

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

**«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»**

(ТУСУР)

Кафедра радиоэлектронных технологий и экологического мониторинга

(РЭТЭМ)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий каф. РЭТЭМ

_____ В.И. Туев

«___» _____ 2017 г.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВЕТОДИОДОВ И СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Методические указания по практической и самостоятельной работе
работе магистрантов для направления подготовки
11.04.03– Конструирование и технология электронных средств,

Разработали:

Заведующий каф. РЭТЭМ

_____ В.И. Туев

Профессор каф. РЭТЭМ

_____ А.А. Вилисов

Доцент каф. РЭТЭМ

_____ В.С. Солдаткин

Магистрант каф. ЭП

_____ В.С. Каменкова

Ассистент каф. РЭТЭМ

_____ Ю.В. Ряполова

Томск 2017

Солдаткин В.С., Вилисов А.А., Туев В.И., Каменкова В.С., Ряполова Ю.В. Проектирование светодиодов и светотехнических устройств: Методические указания по самостоятельной работе студентов. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2017. – 15 с.

Настоящее методическое указание по самостоятельной работе студентов составлены с учетом требований Федерального Государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки 11.04.03 «Конструирование и технология электронных средств. Методическое указание по самостоятельной работе предназначено для магистрантов, изучающих специальные дисциплины «Проектирование светодиодов и светотехнических устройств» и содержит список тем, отводимых на самостоятельное изучение. В изучении материалов данных методических указаний, магистранты должны расширить свои знания по изучаемым дисциплинам, а также данное методическое указание направлено на формирования у магистрантов следующих знаний, умений и навыков:

знать принципы работы, основы конструирования источников света; современные достижения науки и передовые технологии в области светотехники; основы проектирования светодиодов и светотехнических устройств; принципы измерений светотехнических параметров; параметры и свойства светотехнических материалов;

уметь применять современные методы и средства конструирования и проектирования светодиодов и светотехнических устройств; применять современные методы и программное обеспечение для проектирования светодиодов и световых устройств; проводить работы по оценке качества освещения и осветительных систем;

владеть навыками проектирования светодиодов и светотехнических устройств с использованием современного программного обеспечения; навыками анализа работы светотехнических установок.

Оглавление

ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА, ОТВОДИМЫХ НА САМОСТОЯТЕЛЬНУЮ ПРОРАБОТКУ.....	4
ПРАВИЛА НАПИСАНИЯ КОНСПЕКТА САМОПОДГОТОВКИ.....	12
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	14

ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА, ОТВОДИМЫХ НА САМОСТОЯТЕЛЬНУЮ ПРОРАБОТКУ

1. Конструктивные исполнения светодиодов и светотехнических устройств.

LED - полупроводниковое устройство, действие которого основано на явлении излучения фотонов в результате рекомбинации носителей разноименных зарядов в зоне контакта полупроводниковых материалов с различными типами проводимости (именуемый p-n-переходом).

Сами по себе светодиоды не имеют возможности излучать белый свет, так как белый свет это спектр равномерно распределенной мощности по всем длинам волн в видимой области. Светодиоды излучают свет строго фиксированных длин волн. Цвет при излучении светодиодов определяется в зависимости от ширины энергетической запрещенной зоны перехода, где и происходит перераспределение дырок и электронов.

Ширина запрещенной зоны равным счетом зависит от полупроводниковой среды. Для получения белого света свечения на кристаллы синего светодиода наносят слои люминофоров, которые под воздействием синего излучения испускают желтый и красный свет. В итоге смешивания синего, желтого и красного получаем белый свет.

Электрический источник оптического излучения, и в частности свет, используют в комплекте с устройством, которое предназначено для установки и подключения к электропитанию самого источника излучения, который перераспределяет его излучающий поток и защищает источники от механических повреждений и неблагоприятных воздействий внешней среды. Такие устройства, рекомбинируют свет в больших телесных углах до 4π стерадиан и называются светильниками, а внутри малых углов - прожекторами. В общем случае эти устройства называют - световые приборы.

Основными признаками, по которым классифицируют световые приборы, являются назначение, характер распределения света и условия эксплуатации.

По световому назначению приборы делятся на производственные, бытовые, транспортные, для общественных помещений, для уличного освещения и др.

Главные светотехнические функции светильников и прожекторов - перераспределение светового потока источников, так как они излучают свет практически во всех пространственных направлениях. За исключением лишь ламп с отражающим напылением внутри поверхности колбы. По этой причине для изменения направления светового потока в необходимом направлении, это более экономически выгодно, в прожектор или светильник монтируют отражатель. Лампу, а в некоторых случаях и отражатель, как правило, защищают от воздействий окружающей среды светопропускающими элементами, которые в ряде случаев дополнительно защищают от возможного механического повреждения - защитной сеткой.

Наружние слои светопропускающих элементов светильника в некоторых случаях выполняют рифлёными или матированными, для снижения яркости свечения источников света, а значит и слепящее воздействие от них. Помимо этого, они могут быть выполнены в виде цветных светофильтров для изменения спектров излучения источников и уменьшения слепящего действия от него.

Защитный угол светильника g как и его светопропускающие компоненты также обладает важными значениями для ограничения слепящего воздействия γ от источников света. Круглосимметричные светильники определяются одним угловым значением g . Светильники с цилиндрическими люминесцентными светильниками характеризуются 2-мя значениями защитного угла g : в продольной и поперечной плоскостях. С целью обеспечить равенства в указанные защитные углы в таких светильниках

устанавливают затеняющие поперечные и продольные планки, которые образуют затеняющую решётку.

Ограничение ослеплённости, создаваемое светильниками, достигается изменением высоты их подвеса. Наименьшее значение высоты контролируется «Строительными нормами и правилами» (СниП). Значение высоты подвеса изменяется в зависимости от типов светильника, значений защитного угла g , мощностей применяемых ламп.

Если внутри светильника находится лампа накаливания с колбой из матового стекла, то минимальную высоту подвеса светильника можно снизить на 0,5 м. В том случае когда светильник с лампой накаливания имеет защитный угол $g \leq 10^0$, то такой светильник без пропускающего свет элемента в виде рассеивателя не имеет места в применении. Светильники с лампой накаливания мощностью не более 60 Вт, у которых колба лампы сделана из матового стекла или матированного пропускающего свет элемента, то такие светильники не будут иметь ограничений по высоте подвеса.

Высота при подвесе светильника с лампой ДРЛ типа должна быть не ниже 6 м при мощности от лампы 400 Вт и более и не ниже 4 м при том что мощность лампы не больше 400 Вт.

Источник излучения, отражатель и светопропускающий элемент являются составляющим оптической системы светового прибора.

В зависимости от конструкции, световой поток оптической системы светильника способен иметь различное светораспределение в пространстве.

2. Основные технологические процессы изготовления светодиодов и светотехнических устройств.

Первый этап изготовления светодиодов это выращивание кристаллов, которые и будут отображать свет. Металлоорганическая эпитаксия – это процесс выращивания. Кристаллы этим способом выращиваются на основе других кристаллов. Для запуска процесса необходимы особо чистые газы, и многие другие элементы, которые стимулируют рост кристалла. Вторым этапом

– изготовление специальных чипов из полученного кристалла, которых должно быть в большом количестве (несколько тысяч). Этот этап требует более чем ювелирной работы, так как необходимо соблюдать точную толщину и состав чипа.

Третий этап - бинирование. Проще говоря группирование чипов по собственным характеристикам и свойствами. Группирование объединяет классы чипов с наиболее похожими свойствами. Сложность данного процесса заключается в крайне усложненном поиске хотя бы двух похожих чипов, поэтому приходится создавать дополнительные группы с новыми критериями схожести. Процесс так же является достаточно трудоемким, и требует не одного дня работы. И наконец, на четвертом этапе необходимо правильно собрать группы проводников с кристаллами-чипами, а также выходами к электричеству. На данном этапе светодиод комбинируется в рамках одного корпуса.

В современных СД, в большинстве случаев используют кристалл синего цвета свечения и фотолуминофор жёлтого свечения с полушириной спектра порядка 110 нм. Это наиболее эффективный и дешёвый метод, т.к. КПД фотолуминофора на основе YAG и 11 YGG достигает 90%. Для повышения индекса цветопередачи используют смесь люминофоров. В качестве базового используют люминофоры типа YAG или YGG и добавляют в композицию красные и зелёные люминофоры (нитридные и силикатные).



Рисунок 1. Процесс формирования излучения СД с кристаллом синего свечения и люминофором

Люминофор представляет собой порошок с частицами размерами 6 – 15 мкм. Частицы люминофора состоят из кристаллов ((Y1-a Gd) Al5 O12 × Ce

3+ (YGG)). Кристаллическая решетка YAl_5O_{12} активирована атомами Ce. Gd позволяет сместить максимум спектра излучения в длинноволновую область, Ga в коротковолновую, к тому же Ga повышает временную стабильность люминофора. YGG (YAG) имеет неравновесные состояния кристаллической решетки и при воздействии излучения с длиной волны 450 – 465 нм электроны возбуждаются на высокие энергетические уровни, а затем переходят на равновесные с выделением энергии путём излучения фотона. Два основных механизма работы люминофора: 1. Поглощение излучения люминесцентными центрами (активаторами и примесями) – переход электронов на более высокие энергетические уровни либо отрыв электрона от активатора, что приводит к образованию дырки. 2. Поглощение основной люминофора – образуются электроны и дырки. Дырки могут мигрировать по кристаллу и локализоваться на центрах люминесценции. Излучение происходит при возвращении электрона на более низкие энергетические уровни или при рекомбинации электронов и дырок. Ширина запрещённой зоны может составлять 1 – 10 эВ. Для нанесения люминофора в светодиод используют связующие компоненты. Такими компонентами являются оптически прозрачные компаунды на основе силикона или эпоксидной смолы, а также пластины из поликарбоната. Как правило, квантовый выход из композиции люминофора и связующего компонента, в котором он растворён, выше в твёрдых растворах, чем в жидких, так как с повышением вязкости уменьшается вероятность безызлучательных процессов возбуждения через внутреннюю конверсию. Но в твёрдых растворах возможен эффект поляризации так как частицы люминофора «зажаты» между упорядоченными молекулами растворителя.

Кроме трудов разработчиков, которые выполняют тепловые, электрические, механические и другие расчеты, необходимые для конструирования драйвера к светодиодам, его создание осложняется ещё и экономическими факторами. Источник питания может содержать в себе только дискретные компоненты, начиная с выпрямительного диода и ограничивающего резистора и заканчивая более сложными линейными

цепями. Интегральная микросхема занимает гораздо меньше места и способствует большей экономической эффективности, нежели дискретные компоненты, несмотря на это большинству источников питания необходимы как дискретные компоненты так и ИМ. В то же время схемы могут быть собраны с применением дискретных элементов, однако ИМ занимают меньше места и экономически эффективнее, только в случае, если имеется большой объем производства. Конструирование и производство ИМ в малых объемах может стоить всего 200 000 \$, что является относительно низкой стоимостью для полупроводников. Производство некоторых ИМ для источников питания может выйти намного дороже из-за большей сложности и меньшего размера чипов. Более значимыми факторами, нежели основные расходы на производство, являются время от проектировки прототипа до тестирования и отладки, окончательная разработка чипа, его аттестация и сертификация. Для таких применений, как автомобильная промышленность, аттестация — довольно трудоёмкий процесс, долгий и дорогостоящий. Для ИМ светодиодного источника питания есть множество других составляющих. Большинство компонентов (конденсаторы, катушки индуктивности, резисторы, переключатели и др.) являются товарными продуктами; это значит, что их характеристики и функции относительно стандартизованы, и продаются они в почти всегда по фиксированной цене. В большинстве случаев покупатели источников питания и ИМ драйверов желают приобрести компоненты по не высокой стоимости, для снижения своих расходов на материалы. Это означает, что они по возможности стремятся приобрести стандартную продукцию или продукцию, отвечающую отраслевым стандартам. Достоинства стандартных компонентов заключаются в следующем:

- ИМ являются уже пригодными к использованию;
- ИМ уже прошли проверку на наличие в них электромагнитных помех, все они отвечают правилам техники безопасности и стандартизованы;

- конструкцию можно купить вместе с разработанной схемой применения;

- ИМ стоят дешевле из-за большого объема производства. В данное время есть вероятность того что разработанного драйвера может не оказаться, который бы удовлетворял требованиям для специфических сфер применения светодиодных источников излучения. В таком случае разрабатываются сами драйверы, или же ИМ драйверов.

Современные светодиодные модули, корпуса которых как правило, производятся по технологии поверхностного монтажа и могут быть реализованы в металлокерамическом и металлопластиковом исполнении. Еще существуют конструкции светоизлучающих устройств, светодиодные модули которых выполнены по технологии CoB (Chip-On-Board, «чип на плате»).

3. Современные САПР для проектирования светодиодов и светотехнических устройств

Выполнение задач энергосбережения привело к существенному развитию в сфере светодиодного освещения. Кроме того светодиоды привлекли огромный интерес в качестве источников подсветки ЖК-мониторов ноутбуков и телевизоров, а также освещения зданий снаружи. Подключая диоды в схему любого устройства требуется наличие источника питания – электронная схема, которая способна преобразовывать энергию внешней питающей цепи в пригодный для питания светодиодов вид. Источник питания значительным образом определяет качество излучения которое осуществляется за счет светодиодов (яркость, уровень, пульсаций), длительное время стабильной работы, требования к первичной сети, потребляемую мощность и цена за устройство освещения. Развитие технологий светодиодов высокой производительности выдвинула на передний план температурные аспекты, так как существуют максимальные допустимые пределы температур активного слоя в р-п-переходе, превышение которых может повлечь за собой ускоренное износ приборов а в дальнейшем и вовсе

выход прибора из строя. Максимально допустимый прямой ток необходимо ограничивать при повышении температуры внешней среды, температура активного слоя в этом случае останется ниже критического значения. Повышение максимального значения прямого тока при заданной температуре окружающей среды осуществляется за счет использования дополнительного радиатора охлаждения, что существенно увеличивает габариты устройства. Регулирование среднего значения тока обеспечивает больший срок службы и уменьшает габариты разрабатываемого устройства. Проектирование автоматизации и проверка моделей позволят значительно сократить время и финансовые затраты на разработку большого количества электронных устройств, тем самым повысится точность расчетов и сократится объем экспериментальных исследований. Интенсивное освоение современного прикладного программного обеспечения приведет к быстрому и качественному моделированию, оптимизированию предлагаемых схемотехнических решений и позволит проверять их жизнедеятельность в мобильных режимах, без физического воздействия на устройство. Не возможно себе представить технический уровень развития современной аппаратуры без внедрения в нее систем автоматизированного проектирования (САПР) на этапах разработки электронных устройств при их производстве. Одной из таких САПР является система фирмы Cadence Design Systems (США) OrCAD, которая позволит разработчикам в достаточно короткие сроки создавать, моделировать электронные схемы, разводить печатные платы и подготавливать их к производству. Имитационные исследования по контролированию работы устройств при дестабилизирующих воздействиях во время проектирования позволят уменьшить вероятность возникновения аварийных ситуаций во время эксплуатации устройства освещения, а созданная принципиальная схема – оптимизировать параметры элементов схемы, повысить достоверность и надежность.

ПРАВИЛА НАПИСАНИЯ КОНСПЕКТА САМОПОДГОТОВКИ

Во введении даётся краткая характеристика и текущее состояние рассматриваемых вопросов. Указываются цель и задачи работы, объект исследования, выполненные разработки и элементы новизны, привнесенные в процессе написания работы. Обосновывается актуальность выбранной темы.

Основная часть работы должна содержать вопросы по тематике. Вначале описываются теоретические положения, раскрывающие сущность рассматриваемой проблемы, анализируются собранные материалы, характеризующие практический аспект объекта исследования. Этот раздел работы следует сопровождать таблицами, схемами (диаграммами), рисунками, проспектами и другими материалами. В расчетной части допускаются формулы, нормативные и статистические материалы, необходимые для обоснования отдельных положений. При использовании материалов из других источников следует делать ссылки с указанием автора, названия и год издания книги или других материалов.

Заключение должно состоять из выводов и предложений, которые получены в результате работы. Их следует формулировать четко и по пунктам.

Список литературы содержит список учебной, научной литературы, научных статей, законодательных и нормативных актов и проч., (но не менее 10 источников литературы, из них не менее 5 на статьи в научных журналах, индексируемых РИНЦ, Scopus или Web of Science) использованных источников при выполнении конспекта самоподготовки.

Конспект самоподготовки должен включать в себя титульный лист, содержание, список используемой литературы и приложения. Объем работы должен составлять 15 страниц компьютерного текста, шрифт № 14 через 1,5 интервала, выровненный по ширине и в соответствии с ОС ТУСУР 01-2013 «Работы студенческие по направлениям подготовки и специальностям технического профиля».

Пример обозначения заголовков в реферате:

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Анализ литературы

Методы и средства измерений

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технология сборки и монтажа мощных светоизлучающих изделий: Учебное пособие [Электронный ресурс] / Туев В. И. [и др.]. — Томск: ТУСУР: 2016. — 48 с. — Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/6600>.
2. Юрков Н.К. Технология производства электронных средств: учебник. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: Издательство «Лань», 2014. – 480 с. [Электронный ресурс]. - <http://e.lanbook.com/view/book/41019/>.
3. Светодиоды и светодиодные устройства: Учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению подготовки 11.03.03 – Конструирование и технология электронных средств / Солдаткин В. С., Вилисов А. А., Туев В. И. - 2016. 40 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/publications/5954>, свободный.
4. Сысоев С.К., Сысоев А.С., Левко В.А. Технология машиностроения. Проектирование технологических процессов – СПб., М., Краснодар: Издательство «Лань», 2011. – 352с. [Электронный ресурс]. - http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=711.
5. Коледов Л.А. Технология и конструкция микросхем, микропроцессоров и микросборок – СПб., М., Краснодар: Издательство «Лань», 2009. – 400с. [Электронный ресурс]. - http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=192.
6. Единая система технологической документации: Справочное пособие / Е.А. Лобода, В.Г. Мартынов, Б.С. Мендриков и др. – М.: Издательство стандартов, 1992. - 325 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 5 экз.).
7. Математические модели и САПР электронных приборов и устройств: Учебное пособие / Саликаев Ю. Р. - 2012. 131 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/publications/2593>, свободный
8. Проектирование и технология электронной компонентной базы: Учебно-методическое 15 пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе для магистрантов, обучающихся по направлению

подготовки 210100 «Электроника и нанoeлектроника» / Зыков Д. Д. - 2012. 49 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/publications/4733>, свободный..

9. Оптические свойства твердых тел: Учебное пособие по дисциплине «Оптические свойства твердых тел» для магистров направления подготовки 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника» программы академической магистратуры «Проектирование и технология микро- и нанoeлектронных средств» / Симонова Г. В., Кистенева М. Г. - 2016. 126 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/publications/5935>, свободный.