330.2012 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.

24. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. М: Энергоатомиздат, 1984, 824 с.

25. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны

26. ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
27. ГОСТ 12.2.061-81 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам.
28. ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
29. Белов С.В., Ильницкая А.В. Безопасность жизнедеятельности. Учебник для вузов. М: Знак, 1999, 325с.
30. Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений (ОСП-72/87).
31. Справочная книга для проектирования электрического освещения. Под ред. Г.М. Кнорринга. Л., Энергия, 1976, 384с.
32. Безопасность жизнедеятельности: Пособие по выполнению практической работы «Расчет защитного заземления».- М.: мГТУ ГА, 2010.-20с.
33. Chun Che Lin and Ru-Shi Liu. Advances in Phosphors for Light-emitting Diodes // J. Phys. Chem. Lett. 2011, 2, 1268–1277