

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

Институт _____ ИФВТ
Направление подготовки _____ 12.04.02 «ОпTOTехника»
Кафедра _____ ЛиСТ

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Анализ эффективности светодиодных источников света

УДК 621.383.52

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ВМ4А	Карпова Оксана Сергеевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор каф. ЛиСТ	Вилисов А.А.	д-р Т. Н., профессор		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Гаврикова Н. А.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ЭБЖ ИНК НИ ТПУ	Кырмакова О.С.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2016 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
Р1	Способность формулировать цели, задачи и составлять план научного исследования в области светотехники и фотонных технологий и материалов, способность строить физические и математические модели объектов исследования и выбирать алгоритм решения задачи	Требования ФГОС ВО (ОК-1, ОПК-1, ПК-1, 2, 10) Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.1-5.2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> . Требования работодателей.
Р2	Способность разрабатывать программы экспериментальных исследований, применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы, защищать приоритет и новизну полученных результатов исследований в области обработки, изучения и анализа фотонных материалов, корпускулярно-фотонных технологий, оптоволоконной техники и технологии, в области оптических и световых измерений, люминесцентной и абсорбционной спектроскопии, лазерной техники, лазерных технологий и оборудования, взаимодействия излучения с веществом, производства и применения светодиодов	Требования ФГОС ВО (ОПК-2, ПК-3, 4, 5, 19) Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.3, 5.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> Требования работодателей.
Р3	Способность к исследованию и анализу состояния научно-технической проблемы, технического задания, к постановке цели и задач проектирования в области светотехники, оптоэлектронной техники, фотонных технологий и материалов на основе подбора и изучения литературных и патентных источников. Способностью к разработке структурных и функциональных схем оптических, оптико-электронных, светотехнических приборов, лазерных систем и комплексов с определением их физических принципов работы, структуры и технических требований на отдельные блоки и элементы	Требования ФГОС ВО (ПК- 6, 7, 10) Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.5, 5.2.4, 5.2.8), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> Требования работодателей.
Р4	Способность к конструированию и проектированию отдельных узлов и блоков для осветительной,	Требования ФГОС ВО (ПК- 8, 9, 10, 11) Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.5, 5.2.4,

	облучательной, оптико-электронной, лазерных техники, оптоволоконных, оптических, оптико-электронных, лазерных систем и комплексов различного назначения, осветительных и облучательных установок для жилых помещений, сельского хозяйства, промышленности	5.2.10), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> Требования работодателей.
P5	Способность к разработке и внедрению технологических процессов и режимов сборки оптических и светотехнических изделий, к разработке методов контроля качества изготовления деталей и узлов, составлению программ испытаний современных светотехнических и оптических приборов и устройств, фотонных материалов.	Требования ФГОС ВО (ПК-9, 12, 13, 14, 15, 16, 17, ПК-9) Критерий 5 АИОР (пп 5.2.2, 5.2.8), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> Требования работодателей.
P6	Способность эксплуатировать и обслуживать современные светотехнические и оптические приборы и устройства, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на производстве, выполнять требования по защите окружающей среды	Требования ФГОС ВО (ОПК-2, ПК-3, 11, 15, 16, 21) Критерий 5 АИОР (пп 5.2.10, 5.2.16, 5.2.14), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> Требования работодателей.
P7	Способность проявлять творческий, нестандартный подход, требующий абстрактного мышления, при решении конкретных научных, технологических и проектно-конструкторских задач в области фотонных технологий и материалов и светотехники, нести ответственность за принятые решения	Требования ФГОС ВО (ОК-1, 2, ОПК-1, 2, ПК-9) Критерий 5 АИОР (п. 5.2.7, 5.2.9), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> Требования работодателей.
P8	Способность к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала	Требования ФГОС ВО (ОК-3). Критерий 5 АИОР (п. 5.2.16), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> Требования работодателей.
P9	Способность к инновационной инженерной деятельности, менеджменту в области организации освоения новых видов перспективной и конкурентоспособной оптической, оптико-электронной и световой, лазерной техники с учетом социально-экономических последствий технических решений	Требования ФГОС ВО (ОПК-1, ПК-20, 22, 23), Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.12, 5.2.14, 5.2.15), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> Требования работодателей
P10	Способностью к координации и организации работы научно-производственного коллектива, принятию исполнительских решений	Требования ФГОС ВО (ПК-18, 24), Критерий 5 АИОР (пп 5.2.11, 5.2.15), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-</i>

	для комплексного решения исследовательских, проектных, производственно-технологических, инновационных задач в области светотехники и фотонных технологий и материалов	<i>ACE</i> и <i>FEANI</i> Требования работодателей.
P11	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально – экономических различий, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности	Требования ФГОС ВО (ОПК-3) Критерий 5 АИОР (5.2.13), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> Требования работодателей.

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

Институт физики высоких технологий
Направление подготовки (специальность) 12.04.02 «Опtotехника»
Кафедра Лазерной и световой техники

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой ЛИСТ
_____ А.Н. Яковлев
(Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
4ВМ4А	Карповой Оксане Сергеевне

Тема работы:

Анализ эффективности светодиодных источников света

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Приказ № 2017/с от 16.03.2016 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:

15.06.2016 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<i>Информационные источники кафедры и НТБ ТПУ, интернет ресурсы.</i>
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none">1. Работа с литературой;2. Изучение нормативных документов;3. Анализ зависимости светоотдачи от тока нагрузки;4. Подбор типичных светодиодов и светильников для исследования;5. Проверка нормированных параметров светодиодов и светильников;6. Исследование возможных физических механизмов зависимости световой отдачи светодиодов и светильника от внешних воздействий;7. Моделирование рекомбинационной модели

	<i>зависимости светоотдачи от тока.</i>
Перечень графического материала	<i>Презентация по теме диссертации в PowerPoint.</i>

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	Гаврикова Н. А., старший преподаватель, НИ ТПУ
<i>Социальная ответственность</i>	Кырмакова О. С., ассистент, НИ ТПУ
<i>Иностранный язык</i>	Ботова А. Л. Старший преподаватель, НИ ТПУ

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Литературный обзор

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Вилисов Анатолий Александрович	Д. Т. Н., профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ВМ4А	Карпова Оксана Сергеевна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 92 с., 17 рис., 23 табл., 25 источников, 1 прил.

Ключевые слова: внешняя квантовая эффективность, светодиод, электрические потери, температура.

Объектом исследования являются световая отдача светодиодов

Цель работы – исследование возможных физических механизмов зависимости световой отдачи СД и светильника от внешних воздействующих факторов: тока накачки, температуры, сопротивления растекания, конструктивных особенностей устройств.

В процессе исследования проводился анализ имеющихся гипотез о падении эффективности светодиодов

В результате исследования рассмотрены зависимости внешнего квантового выхода от температуры, прямого тока, также выявлен наиболее вероятный механизм влияния

Область применения: светодиодная промышленность

Значимость работы: на основе результатов возможно создание технического решения усовершенствования конструкции СД и светильника, а оптимизации режима питания.

В будущем планируется более глубокое исследование данных процессов, а также проведение экспериментальных исследований

Оглавление

Введение	10
1 Обзор литературы	13
1.1 Физика работы СД.....	13
1.1.1 Инжекция	13
1.1.2 Рекомбинация	17
1.1.3 Вывод света из кристалла	22
1.2 Квантовый выход. Зависимость квантового выхода от режима работы и внешних условий.....	25
1.2.1 Внешняя квантовая эффективность	25
1.2.2 Светоодача	27
1.2.3 Световая эффективность	30
1.3 Зависимость внешнего квантового выхода от температуры	32
1.4 Зависимость внешнего квантового выхода от прямого тока	34
2 Практическая часть	39
3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	50
3.1 SWOT- анализ.....	50
3.2 Инициация проекта	55
3.3 Планирование управления научно-техническим проектом	58
3.3.1 Иерархическая структура работ проекта	58
3.3.2 Контрольные события проекта	58
3.3.3 План проекта.....	59
3.3.4 Бюджет научного исследования	60
4 Социальная ответственность	67
4.1 Введение	67
4.2 Техногенная безопасность	68
4.2.1 Вредные факторы	68
4.2.2 Опасные факторы	72
4.3 Организационные мероприятия обеспечения безопасности	74
4.4 Чрезвычайные ситуации	76

Заключение	79
Список использованных источников	80

Введение

В настоящее время на светотехническом рынке преобладают светодиодные источники света, применяемые в различных сферах общего освещения. Линейки и матрицы светодиодов излучают свет такой мощности, которая достаточна для освещения учреждений и улиц. Также они используются для цветной декоративной подсветки зданий.

В течение последних лет разработка и изготовление светодиодов является перспективным направлением. Современный светодиодный источник света отличается малыми габаритами, высокой надежностью, прочностью, хорошими оптическими характеристиками и высокой светоотдачей.

Первые светодиоды были разработаны еще в начале прошлого века, что подтверждается публикациями, датированными 1907 г. В 1960-х гг. сразу несколько групп продемонстрировали работу полупроводниковых лазеров. Первые светодиоды были побочным продуктом этих исследований, и для приобретения самостоятельного статуса им потребовалось пройти путь в несколько десятилетий.

Светодиод можно назвать одним из ведущих приборов в современном обществе, в связи с чем, необходимо более подробно рассмотреть явления, которые определяют принцип работы данного устройства.

Полупроводниковая электроника в основном решала вопросы преобразования электрических сигналов в электрические (диоды, транзисторы, тиристоры и т.п.) и оптических сигналов в электрические (фотодиоды, фототранзисторы и т.п.). В результате синтеза и исследования новых полупроводниковых соединений была решена задача преобразования электрических сигналов в оптические и созданы новые источники света – полупроводниковые светоизлучающие диоды, действующие на основе излучательной рекомбинации инжектированных p-n-переходом носителей заряда.

В то время как белые СД начали проникать в массовую продажу для общего освещения, характеристики эффективности этих приборов продолжали

вызывать на соревнование учёных и инженеров. Ведущее понятие «падение эффективности», когда эффективность прибора падает драматически при токе инжекции выше некоторого определённого значения (часто в пределах десятков мА).

Пределы падения количества света, которое может быть эффективно извлечено из одного прибора, таковы, что светодиодное освещение требует большего числа излучателей, увеличивая цену продукции.

Имеется ряд подходов для объяснения эффекта падения. Так как свет генерируется за счёт электронно-дырочной рекомбинации, естественным объяснением мог бы быть конкурирующий механизм поглощения энергии. Оже рекомбинация является таким механизмом, при котором энергия передаётся другому носителю. Однако, имеется много альтернативных объяснений, таких как поляризационные эффекты (особенно сильные в нитридных полупроводниках), создающих электрические поля, которые разделяют электроны и дырки, чем способствуют перебросу электронов из активной области в р-эмиттер. Многие исследователи придерживаются версии того, что главным фактором падения эффективности светодиода является Оже рекомбинация, а также рассматривают потери, которые связаны со ступенчатой Оже рекомбинацией. Некоторые авторы представляют экспериментальные вольт-амперные характеристики и зависимости внешнего квантового выхода от плотности тока. Еще один подход включает в себя мнение, что на эффективность светодиодов влияют электрические потери, такие как падение напряжения. И последней причиной уменьшения квантового выхода светодиода считается влияние температуры.

Однако до сих пор остается неясным, насколько значителен вклад каждого из предложенных механизмов в падение эффективности.

Целью настоящей работы является исследование возможных физических механизмов зависимости световой отдачи СД и светильника от внешних воздействующих факторов: тока накачки, температуры, сопротивления растекания, конструктивных особенностей устройств.

Проанализировать все имеющиеся гипотезы и определить наиболее вероятный механизм, влияющий на падение эффективности светодиодов. А также создания возможного технического решения усовершенствования конструкции СД и светильника и оптимизации режима питания.

1 Обзор литературы

1.1 Физика работы СД

1.1.1 Инжекция

Явление инжекции неосновных носителей заряда служит основным механизмом введения неосновных носителей в активную область структуры светодиода. При наличии контакта однородных полупроводников с разными типами электропроводности уровень Ферми в равновесном состоянии должен быть единым. Это приводит к искривлению зон и образованию потенциального барьера.

Для оценки движения дырок и электронов в поле p - n -перехода можно воспользоваться аналогией: положительно заряженные дырки, которые двигаются (дрейфуют) по полю E , представим себе как легкие пузырьки, всплывающие по потолку валентной зоны (справа налево); отрицательно заряженные электроны, которые двигаются (дрейфуют) против поля E , можно представить на зонной диаграмме в виде тяжелых шариков, скатывающихся по наклонному дну зоны проводимости (слева направо). Основная масса дырок из p -слоя, где их много, диффундирует слева направо в область перехода, но не может преодолеть потенциальный барьер и, проникнув в переход на некоторую глубину, снова возвращается в p -слой. Дырки n -слоя, как пузырьки, легко «всплывают» по дну валентной зоны независимо от энергии в p -слой и образуют дрейфовый поток справа налево. Он уравнивается встречным дрейфовым потоком дырок p -слоя, имеющих большую энергию и способных преодолеть потенциальный барьер. Аналогичная картина в движении электронов представлена на рисунке 1(а).

При подаче на p - n -переход электрического смещения в прямом направлении U потенциальный барьер понижается, вследствие чего в p -область войдет добавочное количество электронов, а в n -область – дырок. Данное явление показано на рисунке 1(б). Такое диффузионное введение неосновных носителей называется инжекцией[1].

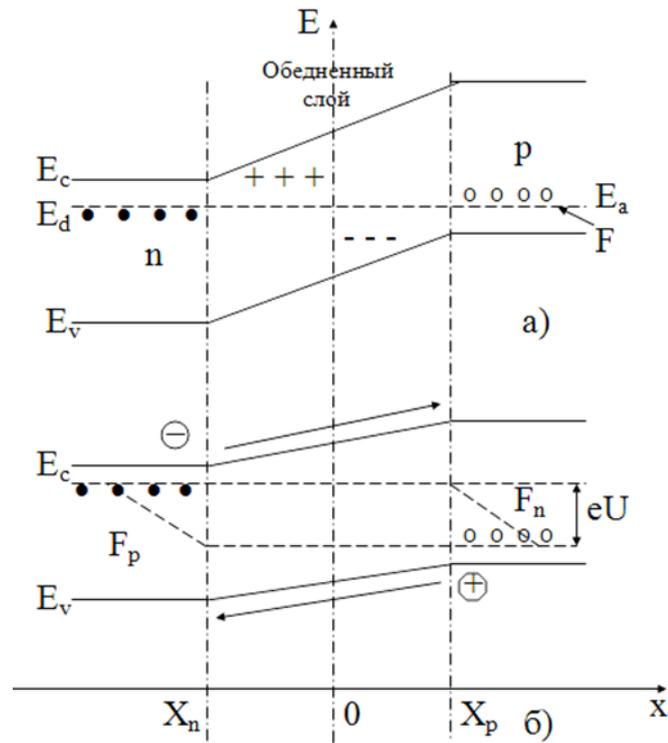


Рисунок 1 – Схематическое изображение *p-n*-перехода при термодинамическом равновесии (а) и при подаче прямого смещения (б).

Концентрация инжектированных электронов на границе *p-n*-перехода и *p*-области определяется выражением:

$$n(x) = n_p \exp(eU / kT), \quad (1.1)$$

где n_p – концентрация равновесных электронов в *p*-области;

k – константа Больцмана;

T – температура;

e – заряд электрона.

Концентрация инжектированных носителей зависит от равновесной концентрации неосновных носителей и приложенного напряжения. Диффузионный ток I_n , обусловленный рекомбинацией инжектированных электронов, описывается выражением:

$$I_n = eD_n n_p [\exp(eU / kT) - 1] / L_n, \quad (1.2)$$

где D_n – коэффициент диффузии электронов;

L_n – диффузионная длина электронов.

Диффузионный ток I_p описывается аналогичным выражением. В случае, когда существенны оба компонента тока (электронный и дырочный), общий ток I описывается формулой[1]:

$$I = (I_{n0} + I_{p0})[\exp(eU/kT) - 1], \quad (1.3)$$

где

$$I_{n0} = \frac{eD_n n_p}{L_n}; \quad I_{p0} = \frac{eD_p p_n}{L_p}. \quad (1.4)$$

Особенность решения вопросов инжекции при конструировании светоизлучающих диодов, в которых одна из областей p - n -структуры обладает высоким внутренним квантовым выходом излучения, заключается в том, что для получения эффективной электролюминесценции вся инжекция неосновных носителей должна направляться в эту активную область, а инжекция в противоположную сторону – подавляться.

Если активна область p -типа, то необходимо, чтобы электронная составляющая диффузионного тока преобладала над дырочной, а интенсивность рекомбинации в области объемного заряда была мала.

Коэффициент инжекции γ_n , т.е. отношение электронной компоненты тока I_{n0} к полному прямому току $I = I_{n0} + I_{p0}$, определяется по формуле[1]:

$$\gamma_n = \frac{L_p N_d}{L_p N_d + \left(\frac{D_p}{D_n}\right) L_n N_a}, \quad (1.5)$$

где N_d и N_a – концентрации доноров и акцепторов в n - и p -областях.

Из выражения (1.5) следует, что для получения величины γ_n , близкой к 1, необходимо, чтобы $N_d \gg N_a$, $L_p > L_n$, $D_n > D_p$. Решающую роль, безусловно, имеет обеспечение соотношения $N_d \gg N_a$. Как правило, значения N_d (или N_a) не должны превышать $(1-5) \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$, так как при более высоком уровне легирования возрастает концентрация дефектов в материале, что приводит к увеличению доли туннельного тока и ухудшению инжектирующих свойств p - n -

перехода. Для повышения внутреннего квантового выхода излучательной рекомбинации в прямозонных полупроводниках необходимо повышать концентрацию носителей заряда в активной области, в связи с чем возникают дополнительные трудности с обеспечением одностороннего характера инжекции.

1.1.2 Рекомбинация

Независимо от того, является полупроводник легированным или нет, в нем всегда присутствуют оба типа свободных носителей: электроны и дырки. В условиях равновесия, т.е. когда материал не подвергается никаким внешним воздействиям, например воздействию света и электрических полей, выполняется закон действующих масс, который гласит, что произведение концентрации электронов и дырок при заданной температуре является константой[1]:

$$n_0 p_0 = n_i^2, \quad (1.6)$$

где n_0 и p_0 - равновесные концентрации электронов и дырок;

n_i - собственная концентрация.

Избыток носителей в полупроводниках создается при поглощении фотонов либо при инжекции в материал электронов. Суммарная концентрация носителей равна сумме их равновесных концентраций и концентрации соответствующих избыточных носителей:

$$n = n_0 + \Delta n; \quad p = p_0 + \Delta p, \quad (1.7)$$

где Δn и Δp – концентрации избыточных электронов и дырок.

На рисунке 2 представлена зонная диаграмма полупроводника, на которой показаны электроны и дырки. Скорость рекомбинации пропорциональна произведению концентраций дырок и электронов.

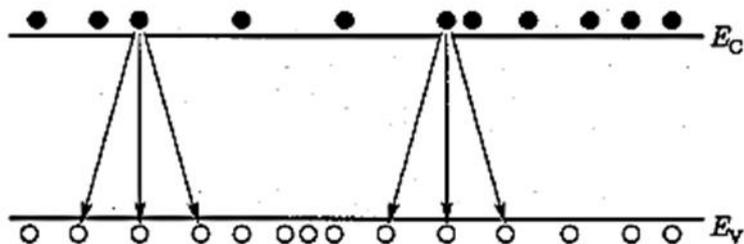


Рисунок 2 - Иллюстрация рекомбинации электронно-дырочных пар

Используя коэффициент пропорциональности, скорость рекомбинации, проходящей в единицу времени в единичном объеме равна[1]:

$$R = -\frac{dn}{dt} = -\frac{dp}{dt} = B \cdot n \cdot p \quad (1.8)$$

Это выражение называется уравнением скорости бимолекулярной рекомбинации, а B - коэффициентом бимолекулярной рекомбинации.

Рекомбинация в полупроводниках бывает в основном двух видов: излучательная и безызлучательная. В каждом акте излучательной рекомбинации происходит возбуждение одного фотона с энергией, равной ширине запрещенной зоны (рисунок 3). В ходе безызлучательной рекомбинации энергия электрона расходуется на возбуждение колебаний атомов кристаллической решетки, т.е. преобразуется в тепло[2]. Именно по этой причине в излучающих устройствах акты безызлучательной рекомбинации считаются нежелательными.

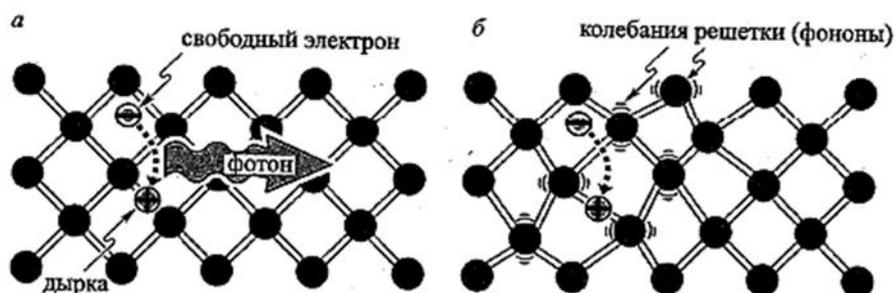


Рисунок 3 - Излучательная рекомбинация электронно-дырочной пары, сопровождающаяся возбуждением фотона с энергией $h\nu = E_g(a)$. В ходе безызлучательной рекомбинации энергия, высвобождаемая при рекомбинации электронно-дырочной пары, передается фотонам (б).

Другим механизмом безызлучательной рекомбинации является ударная Оже-рекомбинация. При ее протекании энергия, выделяемая при рекомбинации на возбуждение либо свободного электрона в зоне проводимости, либо дырки в валентной зоне. Возбужденные носители постепенно теряют свою энергию при

столкновении с атомами решетки, выделяя при этом фотоны, до тех пор пока не вернуться вновь на край соответствующей зоны (проводимости или валентной).

Скорость Оже-рекомбинации определяется следующими соотношениями:

$$R_{\text{Оже}} = C_p \cdot n \cdot p^2, \quad (1.9)$$

$$R_{\text{Оже}} = C_n \cdot n^2 \cdot p. \quad (1.10)$$

Скорость Оже-рекомбинации пропорциональна квадрату концентрации носителей (электронов или дырок), поскольку в ней учувствуют пары носителей одного типа (два электрона или две дырки). Из-за избытка дырок в полупроводниках p - типа Оже – рекомбинация чаще протекает по механизму, описанному уравнением (1.9). В полупроводниках n - типа для Оже-рекомбинации справедливо выражение (1.10).

В ходе Оже - рекомбинации должны выполняться законы сохранения энергии и импульса. Вследствие различий в структурах валентной зоны и зоны проводимости коэффициенты C_p и C_n в полупроводниках обычно имеют разные значения[1].

При высоком уровне возбуждения неравновесные концентрации носителей намного превышают равновесные значения, поэтому уравнение скорости Оже - рекомбинации можно упростить до вида:

$$R_{\text{Оже}} = (C_n + C_p) \cdot n^3 = C \cdot n^3, \quad (1.11)$$

где C – коэффициент Оже.

В полупроводниках Оже - рекомбинация снижает интенсивность люминесценции только при очень высоком уровне возбуждения или при очень большой инжекции электронов, что связано с кубической зависимостью скорости рекомбинации от концентрации носителей. При низких концентрациях носителей скорость Оже - рекомбинации очень мала, поэтому в большинстве практических случаев ею можно пренебречь.

Излучательная рекомбинация – единственный физический механизм генерации света в светоизлучающих диодах. Механизмы излучательной рекомбинации можно классифицировать следующим образом (рисунок 4):

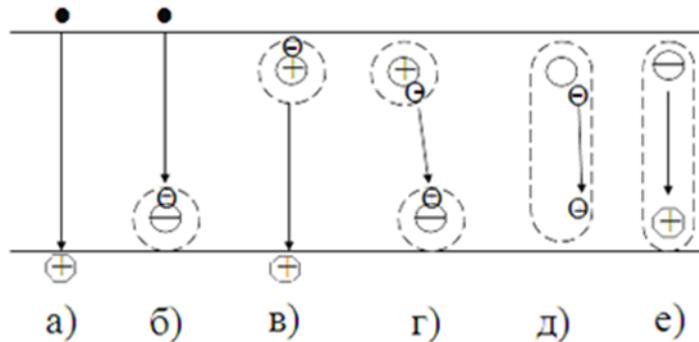


Рисунок 4 – Различные механизмы излучательной рекомбинации в полупроводниках

1. Межзонная рекомбинация, при которой электрон из зоны проводимости переходит в валентную зону на место дырки непосредственно, излучая энергию, несколько большую ширины запрещенной зоны (рис.4.а);
2. Рекомбинация свободных носителей заряда на примесных центрах (рис 4.б и в);
3. Межпримесная, или донорно - акцепторная, рекомбинация (рис 4.г);
4. Рекомбинация связанных экситонов (рис 4.д);
5. Экситонная рекомбинация (рис 4.е).

Что же касается безызлучательной рекомбинации, то никогда не удастся полностью от нее избавиться. В любом полупроводниковом кристалле имеются естественные дефекты. Даже если их очень мало, их концентрация все-таки не равна нулю. Из термодинамических расчетов следует, что поскольку для создания в кристаллической решетке точечного дефекта требуется затратить энергию E_a , вероятность этого на конкретном узле решетки определяется постоянной Больцмана: $\exp(-E_a / kT)$. Произведение концентрации узлов решетки на эту постоянную равно концентрации дефектов. Собственные точечные дефекты, а также любые пространственные дефекты, могут приводить к созданию глубоких уровней в запрещенной зоне и, значит, являться центрами безызлучательной рекомбинации[3].

Другой проблемой является химическая чистота полупроводников. Очень трудно вырастить материалы, содержание примесей в которых было бы

меньше нескольких атомов на миллиард. Даже у самых чистых полупроводников в 1 м^3 содержится 10^{12} атомов примесей, часть из которых образует глубокие энергетические уровни, снижающие интенсивность излучения.

1.1.3 Вывод света из кристалла

Одним из главных параметров излучающего диода является мощность излучения, которая напрямую связана с внешним квантовым выходом.

Активная область идеального светодиода испускает один фотон на каждый инжектированный в нее электрон, т.е. каждый электрон генерирует один световой квант. Поэтому квантовый выход излучения активной области идеального светодиода равен единице. Внутренний квантовый выход излучения светодиода определяется отношением числа рожденных в его активной области фотонов к числу инжектированных в нее электронов в единицу времени[4]:

$$\eta = \frac{P_{int}/(h\nu)}{I/e}, \quad (1.12)$$

где P_{int} - мощность оптического излучения из активной области светодиода;

I – ток инжекции.

Желательно, чтобы все фотоны, испускаемые активной областью, выходили за пределы светодиода. Именно так и должно происходить в идеальных светодиодах, внешний квантовый выход излучения которых равен единице. Однако в реальных светодиодах часть фотонов все же остается внутри полупроводника. Кроме того, существует полное внутреннее отражение, заключающееся в локализации света внутри структуры, что также снижает вероятность выхода фотонов за пределы полупроводника. Коэффициент оптического вывода излучения определяется как отношение числа фотонов, излученных светодиодом, к числу фотонов, образованных в активной области в единицу времени:

$$\eta_{extract} = \frac{P/(h\nu)}{P_{int}/(h\nu)}, \quad (1.13)$$

где P - мощность оптического излучения, выходящего за пределы светодиода.

Внешний квантовый выход излучения светодиода определяется отношением числа фотонов, испущенных светодиодом к числу инжектированных электронов в единицу времени:

$$\eta_{ext} = \frac{P/(h\nu)}{I/e} = \eta_{int} \cdot \eta_{extract} \quad (1.14)$$

Как говорилось ранее, из светоизлучающего кристалла может быть выведена только часть генерируемого р-п- переходом излучения в связи со следующими основными потерями (рисунок 5):

1. Потери на полное внутреннее отражение излучения, падающего на границу раздела полупроводник - воздух под углом, большим критического;
2. Потери на френелевское отражение излучения, падающего на границу раздела под углом, меньшим критического;
3. Потери, связанные с поглощением излучения в приконтактных областях;
4. Потери на поглощение излучения в толще полупроводника.

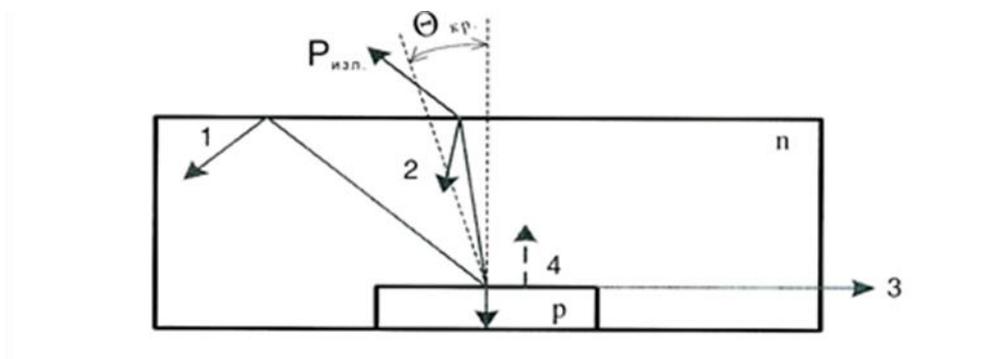


Рисунок 5 - Основные потери излучения при выводе его из кристалла

Наиболее значительные потери приходятся на полное внутреннее отражение излучения. В связи с большим различием показателя преломления полупроводника n_n и воздуха n_v , доля выходящего излучения определяется значением критического угла $\theta_{кр}$ между направлением светового луча и нормалью к поверхности:

$$\theta_{кр} = \arcsin n^{-1}, \quad (1.15)$$

где $n = n_{\text{п}} / n_{\text{в}}$.

Излучение, падающее на поверхность раздела полупроводник - воздух под углом, меньшим критического, выводится из кристалла, а под углом, большим критического, испытывает полное внутреннее отражение (рисунок 6). Если полупроводник прозрачен для генерируемого излучения, то свет, отраженный верхней, нижней, а также боковыми гранями кристалла, может повторно (и не один раз) падать на светоизлучающую поверхность и частично выводиться из кристалла[5].

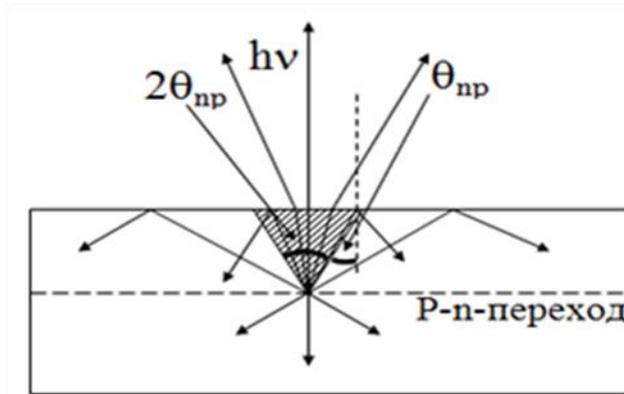


Рисунок 6 - Выход излучения из кристалла и внутреннее отражение

1.2 Квантовый выход. Зависимость квантового выхода от режима работы и внешних условий

1.2.1 Внешняя квантовая эффективность

Получение высокой внутренней квантовой эффективности недостаточно для достижения высоких параметров полупроводникового оптического источника. Основная часть, рекомбинации излучения генерируется в пределах одной - двух диффузионных длин от перехода и характеризуется отсутствием направленности. Внешняя квантовая эффективность есть отношение числа фотонов $N_{\text{выш}}$, вышедших из полупроводника, к общему числу носителей $N_{\text{общ}}$, пересекающих переход:

$$\eta_{\text{внеш}} = \frac{N_{\text{выш}}}{N_{\text{общ}}} \quad (1.16)$$

Четыре основных эффекта приводят к тому, что $\eta_{\text{внеш}}$ всегда меньше $\eta_{\text{внут}}$. Эти четыре эффекта представлены на рисунке 7.

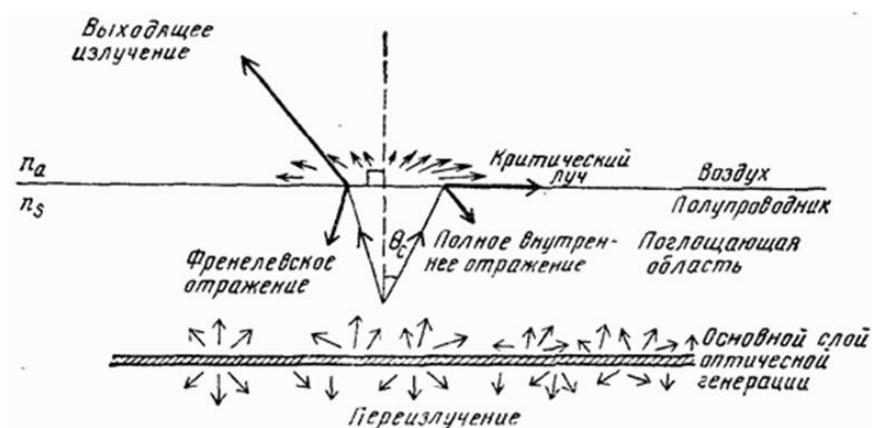


Рисунок 7 - Схематическая диаграмма, иллюстрирующая четыре основных случая оптических потерь в светоизлучающих диодах: переизлучение, ограничение поверхностного допустимого угла, Френелевское отражение, поглощение.

Во-первых, излучение выходит из полупроводника через поверхность полупроводник – воздух. Во - вторых, только та часть излучения, которая подходит к поверхности под углом меньше критического может, выйти из полупроводника. В – третьих, часть и этого излучения отражается от поверхности полупроводник – воздух. В - четвертых, происходит поглощение между точкой генерации излучения и излучающей поверхностью[6].

1.2.2 Светоодача

Световая отдача по мощности характеризует световой поток, генерируемый на 1 Вт подводимой электрической мощности. Единица измерения – люмен на ватт. Применительно к светоизлучающим диодам световая отдача по мощности часто рассматривается в виде зависимости светового потока, излучаемого с единицы площади кристалла, от входной мощности, приведенной к единице площади кристалла. В этом случае параметр световой отдачи характеризует не только эффективность источника, но и косвенно его экономичность (материалоемкость, себестоимость и т.п.). Световая отдача по току характеризует световой поток, отнесенный к единице прямого тока. Единица измерения – люмен на ампер (лм/А).

$$\eta = \frac{\Phi_v}{P}, \quad (1.17)$$

где Φ_v – световой поток, излучаемый источником;

P - потребляемая им мощность.

Введя в рассмотрение величину потока излучения Φ_e , отношение $\frac{\Phi_v}{P}$ можно представить в виде $\frac{\Phi_v}{\Phi_e} \cdot \frac{\Phi_e}{P}$. В этом произведение первый из сомножителей представляет собой световую эффективность излучения K , а второй – энергетический коэффициент полезного действия источника η_e .

В результате исходное выражение для световой отдачи приобретает вид[7]:

$$\eta = K \cdot \eta_e \quad (1.18)$$

Таким образом, величина световой отдачи определяется совокупным действием двух факторов. Один из них – эффективность преобразования потребляемой источником электрической энергии в энергию излучения, характеризующаяся значением КПД, другой - способность данного излучения

возбуждать у человека зрительные ощущения, определяемая величиной световой эффективности излучения.

В случае монохроматического излучения с длиной волны λ для $K(\lambda)$ в СИ выполняется :

$$K(\lambda) = K_m \cdot V(\lambda), \quad (1.19)$$

где $V(\lambda)$ – относительная спектральная световая эффективность монохроматического излучения для дневного зрения, физический смысл которой заключается в том, что она представляет собой относительную чувствительность среднего человеческого глаза к воздействию на него монохроматического света;

K_m – максимальное значение спектральной световой эффективности монохроматического излучения.

Максимум $V(\lambda)$ располагается на длине волны 555 нм и равен единице.

В соответствии со сказанным для световой отдачи выполняется:

$$\eta = K_m \cdot V(\lambda) \cdot \eta_e \quad (1.20)$$

Если излучение занимает участок спектра конечного размера, то выражение для K имеет вид:

$$K = 683 \cdot \frac{\int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} \Phi_{e,\lambda}(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\Phi_e} \quad (1.21)$$

Здесь $\Phi_{e,\lambda}(\lambda)$ – спектральная плотность величины Φ_e , определяемая как отношение величины $d\Phi_e(\lambda)$, приходящейся на малый спектральный интервал, заключенный между λ и $\lambda+d\lambda$, к ширине этого интервала:

$$\Phi_{e,\lambda}(\lambda) = \frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda} \quad (1.22)$$

Соответственно, для световой отдачи становится справедливо соотношение:

$$\kappa = 683 \cdot \frac{\int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} \Phi_{e,\lambda}(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} \Phi_{e,\lambda}(\lambda) d\lambda} \cdot \eta_e$$

(1.23)

1.2.3 Световая эффективность

Световая эффективность оптического излучения (иногда называемая функцией яркости или люмен - эквивалентом), измеряемая в люменах на ватт оптической мощности, представляет собой коэффициент преобразования оптической мощности в световой поток и равна отношению светового потока к соответствующему потоку излучения[8]

$$K = \frac{\Phi_v}{\Phi_e} \quad (1.24)$$

В случае монохроматического излучения с длиной волны λ определение принимает вид:

$$K = \frac{\Phi_v(\lambda)}{\Phi_e(\lambda)} \quad (1.25)$$

Единица силы света кандела определена в СИ так, что выполняется равенство:

$$\Phi_v(\lambda) = K_m \cdot V(\lambda)\Phi_e(\lambda), \quad (1.26)$$

где $V(\lambda)$ – относительная спектральная световая эффективность монохроматического излучения, физический смысл, которой заключается в том, что она представляет собой относительную чувствительность среднего человеческого глаза к воздействию на него монохроматического света;

K_m – максимальное значение спектральной световой эффективности монохроматического излучения, равное 683 лм/Вт.

С учетом последнего соотношения выражение для $K(\lambda)$ приобретает вид:

$$K(\lambda) = 683 \cdot V(\lambda). \quad (1.27)$$

Если излучение обладает непрерывным спектром и занимает участок спектра конечного размера, то для Φ_v выполняется:

$$\Phi_v = 683 \cdot \int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} \Phi_{e,\lambda}(\lambda) V(\lambda) d\lambda, \quad (1.28)$$

где $\Phi_{e,\lambda}(\lambda)$ – спектральная плотность величины Φ_e , определяемая как отношение величины $d\Phi_e(\lambda)$, приходящейся на малый спектральный интервал, заключенный между λ и $\lambda + d\lambda$, к ширине этого интервала:

$$\Phi_{e,\lambda}(\lambda) = \frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda} \quad (1.29)$$

Здесь под $\Phi_e(\lambda)$ понимается поток той части излучения, у которого длина волны меньше текущего значения λ . С учетом определения световой эффективности из последнего соотношения следует:

$$K = \frac{683 \cdot \int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} \Phi_{e,\lambda}(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\Phi_e} \quad (1.30)$$

Для строго монохроматических источников света ($\Delta\lambda \rightarrow 0$) световая эффективность излучения совпадает с функцией чувствительности человеческого глаза $V(\lambda)$, умноженный на коэффициент 683 лм/Вт. Однако для многоцветных источников, особенно для источников белого света, для определения световой эффективности необходимо вычислять интеграл во всем диапазоне длин волн.

Некоторые типы светодиодов с малыми площадями излучающих свет областей (с инжекцией тока в небольшую часть поверхности кристалла) и улучшенными структурами вывода излучения характеризуются довольно высокими значениями эффективности преобразования электрической мощности в световую – большим КПД. Однако такие светодиоды обладают низкой яркостью, поскольку доля области, в которую инжектируется ток, мала по сравнению с общей площадью кристалла[9].

1.3 Зависимость внешнего квантового выхода от температуры

С ростом температуры интенсивность излучения светодиодов падает. Это снижение интенсивности происходит из-за:

- 1) безызлучательной рекомбинации через глубокие примесные уровни;
- 2) рекомбинации на поверхности;
- 3) потери носителей в барьерных слоях гетероструктур.

Температурная зависимость интенсивности излучения светодиодов вблизи комнатной температуры часто описывают следующим уравнением:

$$I = I_0 \cdot \exp\left(-\frac{T - 300K}{T_1}\right), \quad (1.30)$$

где T_1 – характеристическая температура конкретного светодиода.

Температура p - n -перехода, соответствующая температуре активной области кристаллической решетки, является важным параметром светодиодов. Важность этой характеристики объясняется следующими причинами. Во-первых, от температуры p - n -перехода зависит внутренний квантовый выход излучения диода. Во – вторых, работа в режиме высоких температур значительно сокращает время жизни устройства. Именно поэтому всегда желательно знать зависимость температуры перехода от протекающего тока. Местами выделения тепла внутри светодиода являются контакты, внешние слои и активная область. При низких значениях тока нагревом контактов и внешних слоев можно пренебречь из-за незначительного количества джоулева тепла, выделяемого на их паразитных сопротивлениях (I^2R). Поэтому при малых токах основным тепловым источником является активная область, нагрев которой происходит в результате безызлучательной рекомбинации. При повышении тока вклад паразитных сопротивлений контактов и внешних слоев в повышение температуры внутри диода возрастает и может даже стать главным.

Из распределения Больцмана для носителей зарядов, описывающего спектр излучения в области высоких энергий, вытекает экспоненциальная зависимость интенсивности излучения от энергии фотонов:

$$I \propto \exp[-hv/(kT_c)], \quad (1.31)$$

где T_c – температура носителей.

Наклон спектральной характеристики в области высоких энергий определяется выражением:

$$\frac{d(\ln I)}{d(hv)} \propto \frac{-1}{kT_c} \quad (1.32)$$

Отсюда видно, что из наклона спектральной характеристики можно непосредственно получить температуру носителей. Поскольку температура носителей всегда выше температуры перехода, благодаря инжекции носителей с высокой энергией в активную область, этот метод позволяет определять верхнюю границу реальной температуры p - n -перехода. Вольтамперная характеристика идеального p - n -перехода определяется уравнением Шокли:

$$J = J_s(e^{eV_f/nkT} - 1) \quad (1.33)$$

где J_s – плотность тока насыщения.

Плотность тока насыщения зависит от значений коэффициентов диффузии и времени жизни электронов и дырок, эффективной плотности состояний на краях валентной зоны и зоны проводимости, а также от ширины запрещенной зоны. Следует, отметить, что все перечисленные параметры зависят от температуры p - n -перехода. Температурная зависимость эффективной плотности состояний определяется выражением $N_{c,v} \propto T^{3/2}$.

1.4 Зависимость внешнего квантового выхода от прямого тока

В работе [11] были исследованы спектры люминесценции и квантовый выход светодиодов на основе гетероструктур InGaN/AlGaIn/GaN с множественными квантовыми ямами в диапазоне токов $J = 10^{-6} - 10^{-1}$ А. Результаты показывают, что параметры описания формы спектров E_0 и $E_1 = mkT$ слабо изменяются с изменением тока: E_0 – от 56 до 63 мэВ; m – от 1.35 до 1.55. На рисунке 8 изображены зависимости E_0 , m и η_P от тока для одного из СД.

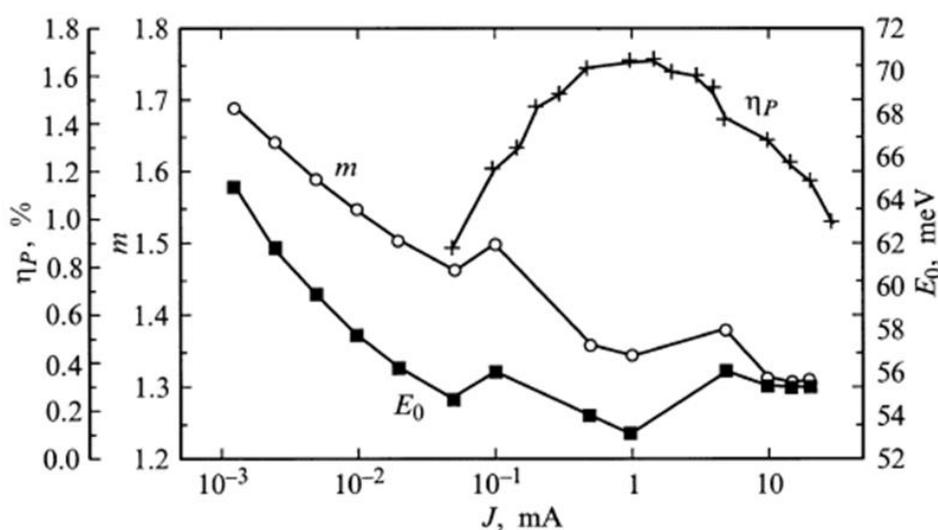


Рисунок 8 - Корреляция зависимости коэффициента полезного действия η_P от тока J с параметрами модели описания спектров E_0 , m для СД.

Видно, что максимум η_P соответствует минимуму E_0 , $E_1 = mkT$.

Небольшие изменения E_0 и E_1 свидетельствуют об изменении относительной роли механизмов излучательной рекомбинации – происходит она между локализованными или делокализованными состояниями. Преобладает ток через микрообласти с характерными значениями флуктуаций потенциала E_0 , эти области могут изменяться в некоторых пределах с изменением J и U . Рост E_1 при повышении тока может свидетельствовать также о нагреве структуры. Максимум квантового выхода достигается на границе областей ВАХ с инжекционным и туннельным механизмами рекомбинации при

$U = 2.54$ В. Максимум квантового выхода соответствует тем меньшему току, чем меньшую роль играют туннельные эффекты. Также следует отметить, что небольшой разброс квантового выхода излучения ($\pm 15\%$) связан с различиями распределения эффективных заряженных центров в области пространственного заряда структур и с разной ролью туннельной компоненты тока при малых напряжениях.

В работе [12] отмечается, что рост температуры приводит к увеличению тока, обусловленного термически активированной инжекцией дырок и электронов из разрешенных зон GaN. В свою очередь, экспериментальные зависимости квантового выхода от плотности тока позволяют утверждать, что квазибаллистический режим инжекции электронов является преобладающим по крайней мере до температуры $T \approx 220$ К. Нормированные зависимости внешнего квантового выхода η / η_{\max} от j представлены на рисунке 9.

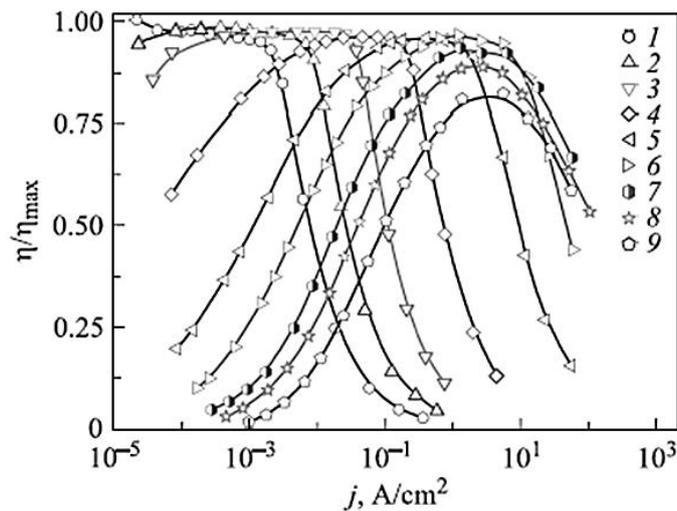


Рисунок 9 - Нормированная на максимальное значение (η_{\max}) зависимость внешнего квантового выхода (η) от плотности тока светодиода при температурах T , К: 1 – 10, 2 - 32, 3 - 70, 4 - 100, 5 – 130, 6 – 160, 7 - 220, 8 – 300, 9 – 360.

В области $T < 35$ К η слабо уменьшается с ростом j до порогового значения j_{th} , после которого начинается резкий спад η . В области больших j зависимость $\eta(j)$ хорошо описывается формулой $\eta \propto j^{-t}$. Значение параметра t

практически не изменяется при дальнейшем росте T и составляет $\sim (0.6 - 0.7)$. Рост температуры приводит к резкому уменьшению квантового выхода в области малых j , сдвигу j_{th} в область больших значений и слабому уменьшению $\eta(j_{th})$.

Квантовая эффективность светодиодных структур с множественными квантовыми ямами (МКЯ) InGaN/GaN является предметом интенсивных фундаментальных и прикладных исследований. Причиной этого является эффект падения эффективности, проявляющийся в её уменьшении с ростом плотности тока накачки выше чем $1-10 \text{ A/cm}^2$ (при температуре $T = 300 \text{ K}$) и не связанный с перегревом светодиодных структур. Ранее был предложен подход, состоящий в исследовании температурных зависимостей квантовой эффективности и эффекта падения эффективности при различных условиях возбуждения люминесценции. В работе [] представлены новые результаты исследования эффекта падения эффективности при использовании режима электролюминесценции (ЭЛ) и режима фотолюминесценции (ФЛ) с двумя видами оптической накачки с энергиями квантов возбуждающего излучения 3,49 и 3,06 эВ. Исследования проводились для нескольких структур синей спектральной области, которые были выращены методом газовой эпитаксии из металлоорганических соединений на сапфировой подложке в направлении. Активная область n-типа структуры содержала МКЯ и барьеры $\text{In}_{0,15}\text{Ga}_{0,85}\text{N/GaN}$ толщиной 2,5 и 15 нм соответственно. Толщина барьерного слоя из p- $\text{Al}_{0,15}\text{Ga}_{0,85}\text{N}$ составляла 30 нм. Общая толщина активной области составляла 200 нм. Из данной структуры изготавливались планарные светодиоды с омическими контактами Au/Ni и сопротивлением не более $10-2 \text{ Ом}\cdot\text{см}^2$. В ходе эксперимента измерялись зависимости квантовой эффективности η от тока и напряжения в интервале температур $T = 10 - 300 \text{ K}$. Для сравнения результатов измерений ЭЛ и ФЛ, экспериментальные зависимости были построены в координатах $\eta = \eta(n_i n_j)$, квантовая эффективность η рассчитывалась по оптической мощности P , как $P/n_i n_j$. Значение $n_i n_j$ представляет собой число

носителей, инжектированных в секунду через единицу площади. В случае электрической накачки это значение вычислялось по формуле[12]:

$$n_{inj} = \frac{I}{e \cdot S},$$

(1.34)

где I – ток;

e – элементарный заряд;

S – площадь светодиода.

В случае оптической накачки вычисление значения $n_i n_j$ затруднено, так как необходимо учесть количество отраженного от поверхности и поглощенного в р-слое излучения. Кроме того, для точного определения величины $n_i n_j$ необходимо учитывать диффузию и рекомбинацию неравновесных носителей в р-слое. Поэтому для упрощения задачи использовалась нормировка.

Для определения абсолютной величины квантовой эффективности экспериментальные данные также нормировались. Считали, что при температуре $T = 10$ К и низком уровне возбуждения квантовый выход η составляет 100% для режимов ЭЛ и ФЛ. В эксперименте этот случай реализуется, во-первых, если при низком уровне инжекции не наблюдается значительной утечки носителей из квантовых ям в р-область. Во-вторых, при низком уровне инжекции квантовая эффективность определяется рекомбинацией Шокли-Рида и процессом излучательной рекомбинации. Первое условие, в данном эксперименте является верным, так как качество кристаллов светодиодных структур является высоким, и током утечки можно пренебречь по сравнению с величиной рекомбинационного тока (плотность дислокаций составляла около $(3 - 7) \cdot 10^7$ см⁻²). Поэтому возможно использование АВС-модели для описания зависимостей внутренней квантовой эффективности от уровня инжекции для режима ФЛ:

$$\eta = \frac{B \cdot n^2}{A \cdot n + B \cdot n^2 + C \cdot n^3}, \quad (1.35)$$

где А, В, С – коэффициенты рекомбинации Шокли-Рида, излучательной и Оже, соответственно.

Экспериментальные результаты для квантовой эффективности после нормировки представлены на рисунке 10. Квантовая эффективность, измеренная при $T = 300$ К, имеет одинаковые значения (56-65 %) для режимов ФЛ и ЭЛ. Кроме того, экспериментальные кривые имеют одинаковый вид. Отсюда следует, что для режима ЭЛ квантовая эффективность при комнатной температуре в основном описывается АВС-моделью.

При низкой температуре ($T = 10$ К) экспериментальные результаты для режимов ФЛ и ЭЛ сильно различаются. Пороговое значение n_{inj} для начала падения эффективности смещается от $2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ (для ФЛ) до $10^{16} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ (для ЭЛ).

Дополнительный анализ ВАХ показал, что при низких температурах баллистическая утечка электронов из активной области является наиболее вероятным механизмом, который определяет падение эффективности в InGaN/GaN светодиодах.

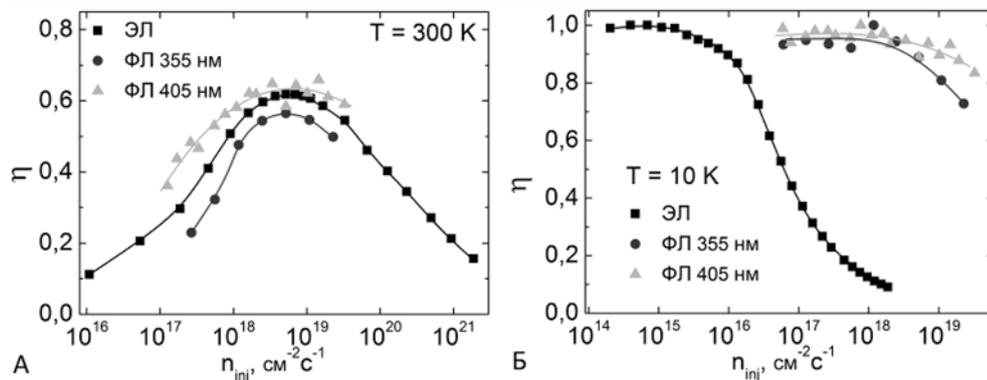


Рисунок 10 - Зависимости квантовой эффективности от плотности потока инжектированных носителей при $T = 300$ К (а) и при $T = 10$ К (б).

2 Практическая часть

При рассмотрении большого количества литературных источников было выдвинуто предположение, что падение эффективности светодиодов в большей степени вызвано электрическими потерями. Для подтверждения теории воспользуемся экспериментальными данными работы [13].

Общеизвестно, что с ростом прямого тока интенсивность люминесценции излучающих диодов растёт сублинейно. Для режимов постоянного прямого тока это в подавляющем большинстве случаев является следствием разогрева активной области протекающим током. Однако, когда разогрев диода практически исключён за счёт большой скважности импульсного режима, всё равно имеет место сублинейность ВТАХ при больших токах. Для гетероструктур InGaAsP/InP это интерпретируется как результат конкуренции безызлучательных потерь вследствие Оже-рекомбинации и утечки избыточных носителей из активной области в эмиттерные слои.

Рассматривая стационарный баланс рекомбинационных процессов в активной области кристалла авторы расчётным путём и экспериментально определили коэффициенты основных рекомбинационных процессов и установили их зависимости от концентрации инжектированных носителей заряда и состава активной области. В частности показано, что коэффициент Оже-рекомбинации увеличивается более чем на порядок с переходом от структур с $\lambda = 1,06$ мкм к структурам с $\lambda = 1,55$ мкм. Ввиду этого имеет интерес исследование характеристик светоизлучающих диодов в режиме одиночных токовых импульсов предельно больших амплитуд [13].

Кроме того, такие исследования имеют практическое значение в аспекте расширения технических возможностей применения диодов. В частности излучающие диоды АЛ148А ($\lambda = 870$ нм) разработаны для систем связи с открытыми атмосферными каналами передачи информации. В “нормальных”, паспортных режимах этот излучающий диод имеет мощность излучения при

прямом постоянном токе 1 А не менее 150 мВт (типичные значения 170-200 мВт), импульсную мощность излучения при токе 6 А не менее 700 мВт (типичные значения 800-1000 мВт), полуширину диаграммы направленности от 20 до 30 градусов.

Пиковая мощность излучения диода АЛ148А может быть увеличена в десятки раз при соответствующем увеличении прямого тока и скважности. То есть, увеличивая скважность (снижая скорость передачи) можно существенно улучшить приоритетные технико-экономические параметры ИК-трансивера в целом: увеличить дальность, уменьшить стоимость, упростив оптическую часть устройства и снизив требования к фотоприемнику, существенно компенсировать временное ухудшение условий распространения излучения на трассе (увеличение влажности, дождь, туман, дым, снегопад и т.п.).

Кроме того, существует класс задач, в которых предельная пиковая мощность излучения является основным параметром ИК-излучателя и системы в целом. Прежде всего, это устройства, в которых по одиночному прошедшему или отраженному импульсу излучения проводится измерение параметров подвижного или нестационарного объекта (среды, процесса) и принимается оперативное решение[13].

В данном разделе приводятся характеристики излучающего диода АЛ148А в режиме больших прямых токов (РБТ). В частности приводятся результаты измерений вольтамперных (ВАХ) и ваттамперных (ВТАХ) характеристик диодов в диапазоне токов до (200...250) А и пиковой мощности излучения до 30 Вт.

Режимы больших токов широко используются в эксплуатации лазерных диодов и практически неизвестны для светодиодов и излучающих ИК диодов.

Основным фактором, ограничивающим плотность рабочего тока лазерных диодов, является предел оптической прочности выходного зеркала – для импульсов длительностью около 100 нс типовое значение предельной плотности оптической мощности $\sim (1 - 10) \times 10^6$ Вт/см².

Геометрия вывода излучения в АЛ148 такова, что при одинаковой плотности рабочих токов поток мощности излучения через световыводящее окно диода на два-три порядка меньше, чем через зеркала импульсных лазерных диодов. Если в качестве обобщённой оценки ориентироваться на предельные плотности рабочих токов импульсных лазерных диодов, то предельный ток для диода АЛ148 должен составлять 200А при длительности импульса 100 нс и 600А при длительности 25 нс.

Очевидно, что измерения характеристик диодов в таких режимах имеют особенности. В экспериментальных измерительных схемах применялось несколько типов генераторов, модификаций схем измерения и фотоприёмников. Генераторы импульсов прямоугольной формы имели пиковую мощность до 10 кВт, длительность электрического импульса от 0,5 до 200 нс, длительность фронта импульса от 0,2 до 15 нс.

Генератор подключался к ИД, как правило, через линию задержки с волновым сопротивлением $W = 50 / N$ (где $N = 1, 2 \dots 5$), для того чтобы исключить взаимовлияние нелинейностей и реактивностей нагрузки и генератора. На концах линии подключалось согласующее устройство. Чаще всего это согласующий резистор или трансформатор типа «объёмный виток». Качество согласования контролировалось по отраженным импульсам, которые измерялись в контрольных каналах на обоих концах линии задержки.

Снимались эпюры напряжений на двух элементах - на излучающем диоде АЛ148 (или его эквиваленте при настройке) и на токоизмерительном резисторе. Для области токов (10...250) А величина токоизмерительного резистора выбиралась равной 0,05 Ом.

Работа фотоприёмников на линейном участке обеспечивалась ослаблением излучения посредством наборов светофильтров, калиброванных для области (0,7 - 1,0) мкм.

На рисунке 11 приведены экспериментальные ВАХ для диапазона токов (0 - 260) А при возбуждении диодов прямоугольными импульсами длительностью 90 нс. Поскольку ток через диод, I_d , ограничивается

последовательным сопротивлением диода (сопротивления объёма полупроводника, омических контактов, токоподводящих выводов и пр.), r_d , то основная часть токового импульса возбуждения рассеивается на этом последовательном сопротивлении. Последовательное сопротивление обычно определяют экспериментально как дифференциальное по наклону ВАХ. Это формальный параметр эквивалентной схемы диода, величина которого зависит от прямого тока (рисунок 12, кр.1)

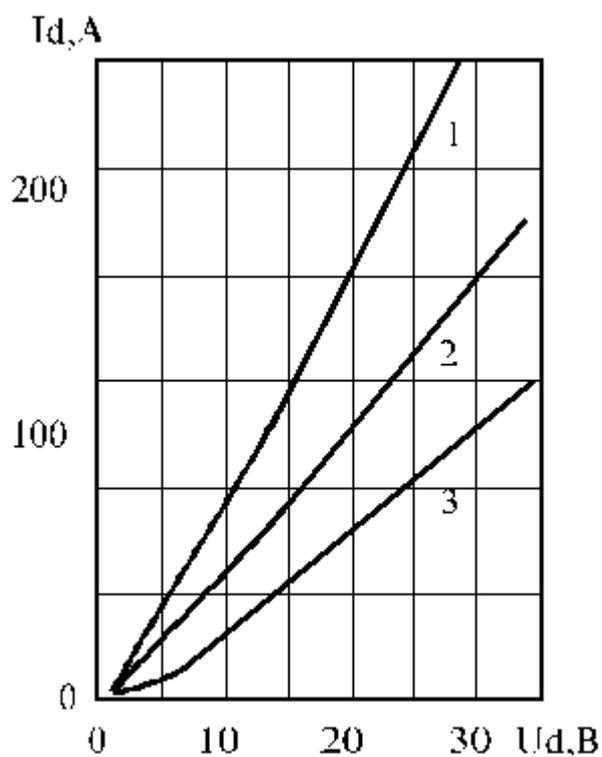


Рисунок 11- ВАХ излучающих диодов в РБТ

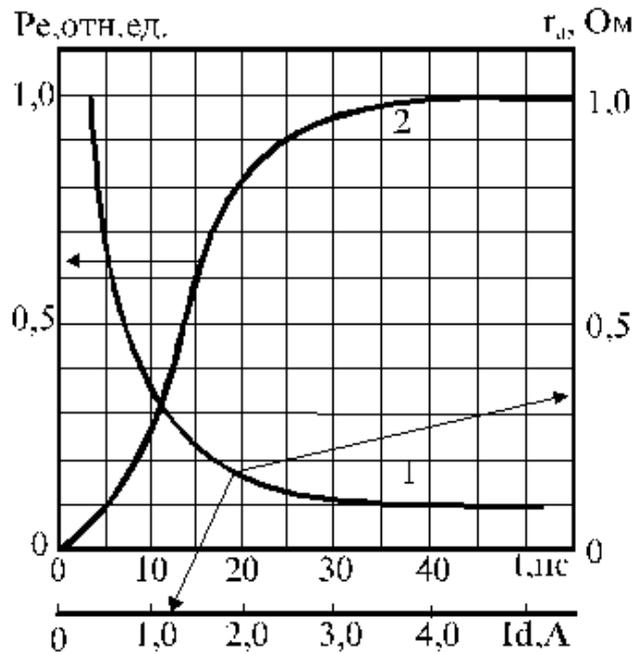


Рисунок 12 – 1 – Зависимость дифференциального сопротивления ИК диода от прямого тока;
 2- Передний фронт импульса излучения

С ростом прямого тока дифференциальное сопротивление резко уменьшается за счёт увеличения концентрации носителей заряда в базовых областях диода. Однако физическое содержание этого параметра сложнее, чем просто модуляция проводимости различных областей полупроводниковой структуры, так как с ростом плотности прямого тока увеличивается диффузионное падение напряжения на градиенте концентрации основных носителей заряда. Из-за наличия последовательного сопротивления внешняя квантовая эффективность электролюминесценции (или к.п.д.) излучающего диода (светодиода) с ростом прямого тока уменьшается пропорционально величине тока (по крайней мере в диапазоне токов с сохранением линейности ВАХ)[13].

На рисунках 13 и 14 приведены ВАХ тех же диодов, что и ВАХ на рисунке 11. Рисунок 13 демонстрирует разницу в излучаемой мощности в импульсном режиме (кр.1) и на постоянном токе (кр.2). Из рисунка 14 видно, что ИД с меньшим r_d , хотя и имел несколько меньшую начальную

эффективность электролюминесценции сохраняет линейность ВТАХ (кр.1) до больших токов

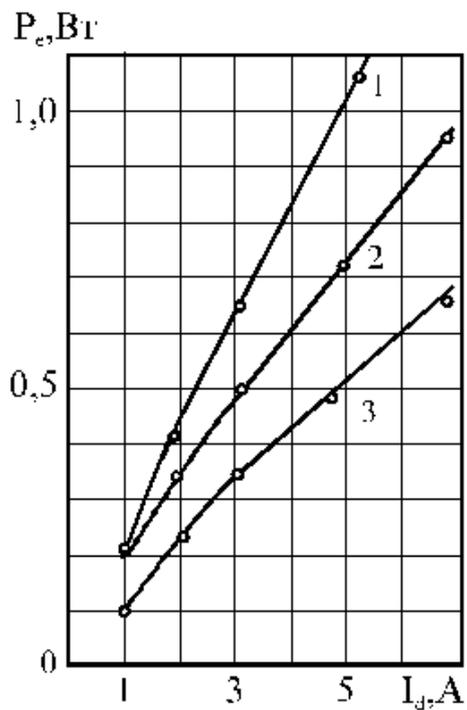


Рисунок 13 – ВТАХ излучающего диода

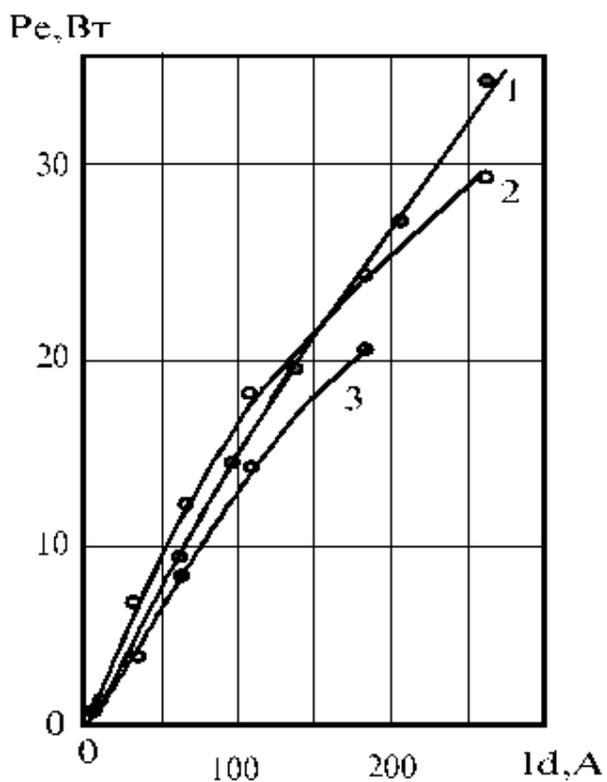


Рисунок 14 – Зависимость пиковой мощности от тока

Таблица 1 - Параметры ИД АЛ148А в режиме больших токов

Ипр.и.,А	U _d ,В	Р _е ,Вт	К.п.д., %	F, кГц
10	2,4	2	8,4	5000
17	3,2	3	5,5	3000
90	10	18	2	6
250	30	30	0,4	10
б(t _и =50мкс)	1,9	1	11	10

Экспериментальные значения ряда параметров в РБТ типичного излучающего диода АЛ148А приведены в Таблице 1. Измерения выполнены на частотах следования импульсов от 10 до 5000 кГц при длительности токового импульса 50 нс. Последняя строка таблицы – штатный импульсный режим по ТУ. Видно, что для получения высокой мощности излучения приходится жертвовать значением к.п.д. Собственно, такая зависимость к.п.д. от тока наблюдается для всех излучающих (и вообще полупроводниковых) приборов, где последовательно с рабочим переходом имеется «паразитное» последовательное сопротивление[13].

Для рассмотрения были выбраны результаты измерений светодиода №1. Расчетные данные представлены в таблице 2.

Таблица 2

Ид	U	Р _{ел}	Р _е	rd	U _{рд}	КПД (диод)	КПД (p-n)
1	1,8	1,8	0,2	0,32	0,32	0,2	0,135135
2	2,1	4,2	0,45	0,18	0,36	0,225	0,12931
3	3,5	10,5	0,65	0,11	0,33	0,216666667	0,068349
4	4,2	16,8	0,84	0,1	0,4	0,21	0,055263
5	4,5	22,5	1,02	0,1	0,5	0,204	0,051
6	5,1	30,6	1,2	0,092	0,552	0,2	0,043975
50	7	350	7	0,092	4,6	0,14	0,058333
100	12	1200	15	0,092	9,2	0,15	0,053571
150	15	2250	22	0,092	13,8	0,146666667	0,122222
250	24	6000	33	0,092	23	0,132	0,132

Были построены ВАХ и ВТАХ по данным таблицы 2, которые представлены на рисунках 15 и 17.

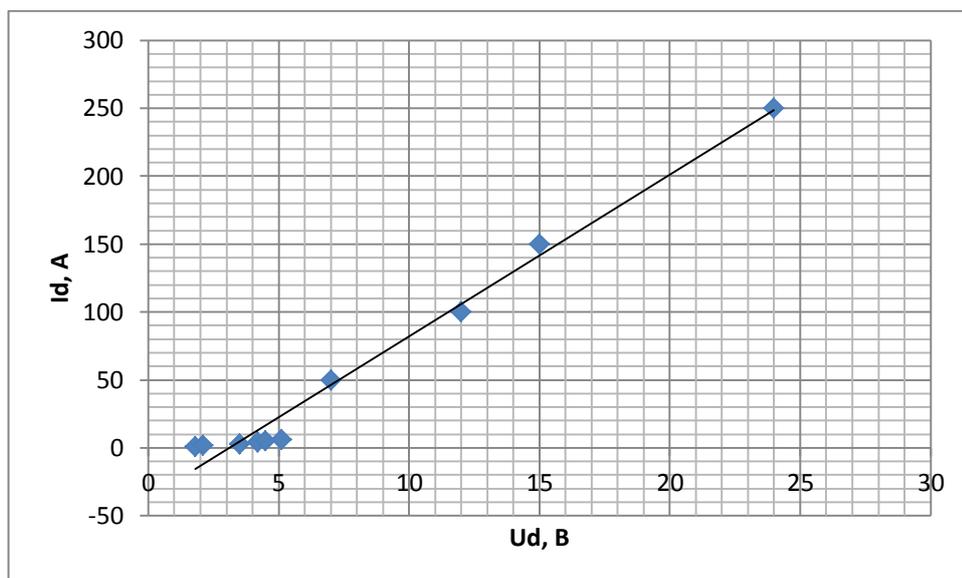


Рисунок 15 – ВАХ излучающего диода

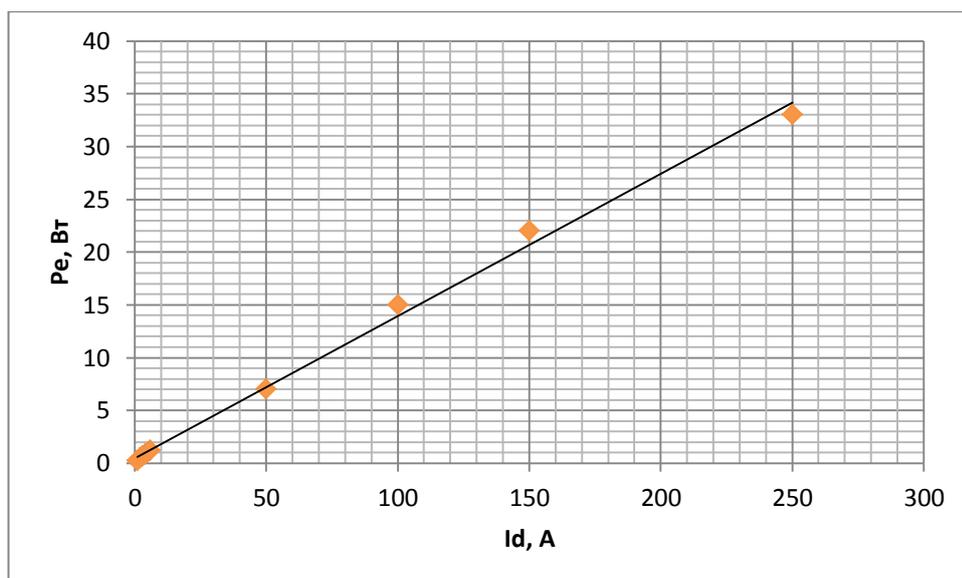


Рисунок 16 – ВТАХ излучающего диода

Также на рисунке 17 представлена зависимость квантового выхода светодиода от тока.

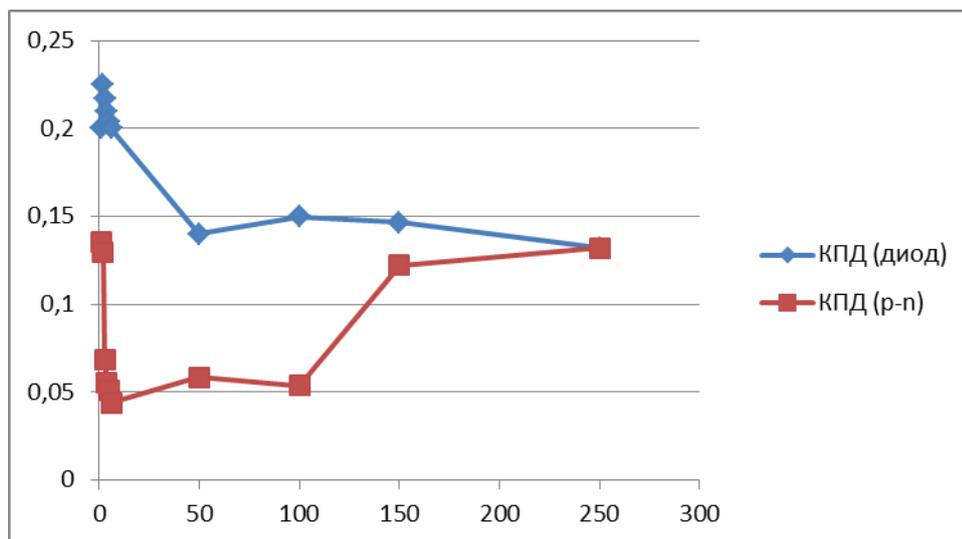


Рисунок 17 – Зависимость КПД светодиода от тока

Из графиков видно, что при изучении падения эффективности следует принимать во внимание не только инжекционные и излучательные потери. Необходимо учитывать электрический фактор, который становится более значительным при высоких токах, следовательно, электрические потери становится более катастрофическими.

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

Институт	ИФВТ
Направление подготовки (специальность)	Оптотехника
Уровень образования	Магистратура
Кафедра	ЛИСТ
Период выполнения	осенний / весенний семестр 2015/2016 учебного года

Студенту:

Группа	ФИО
4ВМ4А	Карпова Оксана Сергеевна

Тема работы:

«Анализ эффективности светодиодных источников света»	
Утверждена приказом директора	Приказ № 2017/с от 16.03.2016 г.

Форма представления работы:

<i>Магистерская диссертация</i>
--

ЗАДАНИЕ

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	
Нормы и нормативы расходования ресурсов	<i>Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	<i>SWOT-анализ</i>
1. Разработка устава научно-технического проекта	<ol style="list-style-type: none"> 1. Цели и результаты проекта 2. Организационная структура проекта 3. Иерархическая структура работ 4. Контрольные события проекта 5. План проекта
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	<p><i>Бюджет научно – технического исследования (НТИ)</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Расчет материальных затрат НТИ 2. Основная заработная плата исполнителей темы 3. Отчисления на социальные нужды 4. Накладные расходы 5. Формирование бюджета затрат научно – исследовательского проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
<ol style="list-style-type: none"> 1. SWOT-анализ 2. Календарный график проведения исследования в виде диаграммы Ганта 3. Бюджет проекта 	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Гаврикова Надежда Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ВМ4А	Карпова Оксана Сергеевна		

3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

3.1 SWOT- анализ

SWOT-анализ – метод стратегического планирования, заключающийся в выявлении факторов внутренней и внешней среды организации и разделении их на четыре категории: Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы).

Он проводится в несколько этапов.

- 1) Первый этап - матрица SWOT (таблица 1). Он заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Таблица 1 - Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны проекта:</p> <p>С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность светового прибора</p> <p>С2. Экологичность технологии</p> <p>С3. Разработка является общедоступной</p> <p>С4. Оптимизация режима питания светового прибора</p>	<p>Слабые стороны проекта:</p> <p>С1. Отсутствие отработанной технологии светодиода</p> <p>С2. Возможное повышение стоимости производства по сравнению с другими существующими технологиями изготовления светодиодов</p> <p>С3. Более сложная конструкция</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Создание усовершенствованной конструкции СД</p> <p>В2. Создание светового прибора с улучшенной световой отдачей</p> <p>В3. Повышение спроса на СД</p>		
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса</p> <p>У2. Введение дополнительных государственных требований к сертификации</p> <p>У3. Появление новых улучшенных технологий</p> <p>У4. Ограничения на экспорт технологии</p>		

2) Второй этап

Второй этап - интерактивная матрица проекта (таблица 3). Выявление соответствия сильных и слабых сторон ЛСС внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить.

В случае, когда две возможности сильно коррелируют с одними и теми же сильными сторонами, с большой вероятностью можно говорить об их единой природе.

Таблица 2 – Интерактивная матрица «сильные стороны и возможности»

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

Таблица 3 – Интерактивная матрица «слабые стороны и возможности»

	Слабые стороны			
Возможности		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	+	-	+
	B2	-	-	-
	B3	+	+	-

Таблица 4 – Интерактивная матрица «слабые стороны и угрозы»

	Слабые стороны			
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	+	+	-
	У2	-	-	-
	У3	+	-	+
	У4	-	-	-

Таблица 5 – Интерактивная матрица «сильные стороны и угрозы»

	Сильные стороны				
Угрозы		С1	С2	С3	С4
	У1	+	-	+	-
	У2	+	+	+	+
	У3	0	-	-	+
	У4	-	-	-	+

3) Третий этап

Третий этап – итоговая матрица SWOT-анализа (таблица 6).

Таблица 6 – итоговая матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны проекта:</p> <p>С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность</p> <p>С2. Экологичность технологии</p> <p>С3. Разработка является общедоступной</p> <p>С4. Оптимизация режима питания светового прибора</p>	<p>Слабые стороны проекта:</p> <p>С1. Отсутствие отработанной технологии светодиода</p> <p>С2. Возможное повышение стоимости производства по сравнению с другими существующими технологиями изготовления светодиодов</p> <p>С3. Более сложная конструкция</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Создание усовершенствованной конструкции СД</p> <p>В2. Создание светового прибора с улучшенной световой отдачей</p> <p>В3. Повышение спроса на СД</p>	<p>Главным достоинством технологии является её заявленная экономичность и энергоэффективность, которые позволят поддерживать высокий спрос и конкурентноспособность на рынке</p>	<p>Главной слабостью проекта является дороговизна производства. Понижение её стоимости в будущем привело бы к повышению спроса на технологию</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса</p> <p>У2. Введение дополнительных государственных требований к сертификации</p> <p>У3. Появление новых улучшенных технологий</p> <p>У4. Ограничения на экспорт технологии</p>	<p>Возможные угрозы заключаются только в ведении дополнительных требований к сертификации системы. Ввиду новизны технологии, потребуется вложение средств для соответствия каждой сфере.</p>	<p>Угрозой для проекта является появление новой улучшенной технологии. На фоне проблем с доступом к некоторому оборудованию для исследований и большим сроком поставок материала, эта проблема является очень актуальной.</p>

3.2 Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации будут описаны изначальные цели и содержание. Показаны внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта. Основные моменты устава проекта будут описаны ниже по пунктам.

1) Цели и результаты проекта

Данные раздела сведены и представлены в таблице 2 и таблице 3.

Таблица 2 - Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Научно-исследовательский институт полупроводниковой физики	Подтверждения результатов исследования зависимости световой отдачи СД от внешних факторов
Предприятия, занимающиеся производством световых приборов	Возможные технические решения усовершенствования конструкции СД и светильника, а также оптимизация режима питания

Таблица 3 – Цели и результаты проекта

Цели проекта:	Исследовать возможных физических механизмов зависимости световой отдачи СД от внешних факторов
Ожидаемые результаты проекта:	Получение возможного технического решения для усовершенствования конструкции СД и светового прибора
Критерии приемки результатов:	Определение физического процесса, влияющего на эффективность светодиодных источников света
Требование к результату проекта	Требования:
	Механизм, влияющий на падение эффективности светодиода
	Техническое решение усовершенствования конструкции светодиода
	Оптимизация режима питания светового прибора

2) Организационная структура проекта

На данном этапе работы были решены следующие вопросы: кто будет входить в рабочую группу данного проекта, определены роли каждого участника проекта, а также прописаны функции, выполняемые каждым из участников и трудозатраты в проекте. Данные по организационной структуре описаны в таблице 4.

Таблица 4 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо- затраты, дни.
1	Вилисов А.А НИ ТПУ, профессор	Руководитель проекта	Руководить, координировать	4
2	Карпова О.С НИ ТПУ, студент	Исполнитель проекта	Выполнение работ по проекту	96
ИТОГО:				100

3) Ограничения и допущения проекта

Все имеющиеся данные по ограничениям и допущениям описаны и сведены в таблице 6

Таблица 6 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1 Сроки проекта:	
3.1.1 Дата утверждения плана управления проектом	15.01.2016
3.1.2 Дата завершения проекта	20.04.2016

3.3 Планирование управления научно-техническим проектом

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

3.3.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ, представлена на рисунке 5.1.

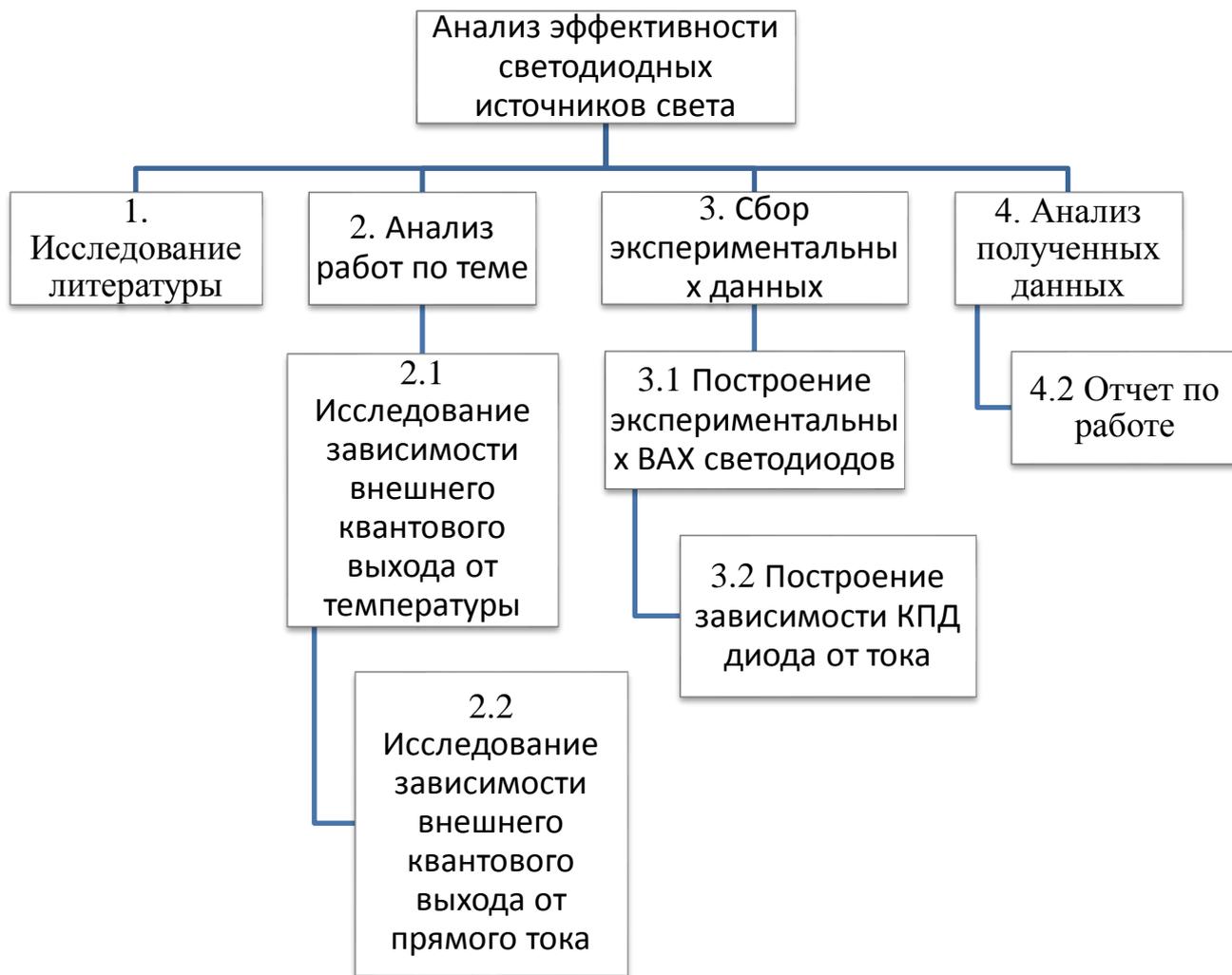


Рисунок 5.1 – Иерархическая структура работ по проекту

3.3.2 Контрольные события проекта

В рамках данного раздела определялись ключевые события проекта, их даты и полученные результаты, по состоянию на эти даты. Эта информация сведена в таблицу 7.

Таблица 7 – Контрольные события проекта

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Исследование литературы	1.02.2016	Постановление задач на исследование
2	Анализ работ по теме	15.03.2016	Начало первой фазы эксперимента
3	Сбор экспериментальных данных	19.03.2016	Начало второй фазы эксперимента
4	Обработка данных	20.04.2016	Составлен отчет о результатах исследования

План управления научным проектом должен включать в себя следующие элементы:

3.3.3 План проекта

В рамках планирования научного проекта был построен календарный и сетевой графики проекта. Линейный график представлен в таблице 8.

Таблица 8 – Календарный план проекта

Код работы (из ИСР)	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)
1	Исследование литературы	16	15.01.2016	1.02.2016	Карпова О.С.
2	Анализ работ по теме				
2.1	Исследование зависимости внешнего квантового выхода от температуры	21	1.02.2016	20.02.2016	Карпова О.С
2.2	Исследование зависимости внешнего квантового выхода от прямого тока	23	20.02.2016	15.03.2016	Карпова О.С
3	Сбор эксперименталь				

	ных данных				
3.1	Построение экспериментальных ВАХ светодиодов	2	15.03.2016	17.03.2016	Вилисов А.А. Карпова О.С.
3.2	Построение зависимости КПД диода от тока	2	17.03.2016	19.03.2016	Вилисов А.А. Карпова О.С.
4	Анализ полученных данных	17	19.03.2016	5.04.2016	Карпова О.С.
4.1	Отчет по работе	15	5.04.16	20.04.2016	Карпова О. С.
Итого:		96	15.01.2016	20.04.2016	

Таблица 9 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Код работы (из ИСР)	Вид работ	Исполнители	Т _к , кал, дн.	Продолжительность выполнения работ													
				январь			февраль			март			апрель				
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Исследование литературы	исполнитель	16														
2	Анализ работ по теме	исполнитель	44														
3	Сбор экспериментальных данных	Руководитель, исполнитель	4														
4	Анализ полученных данных	исполнитель	17														
5	Отчет по работе	исполнитель	15														

 – руководитель  – исполнитель

3.3.4 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям.

1) Основная заработная плата

Таблица 12 - Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудо-емкость, чел.-дн.	Зарплата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс.руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.
1	Исследование литературы	Исполнитель	16	667	10672
2	Анализ работ по теме	Исполнитель	44	667	29348
3	Сбор экспериментальных данных	Руководитель	4	1410	5640
		Исполнитель	4	667	2668
4	Анализ полученных данных	Исполнитель	32	667	21344
Итого:					69672

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

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (1)$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}, \quad (2)$$

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

$T_{р}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (табл. 12);

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_{м} \cdot M}{F_{д}}, \quad (3)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

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

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, рабочие дни. (таблица 13).

Таблица 13 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Дипломник
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	104	104
- выходные дни	14	14
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	24	24
- отпуск		
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	223	223

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_b \cdot (k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (4)$$

где Z_b – базовый оклад, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, (определяется Положением об оплате труда);

k_d – коэффициент доплат и надбавок (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: определяется Положением об оплате труда);

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

Таблица 14 - Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Z_b , руб.	k_p	k_d	$k_{пр}$	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	23264	1,3	0	0	30243	1410	4	5640
Исполнитель	14500	1,3	0	0	18850	667	96	64032

2) Дополнительная заработная плата

В дополнительную заработную плату включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы).

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

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (5)$$

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

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

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

В таблице 15 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 15 – Заработная плата исполнителей

Заработная плата	Руководитель	Исполнитель
Основная зарплата	5640	64032
Дополнительная зарплата	677	7684
Зарплата исполнителя	6317	71716
Итого по статье $C_{\text{зп}}$		78033

3) Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,271 \cdot 78033 = 21147 \quad , \quad (6)$$

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

4) Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др. В расчетах эти расходы принимаются в размере 70 - 90 % от суммы основной заработной платы научно-производственного персонала данной научно-технической организации.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,8 \cdot 78033 = 62426, \quad (7)$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости исследования очагов воздействия лазерного излучения на поверхности углеродистой стали. Все данные по статьям сведены в таблицу 16.

Таблица 16 – Группировка затрат по статьям

Наименование статьи затрат	Размер затрат, р.
Основная заработная плата	69672
Дополнительная заработная плата	8361
Отчисления на социальные нужды	21147
Накладные расходы	62426
Итого плановая себестоимость	161606

	мороз, сильный снегопад, лесные пожары; биолого-социального характера – вспышки инфекционных заболеваний; экологического характера – разрушение озонового слоя, превышение ПДК вредных примесей в атмосфере.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Рабочее место должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78:рабочий стол должен быть устойчивым, иметь однотонное неметаллическое покрытие, не обладающее способностью накапливать статическое электричество; рабочий стул должен иметь дизайн, исключающий онемение тела из-за нарушения кровообращения при продолжительной работе на рабочем месте; рабочее место должно соответствовать техническим требованиям и санитарным нормам. В соответствии с СНиП 41-01-2003 в помещении должен быть организован воздухообмен.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Кырмакова Ольга Сергеевна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ВМ4А	Карпова Оксана Сергеевна		

4 Социальная ответственность

4.1 Введение

В последние годы все большее значение приобретают требования мирового сообщества и практически всех государств к социальной стороне деятельности организаций. Это в равной мере относится к организациям всех типов, размеров и форм собственности вне зависимости от их географического размещения, сферы деятельности, культурных и национальных традиций.

Возникло и прочно утвердилось понятие о социальной ответственности организаций. В международном стандарте ICCSR26000: 2011 «Социальная ответственность организации» используется следующее определение:

социальная ответственность - ответственность организации за воздействие ее решений и деятельности на общество и окружающую среду через прозрачное и этичное поведение, которое:

- содействует устойчивому развитию, включая здоровье и благосостояние общества;
- учитывает ожидания заинтересованных сторон;
- соответствует применяемому законодательству и согласуется с международными нормами поведения;
- интегрировано в деятельность всей организации и применяется в ее взаимоотношениях

В основных положениях экономического и социального развития наряду с интенсификацией работ по созданию высокоэффективного оборудования и материалов, новых технологических процессов немалую роль отводят вопросам охраны труда и улучшению условий труда.

По характеру физической нагрузки согласно ГОСТ 12.1.005 – 88 работа инженера-исследователя относится к разряду легких (категория I) с энергозатратами до 174 Вт, но она сопряжена с большой умственной и нервно-психологической нагрузкой. Длительная работа в помещении при плохой вентиляции, повышенной или пониженной температуре и влажности воздуха,

плохом освещении неблагоприятно сказывается на здоровье работающего, что неизбежно влечет за собой снижение производительности труда.

Главной задачей при выполнении ВКР является исследование возможных физических механизмов зависимости световой отдачи СД и светильника от внешних воздействующих факторов: тока накачки, температуры, сопротивления растекания, конструктивных особенностей устройств. Научно-исследовательская работа выполнялась в лаборатории Томского политехнического университета (НИ ТПУ). Рабочей зоной являлось помещение лаборатории площадью 30 м², включающее 8 персональных компьютеров. Так как работа осуществлялась в различных пунктах рабочей зоны, то постоянным рабочим местом является вся рабочая зона (ГОСТ 12.1.005 – 88).

В данном разделе рассмотрены вредные и опасные факторы, действующие на сотрудника лаборатории, разработаны требования безопасности и комплекс защитных мероприятий на рабочем месте. Также этот раздел включает подразделы охраны окружающей среды и чрезвычайных ситуаций.

4.2 Техногенная безопасность

4.2.1 Вредные факторы

На производительность труда инженера-исследователя, находящегося на рабочем месте, влияют следующие вредные производственные факторы (О и В ПФ ГОСТ 12.0.003-74) [3]:

1. Отклонение температуры и влажности воздуха от нормы.
2. Недостаточная освещенность рабочего места.
3. Повышенный уровень электромагнитных излучений.

Микроклимат

Основными факторами, характеризующими микроклимат производственной среды, являются: температура, подвижность и влажность воздуха.

Отклонение данных параметров от нормы приводит к ухудшению самочувствия работника, снижению производительности труда и к возникновению различных заболеваний.

Высокая температура воздуха способствует быстрой утомляемости работающего, может привести к перегреву организма, тепловому удару. Низкая температура воздуха может вызвать местное или общее охлаждение организма, стать причиной простудного заболевания либо обморожения.

Высокая относительная влажность при высокой температуре воздуха способствует перегреванию организма, при низкой же температуре увеличивается теплоотдача с поверхности кожи, что ведет к переохлаждению. Низкая влажность вызывает неприятные ощущения в виде сухости слизистых оболочек дыхательных путей работающего [1].

При нормировании метеорологических условий в производственных помещениях учитывают время года, физическую тяжесть выполняемых работ, а также количество избыточного тепла в помещении [1]. Оптимальные и допустимые метеорологические условия температуры и влажности устанавливаются согласно ГОСТ 12.1.005-88 (Таблица 1).

Для поддержания нормальных параметров микроклимата в рабочей зоне применяются следующие мероприятия: устройство систем вентиляции, кондиционирование воздуха и отопление.

Для поддержания нормальных параметров микроклимата в рабочей зоне применяются следующие мероприятия: устройство систем вентиляции, кондиционирование воздуха и отопление.

Таблица 1- Комплекс требований для нормального протекания трудового процесса

Характеристика помещения и категория работ	Период года	Оптимальные		Допустимые	
		Температура воздуха,	Относительная влажность,	Температура воздуха, °С	Относительная влажность,

		°С	%		%
Помещения, характеризующиеся незначительными избытками явной теплоты	Холодный период года (температура наружного воздуха меньше 10°С)	20-22	60-30	17-22	не более 75
Категория работ - легкая	теплый период года (температура наружного воздуха выше 10°С)	22-25	60-30	Не более, чем на 3 С выше средней температуры наружного воздуха в 13 часов самого жаркого месяца, но не более 25 С	При 28 С - не более 55; при 27 С - не более 60; при 24 С - не более 75.

Освещенность

Среди технических требований к рабочему месту инженера особенно важным является требование к освещенности, которая значительно влияет на эффективность трудового процесса. Недостаточная освещенность способствует возрастанию нагрузки на органы зрения и приводит к утомляемости организма. Поэтому необходимо обеспечить оптимальное сочетание общего и местного освещения.

Естественное освещение должно удовлетворять СНиП 23-05-95. Нормы естественного освещения установлены с учетом обязательной регулярной очистки стекол световых проемов не реже двух раз в год (для помещений с незначительным выделением пыли, дыма и копоти). Учитывая, что солнечный свет оказывает благоприятное воздействие на организм человека, необходимо максимально продолжительно использовать естественное освещение.

В соответствии с характером выполняемых работ, освещенность рабочего места по СНиП 23-05-95 должна быть 200 Лк – общая освещенность и 300 лк — комбинированное освещение.

Электромагнитное излучение

Дипломная работа выполнялась с применением персональных компьютеров (ПЭВМ) типа IBM PC. Основным вредным фактором, воздействию которого подвергается инженер-исследователь при работе за компьютером, является электромагнитное излучение. Оно пагубно влияет на костные ткани, ухудшает зрение, повышает утомляемость, а также способствует ослаблению памяти и возникновению онкологических заболеваний.

Безопасные уровни излучений регламентируются нормами СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 и представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Временные допустимые уровни (ВДУ) электромагнитных полей, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах

Наименование параметров		ВДУ
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

С целью снижения вредного влияния электромагнитного излучения при работе с ПК необходимо соблюдать следующие общие гигиенические требования [1]:

1. Продолжительность непрерывной работы взрослого пользователя не должна превышать 2 ч, ребенка – 10÷20 мин, в зависимости от возраста. В процессе работы желательно менять тип и содержание деятельности, например, чередовать редактирование и ввод данных и их считывание. Санитарными нормами предусматриваются обязательные перерывы в

работе на ПК, во время которых рекомендуется делать простейшие упражнения для глаз, рук и опорно-двигательного аппарата.

2. Рабочее место с ПК должно располагаться по отношению к оконным проемам так, чтобы свет падал сбоку, предпочтительнее слева. При наличии нескольких компьютеров расстояние между экраном одного монитора и задней стенкой другого должно быть не менее 2 м, а расстояние между боковыми стенками соседних мониторов – 1,2 м. Экран монитора должен находиться от глаз пользователя на оптимальном расстоянии 60÷70 см, но не ближе 50 см
3. Для ослабления влияния рассеянного рентгеновского излучения от монитора ПК рекомендуется использовать защитные фильтры (экраны).

4.2.2 Опасные факторы

Согласно ГОСТ 12.0.003-74 инженер-исследователь при работе в лаборатории может быть подвергнут действию следующих опасных факторов:

1. опасность поражения электрическим током, поскольку работать приходится с оборудованием, питающимся от сети ~220 В 50 Гц
2. возникновение пожаров в результате короткого замыкания.

Электробезопасность

Основными причинами воздействия тока на человека являются [1]:

1. Случайное прикосновение или приближение на опасное расстояние к токоведущим частям;
2. Появление напряжения на металлических частях оборудования в результате повреждения изоляции или ошибочных действий персонала;
3. Шаговое напряжение на поверхности земли в результате замыкания провода на землю;
4. Появление напряжения на отключенных токоведущих частях, на которых работают люди, вследствие ошибочного включения установки;
5. Освобождение другого человека, находящегося под напряжением;
6. Воздействие атмосферного электричества, грозových разрядов.

Согласно ГОСТ 12.1.038-82 [4] предельно допустимые уровни напряжения прикосновения и токов, воздействию которых человек может подвергаться в процессе работы с электрооборудованием, составляют для установок в нормативном режиме: для постоянного тока – не более 0,8 В и 1 мА соответственно, для переменного тока (частота 50 Гц) - не более 2,0 В и 0,3 мА соответственно.

Настоящая инструкция распространяется на всех лиц, выполняющих работы с установками и приборами:

1. К работе с электроустановками допускаются лица, имеющие третью либо четвертую группы допуска, устанавливаемые квалификационной комиссией.

2. Лица, не имеющие непосредственного отношения к обслуживанию электроустановок, к работе с ними не допускаются.

3. Все питающие части должны быть заземлены. Сопротивление заземления должно не превышать 4 Ом.

4. Перекоммутацию кабелей, соединяющих периферийные устройства с ЭВМ, а также установку плат дополнительных устройств (модемов, портов ввода-вывода и т.д.) в слоты шины расширения компьютера необходимо осуществлять только при отключенном питании.

5. При замене (установке) плат расширения необходимо пользоваться браслетом заземления, либо перед осуществлением этой операции избавиться от накопленного на теле статического заряда посредством прикосновения к зануленной части компьютера, в противном случае возможно повреждение чувствительных к статике микроэлементов ЭВМ.

6. При приближении грозы необходимо оперативно закончить работу на компьютере и отключить его от сети во избежание повреждения последовательного порта и исключения сбоев при возможных скачках напряжения в сети, характерных в подобных случаях.

Меры первой помощи зависят от состояния, в котором находится пострадавший после освобождения его от электрического тока.

Для определения этого состояния необходимо немедленно произвести следующие мероприятия:

1. Уложить пострадавшего на спину на твердую поверхность.
2. Проверить наличие у пострадавшего дыхания (определяется по подъему грудной клетки или каким-либо другим способом).
3. Проверить наличие у пострадавшего пульса на лучевой артерии у запястья или на сонной артерии, на переднебоковой поверхности шеи.
4. Выяснить состояние зрачка (узкий или широкий); широкий зрачок указывает на резкое ухудшение кровоснабжения мозга.
5. При признаках остановки сердца или отсутствии дыхания произвести непрямой массаж сердца и искусственное дыхание.

Во всех случаях поражения электрическим током вызов врача является обязательным независимо от состояния пострадавшего.

С точки зрения электробезопасности (ГОСТ 12.1.030-81) [4], оборудование, запитываемое напряжением выше 42 В, должно быть заземлено или занулено. Зануление – более эффективная мера, чем защитное заземление, поскольку в критическом случае ток короткого замыкания при занулении больше, чем при заземлении, следствием чего является более быстрое срабатывание предохранительных устройств. Во многих случаях это позволяет сберечь дорогостоящее оборудование от повреждений. Соединяющие проводники электрооборудования изготавливают из медного провода сечением 1,5 мм², покрытым изоляционным слоем лака для защиты от окисления. Кроме того, обязательно должна быть предусмотрена возможность быстрого отключения напряжения с разделительного щита.

Меры профилактики и средства защиты от пожаров рассмотрены в подразделе чрезвычайные ситуации.

4.3 Организационные мероприятия обеспечения безопасности

Одним из факторов комфортности рабочей среды является организация рабочего места.

Рабочее место – это часть помещения предприятия (организации), имеющая площадь и объем, достаточный для размещения инженера и необходимого оборудования (рабочего стола, стула, контрольно-измерительных приборов, станков, а также справочных и рабочих материалов, инструментов, вычислительной техники и т.д.).

Рабочее место должно соответствовать следующим требованиям ГОСТ 12.2.032-78 [3]:

а) рабочий стол должен быть устойчивым, иметь однотонное неметаллическое покрытие, не обладающее способностью накапливать статическое электричество;

б) рабочий стул должен иметь дизайн, исключающий онемение тела из-за нарушения кровообращения при продолжительной работе на рабочем месте.

в) рабочее место должно соответствовать техническим требованиям и санитарным нормам.

В соответствии с СН-245-71 [4] в помещении должен быть организован воздухообмен. Это осуществляется с помощью вентиляции.

Для улучшения воздухообмена в помещении необходимо выполнить следующие технические и санитарно-гигиенические требования:

1. Общий объем притока воздуха в помещении должен соответствовать объему вытяжки;
2. Правильное размещение приточной и вытяжной вентиляции,

Расчет необходимого воздухообмена ведется по следующим факторам: по количеству работающих, влаговыведению, теплоизбыткам, поступлению в воздух рабочей зоны вредных газов, паров и пыли.

Исходя из того, что три последних фактора не оказывают существенного влияния на микроклимат лаборатории, то расчет воздухообмена проводится исходя из количества работающих:

$$L = n \cdot L_0,$$

где n – число работников;

L_0 - расход воздуха на одного работающего, принимаемый в зависимости от объема помещения на одного работающего.

Согласно СН-245-71 [4] объем производственных помещений должен быть таким, чтобы на одного работающего приходилось не менее 15 м^3 свободного пространства и не менее 6 м^2 площади. Следовательно, согласно СП 2.2.1.1312–03 [4] при наличии естественной вентиляции следует проектировать подачу наружного воздуха в количестве не менее $30 \text{ м}^3/\text{ч}$ на каждого работающего.

4.4 Чрезвычайные ситуации

В лаборатории НИ ТПУ наиболее вероятно возникновение чрезвычайных ситуаций (ЧС) техногенного характера. ЧС техногенного характера — это ситуации, которые возникают в результате производственных аварий и катастроф на объектах, транспортных магистралях и продуктопроводах; пожаров, взрывов на объектах; загрязнения местности и атмосферы сильнодействующими ядовитыми веществами (СДЯВ), отравляющими веществами (ОВ), биологически (бактериологически) опасными и радиоактивными веществами. Аварии и катастрофы на объектах характеризуются внезапным обрушением зданий, сооружений, авариями на энергетических сетях (ТЭЦ, АЭС, ЛЭП и др.), авариями в коммунальном жизнеобеспечении, авариями на очистных сооружениях, технологических линиях и т. д [2].

На случай возникновения чрезвычайной ситуации (землетрясение, наводнение, пожары, химическое либо радиоактивное заражение и т.п.) должен быть предусмотрен следующий комплекс мероприятий:

- рассредоточение и эвакуация;
- укрытие людей в защитных сооружениях;
- обеспечение индивидуальными средствами защиты;
- организация медицинской помощи пострадавшим.

В чрезвычайной обстановке особенно важное значение имеют сроки эвакуации людей за пределы зон возможного поражения или разрушений. В

наиболее короткие сроки эвакуацию можно провести комбинированным способом, который заключается в том, что при его применении массовый вывод населения пешим порядком сочетается с вывозом некоторых категорий населения (пенсионеры, инвалиды, больные и т.д.) всеми видами имеющегося транспорта.

Рассредоточение и эвакуация населения комбинированным способом осуществляется по территориально-производственному принципу. Это значит, что вывод населения организуется через предприятия, учреждения, учебные заведения и домоуправление по месту жительства.

Ведение спасательных работ в районах производственных аварий существенно различаются в зависимости от размеров и опасности аварий и катастроф. Однако, ряд требований к организации спасательных работ является общим.

Работы надо начинать немедленно, чтобы не дать возможности аварии разрастись до катастрофических размеров. Очень важно обеспечить общественный порядок, что даст возможность свободному прибытию формирований гражданской обороны (ГО) к месту аварий. Формирования охраны общественного порядка должны приступить к работе в первую очередь.

Очень важны действия аварийно технических формирований, которые немедленно должны отключить еще не поврежденные энергетические и коммунально-технические сети для локализации аварии.

Спасательные формирования ГО должны как можно быстрее приступить к работам по спасению людей, действуя совместно с формированиями ГО медицинской службы.

При недостатке сил своего объекта для спасательных работ распоряжением старшего начальника могут привлекаться территориальные формирования ГО и другие силы. Чем организованней, быстрее сработают все подразделения различных служб, тем меньше материального ущерба и человеческих жизней унесет авария.

Неотъемлемой частью комплекса защитных мероприятий на рабочем месте является мероприятия, направленные на обеспечение противопожарной безопасности. Используемый технологический процесс в условиях лаборатории НИ ТПУ относится к категории Д, так как использует негорючие вещества в холодном состоянии. В данном случае источником возгорания может оказаться неисправность и неправильная эксплуатация электроустановок.

Существует 5 степеней огнестойкости зданий, сооружений. Помещение лаборатории можно отнести к первой степени огнестойкости.

Предусмотренные средства пожаротушения: огнетушитель ручной углекислотный ОУ-5, пожарный кран с рукавом и ящик с песком (в коридоре). Кроме того, каждое помещение оборудовано системой противопожарной сигнализации.

Основными мероприятиями, обеспечивающими успешную эвакуацию людей и имущества из горящего здания, являются:

- составление планов эвакуации;
- назначение лица, ответственного за эвакуацию, которое должно следить за исправностью дверных проемов, окон, проходов и лестниц.

Заключение

Анализ известных литературных источников показал, что направление, связанное с разработкой мощных излучающих диодов является устоявшимся направлением. Одной из основных проблем в создании мощных светодиодных источников света является падение эффективности светодиодов с ростом плотности прямого тока. Этот эффект привлекал к себе внимание уже давно и первоначально связывался с уменьшением сечения захвата электронов в квантовую яму, а именно - с пролетом электронов над квантовой ямой. Например, утечка тока по структурным дефектам, Оже-рекомбинация, влияние встроенных пьезоэлектрических полей в квантовой яме. Однако до сих пор остается неясным, насколько значителен вклад каждого из предложенных механизмов в падение эффективности. В работе были исследованы возможные физические механизмы зависимости световой отдачи светодиодов от внешних воздействующих факторов: тока накачки, температуры, сопротивления растекания. Следует отметить, что наиболее значительным фактор являются электрические потери.

Список использованных источников

1. Шуберт Ф. Светодиоды/Пер.с англ.под ред. А.Э. Юновича – 2-е изд. – М: ФИЗМАТЛИТ, 2008 – 496с.
2. Кудряшов В.Е., Мамакин С.С., Туркин А.Н. и др. Спектры и квантовый выход излучения светодиодов с квантовыми ямами на основе гетероструктур из GaN – зависимость от тока и напряжения // Физика и техника полупроводников. - 2001. - Т. 35, № 7. - С. 861–868.
3. Бочкарева Н.И., Вороненков В.В., Горбунов Р.И. и др. Механизм падения эффективности GaN-светодиодов с ростом тока // Физика и техника полупроводников. - 2010. - Т. 44. - № 6. - С. 822–828.
4. Бочкарева Н.И., Вороненков В.В., Горбунов Р.И. и др. Туннельная инжекция и энергетическая эффективность светодиодов на основе InGaN/GaN. // Физика и техника полупроводников. - 2013. - Т. 47. - № 1. - С. 129–136.
5. Прудаев И.А., Голыгин И.Ю., Ширапов С.Б. и др. Влияние температуры на механизм инжекции носителей в светодиодах на основе множественных квантовых ям InGaN/GaN. // Физика и техника полупроводников. - 2013. - Т. 47. - № 10. - С. 1391–1395.
6. Бер Б.Я., Богданова Е.В., Грешнов А.А. и др. Влияние уровня легирования кремнием и характера наноструктурной организации на падение с током внешней квантовой эффективности InGaN/GaN светодиодов. // Физика и техника полупроводников. - 2011. - Т. 45. - № 3. - С. 425–431.
7. Ni X., Li X., Lee J. et al. Pivotal role of ballistic and quasiballistic electrons on LED efficiency // Superlattices and Microstructures. 2010.- V. 48. P. 133-153.
8. Shen Y.C., Mueller G.O., Watanabe S. Auger recombination in InGaN measured by photoluminescence // Applied Physics Letter. 2007. V. 91 P. 141101.

9. Бочкарева Н.И., Вороненков В.В., Горбунов Р.И. и др. Влияние хвостов локализованных состояний в InGaN на уменьшение эффективности GaN светодиодов с ростом плотности тока // Физика и техника полупроводников. - 2012. - Т. 46. - № 8. - С. 1054–1062.
10. Бадгутдинов Б.Л., Коробов Е.В., Лукьянов Ф.А. Спектры люминесценции, эффективность и цветовые характеристики светодиодов белого свечения на основе p-n- гетероструктур InGaN/GaN, покрытых люминофорами // Физика и техника полупроводников. - 2006. - Т. 40. - № 6. - С. 758–763.
11. Вилисов А.А., Горбатов Н.А., Сергеева А.А., Герметизация излучающих диодов с помощью эпоксидных оптических компаундов// Деп. ЦНИИ «Электроника». - №3439/82.
12. Вилисов А.А., Захарова Г.Н., Кухта А.М., Нефёдцева И.В., Мощный излучающий диод АЛ148А // Электронная промышленность. – .1990.- №10.-с.120.
13. Вилисов А.А. Мощные излучающие диоды и их применение – Докторская диссертация - 2001.- Томск.- с.21-23.
14. Коган Л.М. Новые светодиоды и устройства на их основе// Светотехника.- 1997.-№3.-с.27-30.
15. Коган Л.М. Светоизлучающие диоды: дальнейшее развитие// Светотехника.- 1999.-№4.-с.23-27.
16. Коган Л.М. Светодиоды с повышенной мощностью излучения// Светотехника.- 2000.-№2.-с.16-19.
17. СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
18. СанПиН 2.2.4.1191 – 03. Электромагнитные поля в производственных условиях. М.: Минздрав России, 2003.
19. СНиП 23-05-95 от 20.05.1995. Строительные нормы и правила Российской Федерации «Естественное и искусственное освещение

20. Методические рекомендации «Организация тренировок по эвакуации персонала предприятий и учреждений при пожаре и иных чрезвычайных ситуациях» (утв. Главным государственным инспектором РФ по пожарному надзору 4 сентября 2007 г. N 1-4-60-10-19)
21. ГОСТ 17.1.3.06 – 82. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране подземных вод.
22. ГОСТ 17.1.3.13 – 86. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений.
23. СНИП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение. М.: 1995. – 35 с. – (Строительные нормы и правила РФ).
24. НПВ 105-95 Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений, 1995.
25. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов. - 2008.

**Приложение А
(обязательное)**

Раздел 1
Литературный обзор

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ВМ4А	Карпова Оксана Сергеевна		

Консультант кафедры ЛИСТ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Карнаухова А. А.			

Консультант – лингвист кафедры ИЯФТ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Ботова А. Л.			

1. 1 Injection

The phenomenon of minority carrier injection is the primary mechanism for the introduction of minority carriers in the active region of the LED structure.

If there is uniform contact semiconductors with different electroconduction types in equilibrium, the Fermi level must be the same. This leads to the formation of zones and the curvature of the potential barrier. In order to assess the movement of holes and electrons in the p-n-junction use the well-known analogy: the positively charged holes, that move (drift) in the field E , imagine how easy bubbles pop up on the ceiling of the valence band (right); negatively charged electrons, which move (drift) against the field E can be represented in the band diagram in the form of heavy balls roll down the sloping bottom of the conduction band (left to right). The bulk of holes from p-layer, where there are many diffuses left to right in the transition region, but can not overcome the potential barrier and extending into a certain depth transition, it returns to the p-layer. Holes n-layer as bubbles readily "float" on the bottom, regardless of the valence band energy in p-layer and form a drift flow from right to left. It is balanced by a counter flow of drift holes p-layer with high energy and are able to overcome the potential barrier. A similar pattern in the motion of electrons (Figure 1a).

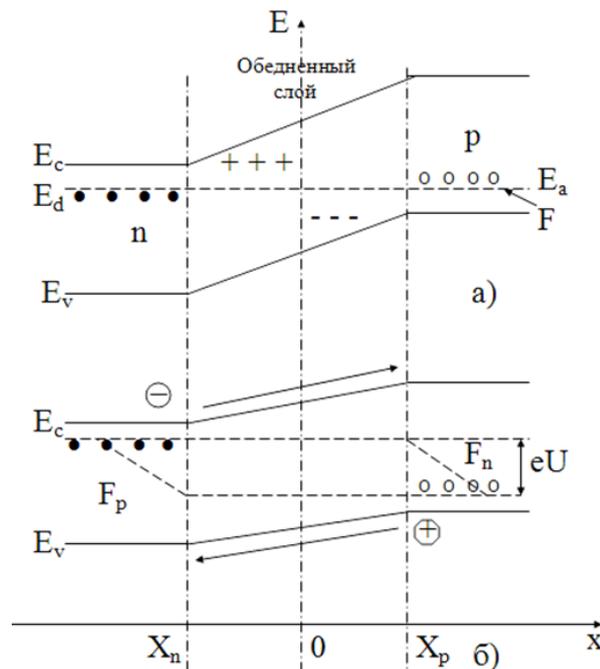


Figure 1 - Schematic representation of the p-n-junction at thermodynamic equilibrium (a) and a forward bias (b).

When applied to the p-n-junction electric displacement in the forward direction U (Figure 1b), a potential barrier is lowered, resulting in a p-region enters the additional number of electrons in the n-well region - holes. Such introduction of diffusion of minority carriers is called injection.

The concentration of the injected electrons at the p-n-junction and p-region is determined by the expression:

$$n(x) = n_p \exp(eU / kT), \quad (1.1)$$

where n_p - equilibrium concentration of electrons in the p-region;

k - is Boltzmann constant;

T - temperature;

e - the electron charge.

The concentration of injected carriers is dependent on the equilibrium concentration of minority carriers, and the applied voltage.

The diffusion current I_n , due to the recombination of the injected electrons, described by the expression:

$$I_n = eD_n n_p [\exp(eU / kT) - 1] / L_n, \quad (1.2)$$

where D_n - diffusion coefficient of electrons;

L_n - electron diffusion length.

The diffusion current I_p described a similar expression. In the case where the two essential component of the current (electron and hole), the total current I is given by the formula:

$$I = (I_{n0} + I_{p0}) [\exp(eU / kT) - 1] \quad (1.3)$$

where

$$I_{n0} = \frac{eD_n n_p}{L_n} ; \quad I_{p0} = \frac{eD_p p_n}{L_p} . \quad (1.4)$$

Feature addressing injection in the design of light-emitting diodes, in which one of the areas of p-n-structure has a high internal quantum efficiency of radiation is that, to obtain effective electroluminescence whole injection of minority carriers should be directed to the active region, and injection in the opposite direction - suppressed.

If the active region of p-type, it is necessary that the electronic component of diffusion current prevailed over the hole, and in the field of space charge recombination rate was low. injection coefficient γ_n , the ratio of e - I_{n0} current component to the total forward current $I = I_{n0} + I_{p0}$, determined by the formula:

$$\gamma_n = \frac{L_p N_d}{L_p N_d + \left(\frac{D_p}{D_n}\right) L_n N_a}, \quad (1.5)$$

where N_d and N_a - donor and acceptor concentrations in the n- and p-areas.

From (1.5) it follows that for the value of γ_n , close to 1, it is necessary to $N_d \gg N_a$, $L_p \gg L_a$, $D_n \gg D_p$. The decisive role, of course, is to ensure the ratio of $N_d \gg N_a$. Generally, the values of N_d (or N_a) may not exceed $(1-5) \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, as when a higher level of doping increases the concentration of defects in the material, which increases the proportion of the tunneling current and the deterioration of the properties of the injecting pn-transition. To improve the internal quantum efficiency of radiative recombination in direct-band semiconductors is necessary to increase the concentration of charge carriers in the active region, in connection with which there are additional difficulties with unilateral injection.

1. 2 Recombination

Regardless of whether the semiconductor is doped or not, it is always present, both types of free carriers: electrons and holes. Under equilibrium conditions, ie, when the material is not subject to any external influences, such as exposure to light and electric fields, the law of mass action, which states that the product of the concentration of electrons and holes at a given temperature is constant:

$$n_0 p_0 = n_i^2, \quad (1.6)$$

where n_0 , p_0 - and equilibrium concentrations of electrons and holes, and called n_i own concentration.

Excess carriers in semiconductors is created by absorption of photons or by injection into the electron material. The total concentration of carriers is equal to the sum of their equilibrium concentrations and the concentration of the corresponding excess carrier:

$$n = n_0 + \Delta n; \quad p = p_0 + \Delta p, \quad (1.7)$$

where Δn and Δp - excess concentration of electrons and holes.

Figure 2 shows a band diagram of the semiconductor, in which electrons and holes. The recombination rate is proportional to the product of the concentrations of holes and electrons.

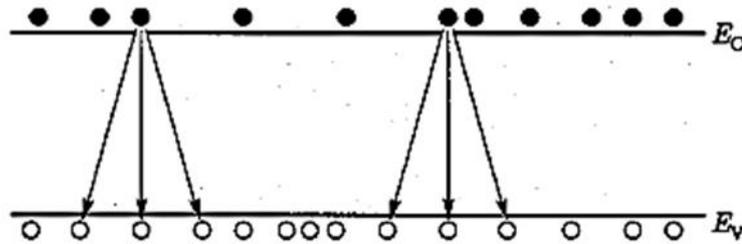


Figure 2. Illustration of the recombination of electron-hole pairs.

Using the proportionality factor, recombination velocity, passing per unit time per unit volume is:

$$R = -\frac{dn}{dt} = -\frac{dp}{dt} = B \cdot n \cdot p \quad (1.8)$$

This expression is called the equation of bimolecular recombination velocity, and B is the bimolecular recombination coefficient.

The recombination in semiconductors is mainly of two types: the radiative and non-radiative. In every act of radiative recombination of a single photon is excited with an energy equal to the band gap (Figure 3). During the non-radiative recombination of the electron energy is expended on the excitation of oscillations of the crystal lattice of atoms, ie, It is converted into heat. It is for this reason emitting devices acts of non-radiative recombination are considered undesirable.

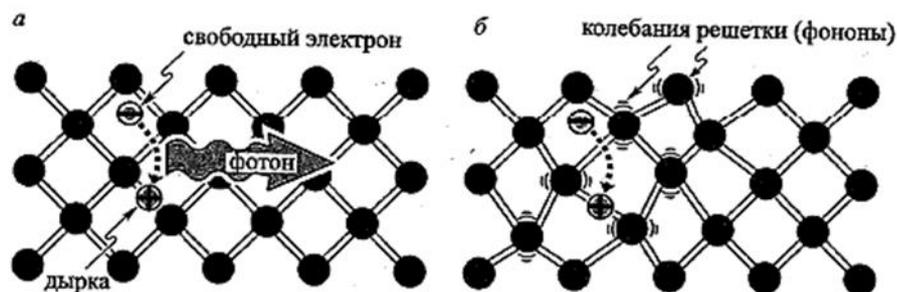


Figure 3. The radiative recombination of electron-hole pair, accompanied by excitation photon with energy $h\nu - E_g$ (a). During the non-radiative recombination energy released in the recombination of electron-hole pairs, transmitted photons (b).

Another mechanism of non-radiative recombination is the impact of the Auger recombination. When it flows the energy released in the recombination of the excitation of a free electron in the conduction band or holes in the valence band. Excited media gradually lose their energy in collisions with lattice atoms, thus releasing photons until not return again to the edge of the corresponding band (or valence conduction).

Auger recombination rate is determined by the following relationships:

$$R_{O_{же}} = C_p \cdot n \cdot p^2, \quad (1.9)$$

$$R_{O_{же}} = C_n \cdot n^2 \cdot p. \quad (1.10)$$

Auger recombination rate is proportional to the square of the concentration of carriers (electrons or holes), since it uchuvstvuyut pair of carriers of the same type (two electron or two holes). Due to the excess of holes in the p- type semiconductors Auger - recombination usually occurs by the mechanism described by equation (1.9). In semiconductors n- type Auger recombination valid expression (1.10).

In the Auger recombination must satisfy the laws of conservation of energy and momentum. Due to the differences in the structures of the valence band and the conduction band and the coefficients C_p and C_n in semiconductors typically have different values.

At a high level of excitation of the nonequilibrium carrier concentration is much higher than the equilibrium value, so Auger recombination rate equation can be simplified to the form:

$$R_{O_{же}} = (C_n + C_p) \cdot n^3 = C \cdot n^3, \quad (1.11)$$

In semiconductors Auger - recombination reduces the luminescence intensity only at a very high level of excitement or when very large injection of electrons, which is associated with a cubic dependence of the recombination rate of the carrier concentration. At low concentrations, the carriers Auger recombination rate is very small, so in most practical cases, it can be neglected.

Radiative Recombination - the only physical mechanism of light-emitting diodes. Radiative recombination mechanisms can be categorized as follows:

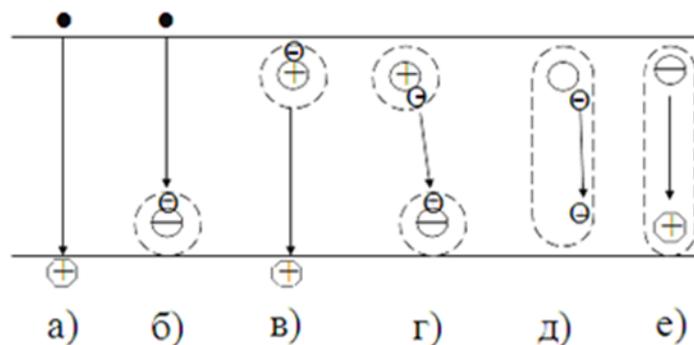


Figure 4 - The various mechanisms of radiative recombination in semiconductors

1. interband recombination, in which an electron from the conduction band to the valence band goes down the hole itself, radiating energy, a somewhat higher bandgap (ris.4.a);
2. The recombination of free charge carriers by impurity centers (Figure 4.b and c);
3. interimpur- ity, or a donor - acceptor recombination (Fig 4.g);
4. The recombination of bound excitons (Fig 4.e);
5. The exciton recombination (Fig 4.E).

As for the non-radiative recombination is never possible to completely get rid of it. there are natural defects in any semiconductor chip. Even if they are very small, all-their concentration did not zero. From thermodynamic calculations that since the creation of the lattice point defect is required to expend energy E_a , the probability that at a particular lattice site is determined by the Boltzmann constant: $\exp(-E_a / kT)$. The product of the concentration of lattice points on the constant equal to the concentration of defects. Own point defects, as well as any spatial defects can lead to

the creation of deep levels in the band gap and therefore be non-radiative recombination centers.

Another problem is the chemical purity of semiconductors. It is very difficult to grow the materials in which the content of impurities would be less than a few atoms per billion. Even the cleanest of semiconductors in 10^{12} contains 1 m^3 of impurity atoms, some of which forms a deep energy levels, reduce the intensity of the radiation.

1.3 Output light from the crystal

One of the main parameters of the radiation emitting diode power is, which is directly connected with an external quantum efficiency.

The active region of the ideal LED emits one photon per electron injected into it, ie, every electron generates one light quantum. Therefore, the quantum yield of the active region of the LED light perfect unity. Internal quantum efficiency of the LED light is determined by the ratio of the number of births in its active region of photons to the number of electrons injected into it at a time:

$$\eta = \frac{P_{int}/(h\nu)}{I/e}, \quad (1.12)$$

where P_{int} - optical emission power of the LED active region,
 I - injection current.

It is desirable that all the photons emitted by the active region extends beyond the LED. That's the way it should be in an ideal LED, external quantum yield which is equal to one. However, in the real part of the photons LED still remains inside the semiconductor. Furthermore, there is total internal reflection, which consists in the localization of light within the structure, which also reduces the probability of photons outside the semiconductor. optical radiation output factor is defined as the ratio of the number of photons emitted by the LED to the number of photons generated in the active region per unit time:

$$\eta_{extract} = \frac{P/(h\nu)}{P_{int}/(h\nu)}, \quad (1.13)$$

where P - power of the optical radiation emitted outside the LED.

The external quantum efficiency of the LED light is determined by the ratio of the number of photons emitted by the LED to the number of injected electrons per unit time:

$$\eta_{ext} = \frac{P/(h\nu)}{I/e} = \eta_{int} \cdot \eta_{extract} \quad (1.14)$$

As we mentioned earlier, from the light emitting chip can be derived only a portion of the generated p-n- radiation transfer in connection with the following major losses (Figure 5.):

1. The loss in the total internal reflection of the radiation incident on the semiconductor section - the air at an angle greater critical;
2. Losses on the Fresnel reflection of the radiation incident on the interface at an angle less critical;
3. Losses associated with the absorption of radiation in the contact region;
4. Losses on the absorption of radiation in the interior of the semiconductor.

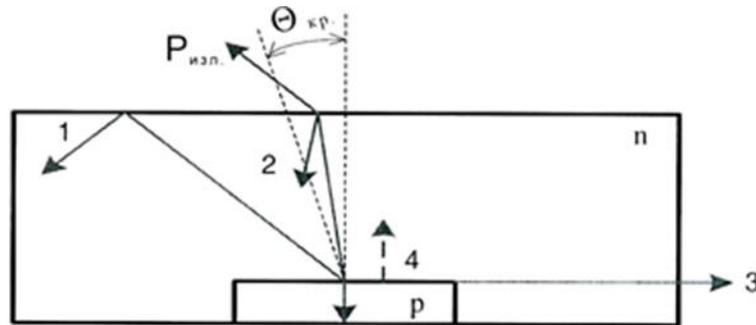


Figure 5. Major losses of radiation during its withdrawal from the crystal.

The most significant losses occur in the total internal reflection of the radiation. Due to the large difference in the refractive index of the semiconductor n_n and n_{in} the air, the proportion of the escaping radiation is determined by the value of the critical angle θ_{kr} between the direction of the light beam and the normal to the surface:

$$\theta_{kp} = \arcsin n^{-1}, \quad (1.15)$$

The radiation falling on the surface of the semiconductor - the air at an angle less than the critical value, derived from the crystal, and at an angle greater than the critical, undergoes total internal reflection (Figure 6). If the semiconductor is

transparent to the generated radiation, the light reflected by the top, bottom and side faces of the crystal, can be repeatedly (more than once) to fall on the light emitting surface and partly derived from the crystal.

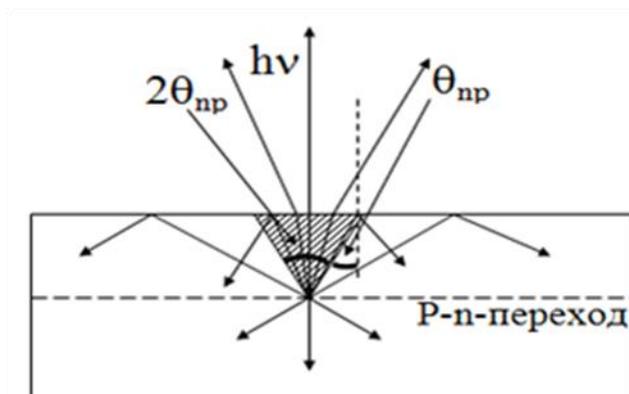


Figure 6. Output of the radiation from the crystal and internal reflection.