

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
Декан РКФ
_____ Д.В. Озеркин
«__»_____ 2018 г.

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВЕТОДИОДНЫХ И СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ
УСТРОЙСТВ**

Учебное пособие

Зав. кафедрой РЭТЭМ
_____ В.И. Туев
«__»_____ 2018 г.

Томск 2018

Туев В.И. Проектирование светодиодных и светотехнических устройств: учебное пособие. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2018. – 55 с.

Учебное пособие предназначено для магистрантов направления подготовки 27.04.04 Управление в технических системах, профиль «Управление в сетотехнических системах», изучающих дисциплину «Проектирование светодиодных и светотехнических устройств» и также может быть полезно студентам иных профилей и направлений подготовки.

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕРМИНЫ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	4
ВВЕДЕНИЕ	5
1. Описание конструкций светодиодных ламп	7
1.1 Общие данные	4
1.2 Лампы на единичных светоизлучающих диодах	8
1.3 Лампы с излучающими элементами ленточной структуры	13
1.4 Излучающие элементы ленточной структуры	15
1.5 Устройства питания светодиодных ламп	16
1.6 Светодиоды для ламп	22
1.6.1. Общие сведения	22
1.6.2 Люминофоры	26
2 Материалы в конструкции ламп светодиодных	30
3 Методы теплового анализа светодиодных ламп	32
3.1 Аналитический (теплофизический) метод	32
3.2 Графический (экспериментальный) метод	33
3.3 Метод поэтапного моделирования	35
3.4 Метод конечных разностей	35
3.5 Метод конечных элементов	36
4 Обзор нормативно-методической литературы	39
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	43
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Модели, фотографии и технические характеристики светодиодных ламп	48

ТЕРМИНЫ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ФЦП	Федеральная целевая программа
НТО	Научно-технический отчёт
ПНИ	Прикладные научные исследования
ОКР	Опытно-конструкторская работа
НТИ	Научно-техническая информация
ИП	Индустриальный партнёр
ТЗ	Техническое задание
КД	Конструкторская документация
ТД	Технологическая документация
ПМ	Программы и методики
ТП	Технологический процесс
СД	Светодиод
ПП	Полупроводник
Драйвер	Устройство питания светодиодов
ККМ	Корректор коэффициента мощности
ЭМП	Электромагнитные помехи
Кристалл	Полупроводниковый светодиодный кристалл, излучающий свет
Люминофор	Материал, обладающий свойством фотолюминесценции
ЛОН	Лампы общего назначения
ДП	Диэлектрические подложки
ДК	Диэлектрические композиции
КМ	Композиционные материалы
ТПК	Токопроводящей полимерной композиции
КСС	Кривая силы света
Излучающий элемент	Светоизлучающий элемент ленточной структуры
Лампа	Энергосберегающая светодиодная лампа с конвекционным газовым охлаждением излучателей и сферическим светораспределением
МКР	Метод конечных разностей
МКЭ	Метод конечных элементов
САПР	Система автоматизированного проектирования
ЭВМ	Электронно-вычислительная машина
КПД	Коэффициент полезного действия

ВВЕДЕНИЕ

Постоянно растущие потребности Человечества в освещении требуют увеличения производства электроэнергии. Кроме того цены на энергоносители постоянно растут и соответственно затраты на освещение становятся более значительными. Вопрос об альтернативных высокоэффективных источниках освещения, способных удовлетворить спрос на освещение, не наращивая при этом производства и затрат на электроэнергию стоит очень остро.

Главными условиями новых источников являются небольшой размер ламп, долговечность и низкое энергопотребление. Именно светодиоды, отвечающие всем этим требованиям, считаются основным претендентом на замену лампам накаливания и люминесцентным лампам. Главной тенденцией в современном освещении является все более широкое применение светодиодов из-за их неоспоримых преимуществ: высокая световая отдача, надёжность и экологичность.

Одной из главных технических сложностей при использовании светодиодов является вопрос с охлаждением. Как правило, применяются различные радиаторы, которые значительно увеличивают стоимость конечного изделия. Одним из возможных вариантов для массового внедрения светодиодного освещения является использование конвекционного охлаждения, но на сегодняшний день данный способ недостаточно изучен. В связи с этим актуальным является проведение прикладных научных исследований по разработке энергосберегающей светодиодной лампы с конвекционным газовым охлаждением излучателей и сферическим светораспределением, адаптированной к традиционной технологии массового производства ламп накаливания.

1 Описание конструкций светодиодных ламп

1.1 Общие данные

Обобщённо рынок источников света можно разделить на два сегмента: сегмент бытового освещения и сегмент коммерческого освещения. И если в коммерческом сегменте доминирующие позиции занимают светильники, то в сегменте бытового освещения, традиционно, основным источником света являются лампы: накаливания, компактные люминесцентные, галогенные, светодиодные.

Принято считать [4], что емкость российского рынка источников света составляет около 1 миллиарда ламп. В таблице 1 представлена структура российского рынка источников света по видам ламп в 2013 г.

Таблица 1. Структура российского рынка источников света по видам ламп в 2013 г.

Виды ламп	Рыночная доля	Доля импорта
Лампы накаливания	50 %	45 %
Компактные люминесцентные лампы	26 %	100 %
Галогенные лампы	20 %	100 %
Светодиодные лампы	4 %	100 %

В целом, как и в предыдущие годы, в сегменте бытового освещения доминирующие позиции занимают лампы накаливания. Доля этих ламп составляет 50%, однако, не смотря на это, по отношению к 2009 году их доля на рынке сократилась почти на треть. Основным фактором этого снижения стал неконтролируемый ввоз на территорию страны китайских компактных люминесцентных ламп сомнительного качества по достаточно низким ценам.

Что касается ламп накаливания, то после ликвидации в 2013 году Уфимского электролампового завода на территории России осталось всего три завода производящих эти лампы: Саранский электроламповый завод, Калашниковский электроламповый завод и Томский завод светотехники «Свет XXI века».

Всего по данным ассоциации «Российский свет» в 2013 году произведено 248,8 миллионов ламп накаливания, темп к 2012 году составил 72 процента.

Доля светодиодных ламп на российском рынке источников света пока еще мала, но по оценке некоторых экспертов в 2013 год рост продаж светодиодных ламп в количественном эквиваленте составил 300%, а в денежном – 250%. Темпы светодиодного направления впечатляют, но пока это всего лишь не более 4% от рыночных возможностей.

Использование в сегменте бытового освещения энергетически неэффективных ламп по отношению к светодиодным лампам в первую очередь обусловлено такими факторами, как:

- отсутствие вынужденных государственных программ, направленных на вытеснение неэффективных технологий;
- недостаток или полное отсутствие информации о светодиодных источниках света;
- отсутствие полноценного производства светодиодных ламп на отечественных предприятиях;
- наличие огромного скептицизма у потребителей по поводу потенциальных преимуществ светодиодного освещения ввиду его большой стоимости;
- недостаток ресурсов у государства и потребителей.

Вместе с тем, ежегодное снижение розничных цен на светодиодные лампы и постоянное совершенствование конструкторских решений постепенно делают их вполне конкурентными, по отношению к компактным люминесцентным лампам, как по цене, так и по форме.

Во многом светодиодные лампы повторяют путь компактных люминесцентных ламп, когда после их массового выхода на рынок в 2006 году цены на них ежегодно снижались на 10-15%.

Как видно из таблицы 2, цены на светодиодные лампы вплотную приблизились к стоимости сопоставимых по световому потоку компактных люминесцентных ламп.

Таблица 2. Сравнительная стоимость ламп, применяемых в сегменте бытового освещения

№	Название	Мощность	Цена
1	Лампа накаливания	60 Вт	15 руб.
2	Китайская LED лампа образца 2012 г.	9 Вт	300 руб.
3	Китайская LED лампа образца 2014 г.	6 Вт	120 руб.
4	LED Навигатор	7 Вт	190 руб.
5	LED лампа Экономка	7 Вт	217 руб.
6	LED лампа ВВК	7 Вт	176 руб.
7	LED лампа Philips	7 Вт	240 руб.
8	LED лампа Старт	7 Вт	159 руб.
9	Компактная люминесцентная лампа Navigator	15 Вт	1286.

1.2 Лампы на единичных светоизлучающих диодах

В настоящее время светодиодные лампы на российском рынке продаются почти под 50-тью торговыми марками, наиболее популярными из которых являются такие бренды как [5]:

- Ecola (КНР);
- Feron (КНР);
- Gauss (КНР);
- Jazzway (КНР);
- Kreonix (КНР);
- Navigator (КНР);
- Nichia (Япония);
- Cree Lighting (США);
- Seoul Semiconductor (Южная Корея);
- Sharp (Япония);
- Osram Opto (Германия);
- Edison (Тайвань).

Ассортимент светодиодных ламп, присутствующий на рынке под этими брендами, достаточно широк. В первую очередь это связано с быстрыми темпами технологического развития производства светоизлучающих диодов. В среднем раз в полгода происходит появление новых светодиодных ламп, которые по своим

параметрам становятся ближе к параметрам ламп накаливания по световому потоку, а по цене к ценам компактных люминесцентных ламп с близким по значению световым потоком. Модели, фотографии и технические характеристики светодиодных ламп компаний, представленных выше, приведены в приложении А.

Представленные на рынке светодиодные лампы по своей форме стремятся быть максимально приближенными к формам лампы накаливания. Во многом это связано с устоявшимся мнением потребителей, за более чем 150-ти летнюю историю ламп накаливания, что это наиболее оптимальная форма для источника света, но это лишь одна из причин, вторая не менее важная связана с наличием на вторичном рынке различных светильников, сконструированных специально для установки в них ламп накаливания. Именно второй фактор до последнего времени являлся одним из сдерживающих факторов в продвижении светодиодных ламп, так как конструкция, состоящая из цоколя, массивного радиатора и колбы внутри которой находилась плата со светодиодами, давала возможность излучать свет в пределах 120-200 градусов. Установка таких ламп в обычный светильник, несмотря на все плюсы, связанные с энергосбережением, могла вызывать негативное восприятие у потребителей из-за отсутствия привычного для их восприятия «света вокруг», который излучает лампа накаливания. К тому же значительный вес радиатора мог вызвать деформацию хрупких частей люстр, рассчитанных на использование ламп накаливания.

1.3 Лампы с излучающими элементами ленточной структуры

1.3.1 Сравнение ламп с излучающими элементами ленточной структуры и ламп на единичных светоизлучающих диодах

Настоящим прорывом на рынке светодиодных ламп стало появление конструкции с использованием линейных излучающих элементов. Эти лампы визуально максимально приближены по форме и весу к лампам накаливания.

На рисунке 1 представлены фотографии макетов ламп с использованием линейных излучающих элементов.



Рисунок 1. Светодиодные лампы на линейных излучающих элементах

За последние полгода эти лампы превратились в реальных конкурентов традиционным светодиодным лампам с пластиковой колбой и радиатором. Единственным сдерживающим фактором этих ламп в настоящее время является их стоимость, которая пока значительно выше стоимости традиционных светодиодных ламп. Но ситуация в данной области постоянно меняется и с наращиванием объемов серийного производства за счет использования модернизированных линий по производству ламп накаливания, их стоимость может снизиться на 20-40%.

На сегодняшний день ни один из российских производителей не выпускает лампы такого типа.

Основным поставщиком на российский рынок дешевых китайских светодиодных аналогов в стеклянной колбе с излучающими элементами типа LED-filament является компания ASD (КНР). Базовый ассортимент ламп для

замены традиционных ламп накаливания представлен лампами мощностью 6, 8 и 10 ватт, который рекомендуется для замены ламп накаливания мощностью 40, 60 и 75 ватт. Свои разработки также представляют фирмы Chinlighting (КНР), Ledora-led (КНР), LUCASLED (Греция), LumiLife (КНР), Sehon (КНР), ассортимент которых представлен в ниже.

1.3.2 Сравнительные характеристики ламп с излучающими элементами ленточной структуры

В таблице 3 представлена продукция компании ASD [6].

Таблица 3. Лампы на основе светодиодных линеек производства компании ASD

Модель	Фото	Мощность, Вт	Цветовая температура	Габариты, мм ²	Световой поток, лм	Срок службы, ч
LED-СВЕЧА НА ВЕТРУ-PREMIUM		5	3000К 4000К	35x121	450	30 000
LED-СВЕЧА-PREMIUM		5	3000К 4000К	35x105	450	30 000
LED-A60-PREMIUM		6	3000К 4000К	85x60	540	30 000
LED-A60-PREMIUM		8	3000К 4000К	85x60	720	30 000
LED-A60-PREMIUM		10	3000К 4000К	104x60	900	30 000

В таблице 4 представлена продукция компании Chinlighting [7].

Таблица 4. Лампы на основе светодиодных линеек производства компании Chinlighting

Модель	Фото	Мощность, Вт	Цветовая температура	Габариты, мм ²	Световой поток, Лм	Световая отдача, лм/Вт	Срок службы, ч
LF-G45-FG		2/4	2500K-5500K	45x78	200/400	100	25 000
LF-ST45-FG		2/4	2200 K-5500K	45x88	220/450	110	25 000
LF-R80-FG		4	2200K-5500K	80x115	450	110	25 000
LF-T45-FG		2/4	2200-5500	45x108	200/400	100	25 000
LF-G125-FG		2/4/6	2200-5500	125x175	220/450/700	110	25 000
LED-A60-FLT		2/4/6	2700K, 3000K	60x106	200/420/650	120	25 000

В таблице 5 представлена продукция компании LEDORA [8].

Таблица 5. Лампы на основе светодиодных линеек производства компании LEDORA

Модель	Фото	Мощность, Вт	Цветовая температура	Световой поток, лм	Срок службы, ч
LD-GG80		3,5	2000К-2800К; 2850К-3150К; 6000К-6500К;	400	25 000
LD-GT45		3,5	2000К-2800К; 2850К-3150К; 6000К-6500К;	400	25 000
LD-GB55		3,5	2000К-2800К; 2850К-3150К; 6000К-6500К;	400	25 000
LD-GST45		3,5	2000К-2800К; 2850К-3150К; 6000К-6500К;	400	25 000

В таблице 6 представлена продукция компании LUCASLED [10].

Таблица 6. Лампы на основе светодиодных линеек производства компании LUCASLED

Модель	Фото	Мощность, Вт	Цветовая температура	Световой поток, Лм	Срок службы, ч
Led Bulb E27 4W WW Filament		4	2700К	320	30 000
Led Bulb E27 4W WW Filament Dimmable		4	2700К	320	30 000

В таблице 7 представлена продукция компании LUMILIFE [9].

Таблица 7. Лампы на основе светодиодных линеек производства компании LUMILIFE

Модель	Фото	Мощность, Вт	Цветовая температура	Световой поток, лм	Световая отдача лм/Вт	Габариты, мм ²	Срок службы, ч
LF-BF01-4W		4	3000K	440	110	35x105	25 000
LF-BF02-5W		5	3000K/4000K/6000K	550	110	45x70	25 000
LF-BF03-5W		6	3000K/4000K/6000K	600	100	60x10	25 000

В таблице 8 представлена продукция компании SEHON-LED [10].

Таблица 8. Лампы на основе светодиодных линеек производства компании SEHON-LED

Модель	Фото	Мощность, Вт	Цветовая температура	Световой поток, лм	Габариты	Срок службы, ч
SH-ST64-4W		4	2700-6500K	470	64x145	25 000
SH-R63-4W		4	2700-6500K	470	63x102	25 000
SH-G125-4W		4	2700-6500K	470	125x175	25 000
SH-A60-4W		4	2700-6500K	470	60x105	25 000
SH-A60-6W		6	2700-6500K	750	60x105	25 000
SH-A60-8W		8	2700-6500K	950	60x115	25 000

Среди проанализированных светодиодных ламп было выявлено, что 90 % ламп имеют цилиндрический радиатор и полимерное основание цокольной части, тем самым увеличивая стоимость лампы и урезая угол освещения. Так же было понято, что средний срок службы светодиодных ламп равен 30 000 часов.

1.4 Излучающие элементы ленточной структуры

Были выявлены и проанализированы два основных производителя элементов ленточной структуры (таблица 9) [11, 12].

Таблица 9. Производители элементов ленточной структуры

Наименование компании	Вольт-амперная характеристика	Кривая силы света
Huizhou Engled Optoelectronics Tech Co., Ltd.		
Hangzhou Linan Star (HESUNNY) Lighting Electric Co Ltd		

Так же известны следующие производители элементов ленточной структуры:

- Zhejiang Xinguangyuan Lighting Co. Ltd (KHP);
- Le Diamond Opto Corporation, LTD (KHP);
- Dasanyuan Lighting Co. Ltd (KHP);
- Beishidi Lighting Co Ltd (KHP);
- Zhejiang My-Lighting tech Co. Ltd (KHP);
- Dongguan Sunlead Opt-eletech Ci Ltd (KHP).

Анализ показал, что российские производители светоизлучающих элементов ленточной структуры отсутствуют.

1.5 Устройства питания светодиодных ламп

Источник питания или драйвер является неотъемлемой частью любого светодиодного осветительного устройства. Грамотный выбор светодиода позволяет улучшить характеристики лампы, однако такие параметры, как колебания светового потока, срок службы, сохраняемость и стабильность светового потока определяется не светодиодами, а качеством тока, проходящего через них [13].

Специально разработанные осветительные светодиоды дают гарантию выполнения многих технических требований к лампе, таких как интенсивность светового потока, коррелированная цветовая температура, световая отдача и др. Осветительные светодиоды представляют собой прибор со сроком службы до 50000 часов и питающийся постоянным током. Следовательно, основное назначение источника питания обеспечить преобразование переменного напряжения осветительной сети в постоянный ток и обладать заданным сроком службы.

Диапазон токов современных светодиодов находится в широком диапазоне — от 1 мА до 3 А. До недавнего времени на рынке осветительных светодиодов доминировали приборы с током 350 мА. И на рынке сейчас присутствует огромное количество источников питания с токами от 350 мА и выше. Задачи же разработки источников питания на токи от 10 мА до 350 мА решены не окончательно.

Светодиод - прибор безынерционный и в случае, когда источник питания имеет какие-либо пульсации тока, они моментально превращаются в пульсации светового потока.

Ниже рассматриваются преобразователи переменного напряжения 220 В в постоянный ток, значение которого, в соответствии с таблицей 9 находится в интервале 9-16 мА и предназначено для питания излучающих элементов ленточной.

В первую очередь нужно обращать внимание на схему построения: изолированный или неизолированный вход/выход, т.е. имеет ли источник питания

гальваническую развязку.

Также важно определить требуется ли или нет корректор коэффициента мощности (ККМ) в данном случае. Коэффициентом мощности называется отношение активной (полезной) мощности к суммарной (активная + реактивная). Активная мощность полностью потребляется нагрузкой и совершает полезную работу. Реактивная же сперва запасается, а затем снова возвращается в сеть. В этой ситуации в сети текут большие токи, чем требовалось бы для данной нагрузки. Таким образом, главная задача ступени ККМ — сократить величину реактивной составляющей мощности до минимума.

Если ККМ требуется, то по какой схеме строить источник питания: с однокаскадным или многокаскадным преобразованием.

Обеспечение максимально возможного КПД одно из основных требований к источнику питания для светодиодов. Помимо потерь на преобразование при разработке источника со стабилизацией тока также необходимо учесть потери в цепи обратной связи. Дело в том, что в качестве датчика тока обычно используется резистор. Через него протекает тот ток, который подлежит стабилизации. Потери зависят от того, какое значение внутреннего опорного напряжения у микросхемы, которая выбрана в качестве преобразователя. Минимальные потери имеет микросхема с опорным напряжением 200...300 мВ [13].

Типовая структурная схема блока питания светодиодной лампы показана на рисунке 2.

Сетевое переменное напряжение проходит через фильтр электромагнитных помех (ЭМП) на выпрямитель. Затем выпрямленное напряжение проходит через ступень ККМ и питает, собственно, импульсный стабилизатор тока, к выходу которого подключены светодиоды [14].

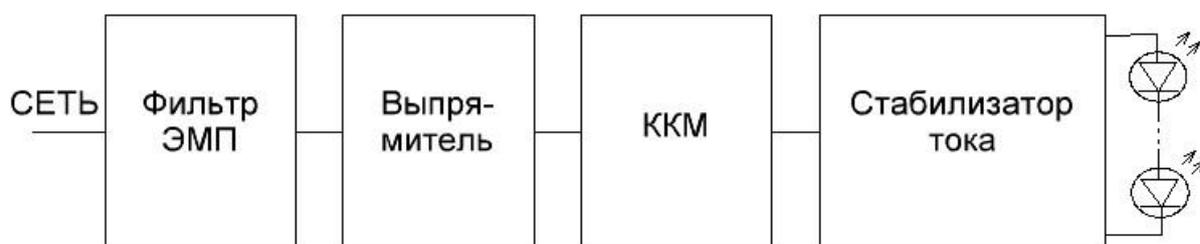


Рисунок 2. Типовая структурная схема устройства питания светодиодной лампы

Входной фильтр ЭМП обладает свойством двунаправленного помехоподавления, то есть предотвращает проникновение высокочастотных импульсных помех как из сети в блок питания, так и наоборот из блока питания в сеть.

Выпрямитель выполняется по схеме диодного моста. Диоды выпрямителя испытывают нагрузку импульсным током заряда конденсатора выпрямителя [15].

Яркость светодиода сильно зависит от тока, через него протекающего. Ток же, в свою очередь, зависит от многих возмущающих воздействий, поэтому основная функция блока питания светодиодной лампы - обеспечить стабильный ток, вне зависимости от изменения внешних параметров.

Существует две основные разновидности стабилизатора тока: линейный и импульсный стабилизатор. Выбор конкретной схемы зависит от многих факторов, рассмотрим основные преимущества и недостатки каждой схемы.

Линейный стабилизатор напряжения является делителем напряжения постоянного тока. Суть его работы заключается в том, что на вход подается нестабильное напряжение, а с нижнего плеча делителя снимается стабилизированное выходное напряжение. Принципиально такого рода стабилизация осуществляется благодаря изменению сопротивления одного из плеч делителя напряжения, в роли которого и выступает стабилизатор напряжения. Эта система регулирует сопротивление в динамическом заданном диапазоне для стабилизации выходного напряжения. При питании светодиода от стабилизатора напряжения не исключаются такие дестабилизирующие

воздействия на ток светодиода, как температура кристалла, изменение значений контактных сопротивлений, старение элементов светодиода и т.д.

При большом отношении входного и выходного напряжений уменьшается КПД стабилизатора напряжения, так как энергия рассеивается в виде тепла на регулирующем элементе стабилизатора. По этим причинам в линейных стабилизаторах тока особое внимание необходимо уделить вопросам охлаждения, тем самым увеличивая срок службы и предотвращая регулирующий элемент стабилизатора от перегрева.

По этим причинам блоки питания со стабилизацией выходного тока, а не напряжения являются более предпочтительными.

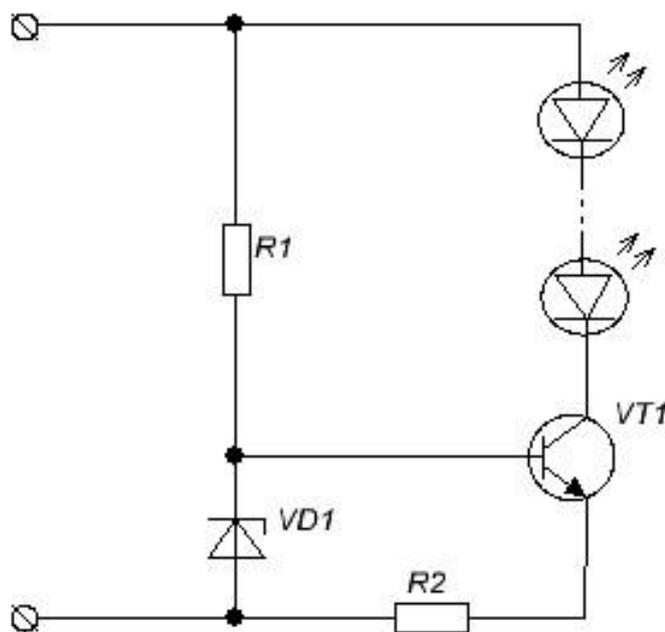


Рисунок 3. Схема линейного стабилизатора тока

Главными достоинствами линейных стабилизаторов тока являются отсутствие помех в выходном сигнале и простое конструктивное исполнение. Пример простейшего линейного стабилизатора тока приведен на рисунке 3.

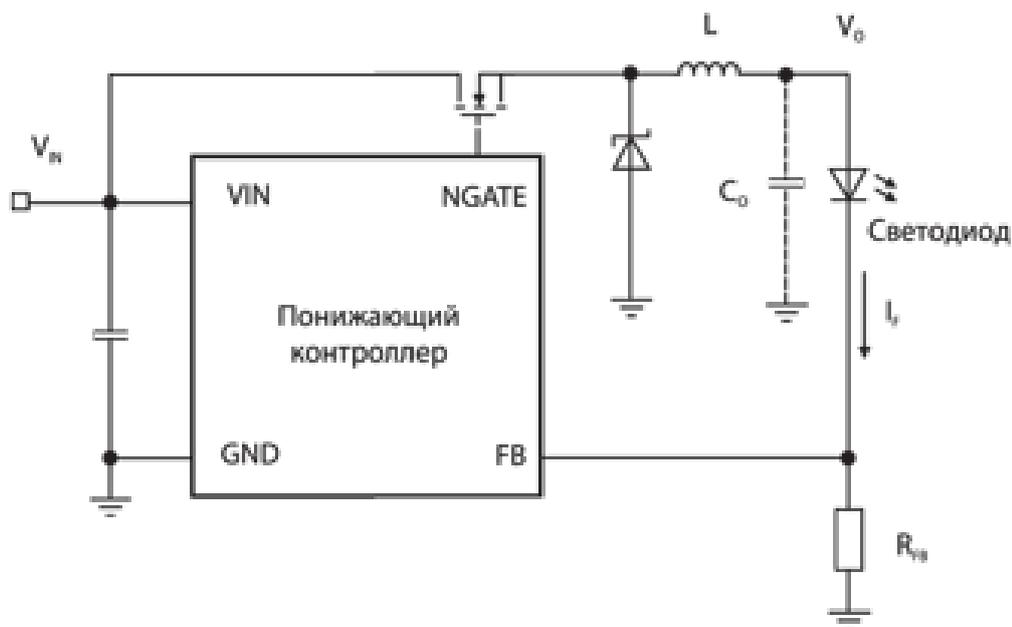


Рисунок 4. Схема импульсного стабилизатора тока с понижающим контроллером

Импульсный стабилизатор, как правило, выполняется по схеме понижающего преобразователя и работает по принципу широтно-импульсного регулирования. В первый момент времени открывается силовой транзистор, и ток в цепи светодиодов линейно нарастает. Как только напряжение на резистор-датчике достигает порогового значения понижающий контроллер закрывает транзистор и ток линейно снижается. Чем меньше время открытого состояния транзистора, тем ниже среднее значение тока через светодиоды [16, 17].

Линейный стабилизатор тока может быть выполнен как на дискретных компонентах, так и на специализированных микросхемах. Для импульсного стабилизатора целесообразно использовать только специализированные микросхемы. Рассмотрим наиболее распространенные на рынке микросхемы, подходящие для использования в источнике питания для светодиодных ламп. Микросхемы и их функциональное назначение перечислены в таблице 10 [18, 19].

Таблица 10. Микросхемы для источников питания

Тип микросхемы	Функциональное назначение
CL2	Линейный стабилизатор тока светодиодов
MCA1504	Линейный стабилизатор тока светодиодов
SDS3108	Линейный стабилизатор тока светодиодов
AIC6621	Линейный стабилизатор тока светодиодов
AP1513	Линейный стабилизатор тока светодиодов
DCL2118	Линейный стабилизатор тока светодиодов
BP2831A	Драйвер светодиодов понижающего типа
BP2325	Драйвер светодиодов понижающего типа
VIPER07	Обратноходовый контроллер с постоянной частотой работы
VIPER17LN	Обратноходовый контроллер с постоянной частотой работы
MP4050	Драйвер светодиодов со стабилизацией выходного тока
MP1570DN	Контроллер понижающего преобразователя с выходом для управления синхронным выпрямителем
HV9910	Драйвер светодиодов понижающего типа
MCA1602	Драйвер светодиодов понижающего типа
MCA1503	Драйвер светодиодов понижающего типа
MCA1505	Обратноходовый контроллер с постоянной частотой работы
AP3766	Обратноходовый контроллер с постоянной частотой работы
NCL30051	Контроллер полумостового резонансного преобразователя
SL4120	Контроллер полумостового резонансного преобразователя
UCC25600	Контроллер полумостового резонансного преобразователя

Перечисленные микросхемы относятся к двум основным классам: специализированные драйвера для светодиодов и контроллеры для импульсных преобразователей. Выбор конкретной микросхемы для каждого случая требует дополнительных экспериментов.

1.6 Светодиоды для ламп

1.6.1. Общие сведения

Конструкции СД условно можно разделить на маломощные (индикаторные) СД (потребляемая электрическая мощность составляет менее 200 мВт), средней мощности (200 – 900 мВт), и мощные СД с потребляемой мощностью от 0.9 Вт. По конструкции корпуса СД можно разделить на две группы: со штыревыми выводами и для поверхностного монтажа с планарными выводами. Для мощных СД одним из важнейших параметров является тепловое сопротивление.

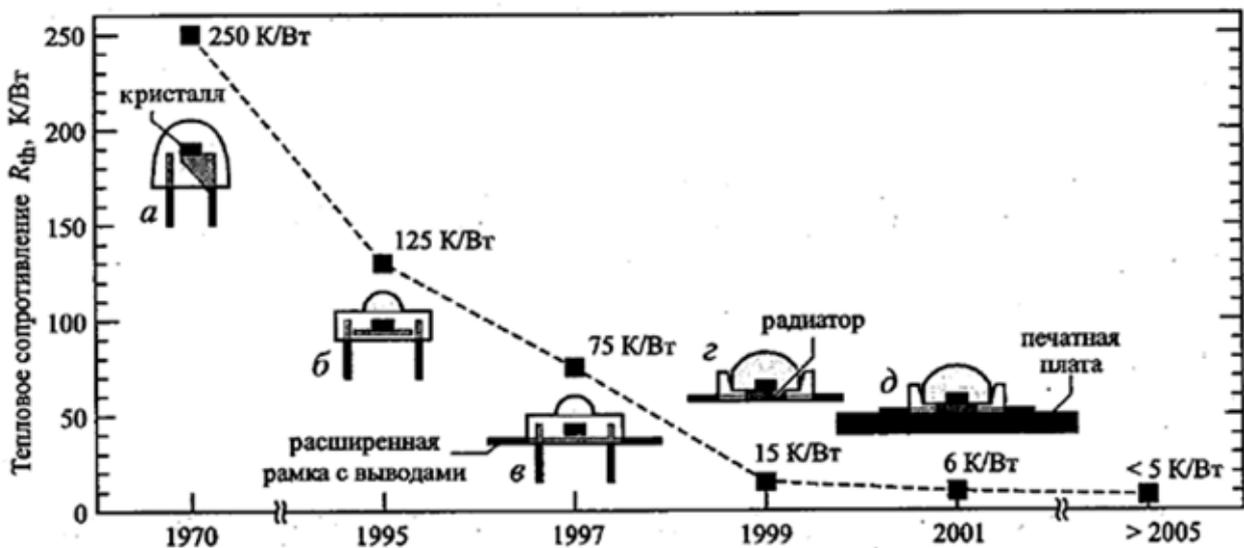


Рисунок 5. Тепловое сопротивление корпусов светодиодов: а-«рамка 5 мм», б-«рамка с низким профилем», в- с низким профилем и расширенной рамкой, г- с радиатором, д- с радиатором, смонтированным на печатной плате [20]

На рисунке 5 показано развитие конструкции светодиодов исходя из их теплового сопротивления. Чем выше мощность светодиода, тем меньшим тепловым сопротивлением должна обладать его конструкция. Для индикаторных светодиодов тепловое сопротивление не играет большой роли, а для мощных тепловое сопротивление влияет как на надёжность, так и на эффективность в условиях эксплуатации.

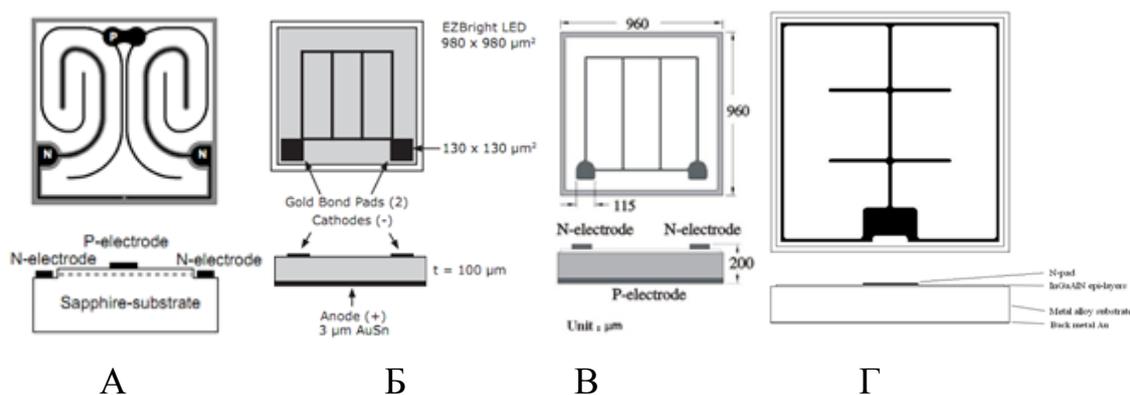
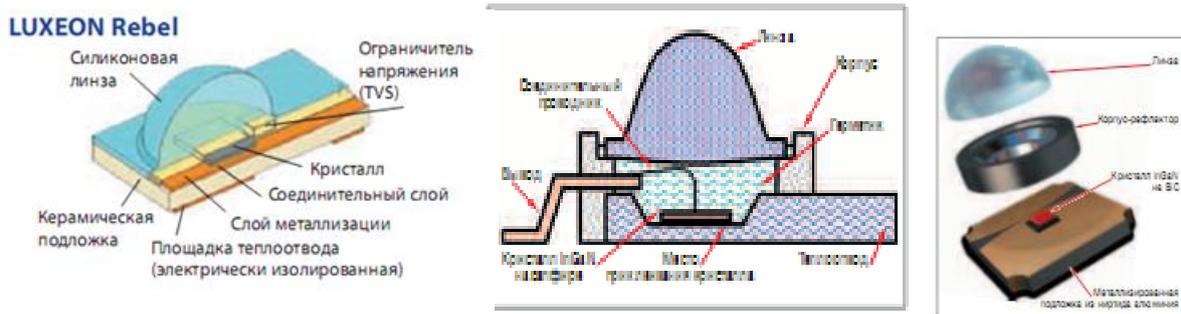


Рисунок 6. Конструкции кристалла размерами $\sim 1 \times 1 \text{ мм}^2$: А -

Полупроводниковый кристалл производства Epistar серии ES-CABHV38 планарного типа; Б - 64 Полупроводниковый излучающий элемент производства Cree серии CPR3CR 1000 вертикального типа; В - Полупроводниковый излучающий элемент производства Lattice Power серии LP1000-EN вертикального типа; Г - Вертикальный полупроводниковый излучающий элемент фирмы SemiLEDs [21-24]

Представленные полупроводниковые кристаллы можно разделить по материалу подложки: Epistar (планарный тип кристалла) – сапфир теплопроводность $\sim 30 \text{ Вт/м} \times \text{К}$, максимально допустимая температура на кристалле 115°C ; Cree (вертикальный тип кристалла) – карбид кремния теплопроводность $\sim 58 \text{ Вт/м} \times \text{К}$, максимально допустимая температура на кристалле 145°C ; Lattica Power (планарный тип кристалла) – кремний теплопроводность $\sim 149 \text{ Вт/м} \times \text{К}$; SemiLEDs (вертикальный тип кристалла) – медь теплопроводность $\sim 390 \text{ Вт/м} \times \text{К}$, максимально допустимая температура на кристалле 125°C . Теплопроводность GaN $\sim 1,3 \text{ Вт/м} \times \text{К}$.

Так же на сегодняшний день есть ряд технических решений, опробованных в производстве и направленных на повышение надёжности и эффективности светодиодов за счёт, в том числе, отвода тепла от активного элемента. Конструкции светодиодов ведущих фирм приведены на рисунке 7, все эти фирмы используют керамические корпуса, в которых кристаллы паяются к металлизированному основанию из керамики.



А

Б

В

Рисунок 7. Светодиоды ведущих фирм: А – Lumiled [25], Б – Nichia [26], В – Cree [22]

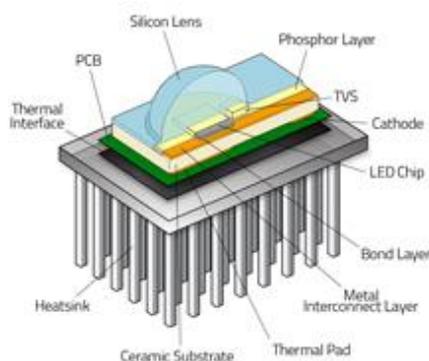


Рисунок 8. Конструкция светодиода Rebel производства Lumiled-Philips [25]

Светодиоды REBEL-STAR-NW100 производства Lumiled-Philips поставляют смонтированными на теплопроводящую подложку. Тепловое сопротивление $4^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$. Световой поток 100 лм, рабочий ток 350 мА, гарантированная надёжность изделия при эксплуатации [25]. В данных диодах используется полупроводниковый кристалл для flip-chip монтажа.

Мощные СД дают возможность изготавливать светодиодные светильники небольших размеров, где необходимо обеспечивать большие значения светового потока.

Тем не менее, на светодиодах малой мощности можно получить большую эффективность чем на мощных, при условии их работы в оптимальных электрических режимах.

Так сравнение эффективности мощных и маломощных СД наглядно

отражено в работе [27].

Таблица 11. Характеристики мощного и маломощного СД кристаллов без люминофора

	Значение прямого тока, мА	Значение мощности оптического излучения, мВт	Значение прямого напряжения, В	КПД, %
Кристалл 450×450 мкм ²	20	47,1	2,8	84,3
Кристалл 1000×1000 мкм ²	350	756	3,10	76,7

Таблица 12. Характеристики мощного и маломощного СД с кристаллами из таблицы 11.

	Значение прямого тока, мА	Световой поток, лм	Значение прямого напряжения, В	Световая отдача, лм/Вт
Кристалл 450×450 мкм ²	20	14,4	2,89	249
Кристалл 1000×1000 мкм ²	350	203	3,18	183
Матрица из 4-х кристаллов 1000×1000 мкм ²	1000	1913	14,16	135

Как видно из таблиц 11 и 12, световая отдача маломощного СД больше чем у мощного почти на 70 лм/Вт, и больше чем у СД матрицы из мощных СД почти на 115 лм/Вт.

Этот факт обусловлен низким перегревом активной области маломощного СД, как видно из таблиц 11 и 12, низкое значение прямого напряжения говорит о низком сопротивлении СД, а микронные размеры кристалла (450×450 мкм²) и отсутствие жёстких требований к отводу тепла позволяют формировать из таких кристаллов высокоэффективные сборки различной конфигурации.

Именно благодаря таким качествам, как высокая световая отдача, отсутствие требований к специальному отводу тепла и микронные, миниатюрные размеры кристаллов, сделали возможным изготовление светодиодныхборок в виде светоизлучающих элементов ленточной структуры.

1.6.2 Люминофоры

Для изготовления высокоэффективных полупроводниковых источников света на основе твёрдых соединений нитридов галлия, индия и алюминия, важным компонентом является люминофорная композиция. Выбор люминофорной композиции и метода её нанесения влияет на световую отдачу источника света и на его цветовую температуру. Люминофорная композиция представляет собой оптически прозрачный компаунд, в который добавлены порошки люминофоры. В качестве основного люминофора принято использовать жёлто-зелёный люминофор с длиной волны возбуждения, соответствующей длине волны излучения нитридного кристалла. Излучает такой люминофор в оптическом спектре с шириной по уровню 0,5 от максимума порядка 100 – 120 нм, при этом пик излучения приходится на длины волн 540 – 590 нм, в зависимости от его активатора. На рисунке 9 приведена примерная структура люминофоров типа YAG [20-28].

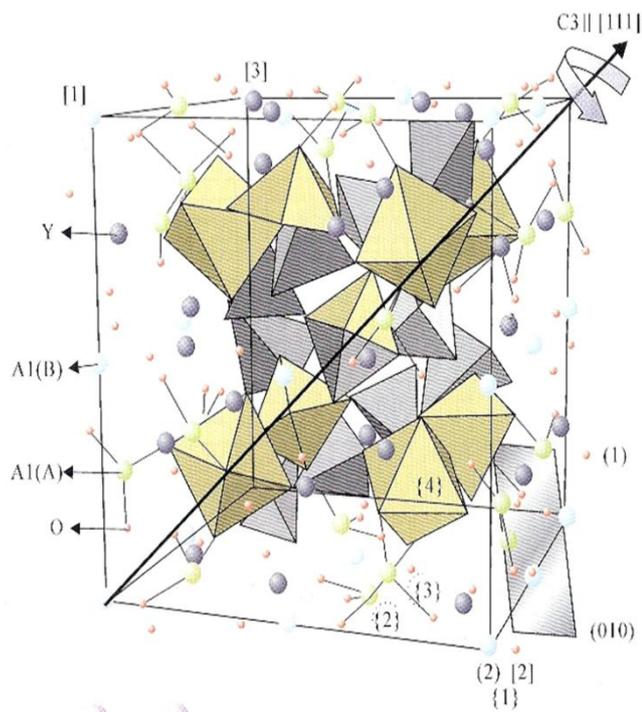


Рисунок 9. Структура люминофора YAG

Как видно из рисунка 9 структура люминофора типа YAG достаточно сложная, при её изменении меняются и свойства люминофора, ряд Российских и зарубежных научных коллективов работают над повышением эффективности люминофоров.

Таким образом, люминофор представляет собой порошок с частицами размерами 5 – 35 мкм. Частицы люминофора состоят из кристаллов $(Y_{1-a} Gd_a) Al_5 O_{12} \times Ce^{3+}$ (YGG). Кристаллическая решетка YAl_5O_{12} активирована атомами Ce и Gd, Ce и Gd, которые вносят в неё искажение. YGG (YAG) имеет неравновесные состояния кристаллической решетки и при воздействии излучения с длиной волны 450 – 465 нм электроны переходят на более высокие неравновесные уровни, с которых спонтанно переходят на низкие уровни, выделяя энергию перехода в виде фотона. Люминофоры излучают свет в широком спектральном диапазоне, максимум излучения которого находится в жёлто-зелёной области спектра. Вследствие объединения спектров синего и жёлто-зелёного излучения человеческий глаз видит белый цвет свечения. Принцип работы люминофора основан на фотолюминесценции [31, 32].

Для выбора люминофора или люминофорной композиции необходимо знать цветовые координаты (спектр излучения) нитридного кристалла и цветовые координаты люминофора. Чтобы в первом приближении оценить характеристики разрабатываемого источника света, можно воспользоваться формулой (1):

$$[(x_w - x_b)^2 + (y_w - y_b)^2]^{1/2} n_b = [(x_w - x_e)^2 + (y_w - y_e)^2]^{1/2} n_e, \quad (1)$$

где n_b и n_e – световые отдачи прошедшего через люминофор синего излучения

СД и возбуждённого жёлтого излучения люминофора;

x_w и y_w – цветовые координаты белого цвета;

x_b и y_b – цветовые координаты синего излучения;

x_e и y_e – цветовые координаты излучения люминофора.

Визуально физический смысл формулы (1) можно представить на диаграмме МКО на рисунке 10 [33].

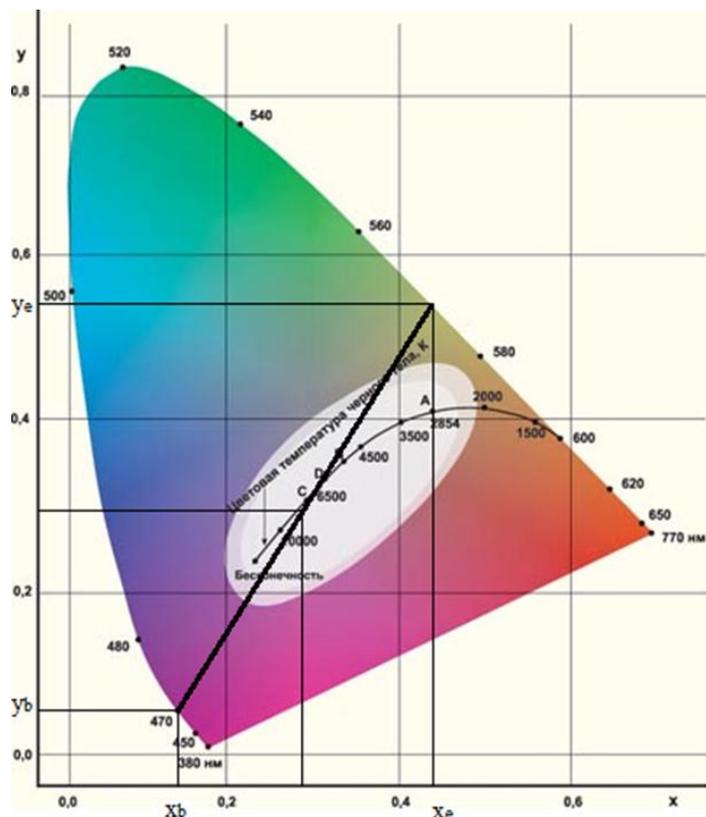


Рисунок 10. Диаграмма МКО

На рисунке 10 видно, что если соединить прямой линией точку, соответствующую цветовым координатам нитридного кристалла и точку, соответствующую цветовым координатам люминофора, то образуется ряд значений цветовых координат, лежащих на данной прямой, которым может соответствовать группа цветности светодиода. Группа цветности светодиода, в таком случае, будет зависеть от световой отдачи люминофора, световой отдачи кристалла и концентрации люминофора в композиции. Если значения световой отдачи кристалла и люминофора считать постоянными, которые можно определить экспериментальным путём, то по формуле (1) в первом приближении можно определить необходимую концентрацию люминофора, для получения нужного значения по группе цветности.

Таким образом, можно подобрать наиболее эффективную концентрацию люминофора, обеспечивающую высокое значение световой отдачи светодиода. Затем можно добавлять в состав композиции дополнительные люминофоры, чтобы была возможность технологически задавать требуемую группу цветности.

Для примера можно рассмотреть характеристики люминофоров производства [34] в таблице 13.

Таблица 13. Таблица типов и характеристик люминофоров производителя [34].

Материал	Марка	Цвет	Координаты цветности		Спектральные характеристики	
			x	y	Спектр возбуждения, нм	Пиковая длина волны излучения, нм
Алюминаты	LMY-60-C	Светло-жёлтый	0,4250	0,5468	450-460	531
	LMY-65-C	Жёлтый	0,4458	0,5162	457,5-465	541
	LMY-70-C	Тёмно-жёлтый	0,4713	0,4931	465-470	550
Силикаты	LMS-520-B	Зелёный	0,2705	0,6229	380-450	520
	LMS-540-B	Светло-жёлтый	0,4137	0,5554	450-465	540
	LMS-550-B	Светло-жёлтый	0,4429	0,534	450-465	550
	LMS-560-B	Тёмно-жёлтый	0,4941	0,4927	450-467,5	560
	LMS-570-B	Оранжево-красный	0,5324	0,4569	450-520	570
	LMS-575-B	Оранжево-красный	0,5422	0,446	450-520	575
Нитридные	LAM-R-11600	Оранжево-жёлтый	0,612	0,3864	350-550	600
	LAM-R-11610	Светло-красный	0,6129	0,3853	350-550	610
	LAM-R-11618	Красный	0,6200	0,3789	350-550	618

Из таблицы 13 видно, что люминофоры, которые производитель предлагает для применения в светодиодах, делятся по типам:

- ✓ нитридные (сдвиг максимума спектра в красную область),
- ✓ силикатные (сдвиг максимума спектра в оранжевую область),
- ✓ алюминаты (максимум спектра в жёлто-зелёной области),
- ✓ силикатно-алюминатные (сдвиг максимума спектра в зелёную и синюю области).

Для обеспечения требований по пп. 4.2.2.4 и 4.2.2.5 ТЗ необходимо провести исследовательские работы и определить состав и типы люминофорной композиции.

2 Материалы в конструкции ламп светодиодных

В последнее время светодиодные источники, имеющие большой рабочий ресурс и высокую яркость свечения, постепенно вытесняют лампы накаливания. Их несомненным преимуществом перед другими источниками является уникальная возможность использования в информационных технологиях, разных видах осветительного и рекламного дизайна.

Для современного рынка светодиодов и светодиодной техники основным требованием является увеличение светового потока и срока службы. Достижение перечисленных характеристик возможно лишь при использовании новых материалов и внедрении современных технологий. В первую очередь это требование касается диэлектрических подложек (ДП) для светодиодных линеек.

Анализ токопроводящих клеев и диэлектрических композиций (ДК) в качестве ДП свидетельствует о том, что наиболее доступной в настоящее время токопроводящей композицией является ЕРО-ТЕК Н20Е-175 фирмы ЕРОХУ technology с удельным электрическим сопротивлением $4 \cdot 10^{-6}$ Ом \cdot м. Компании Namics и Ferro предлагают сереброросодержащие пасты с высокой теплопроводностью и низким удельным электрическим сопротивлением. Доступными являются диэлектрические клеи фирм Namics и Dow Corning, имеющие теплопроводность до 2,4 Вт/м \cdot К с адгезионной прочностью до 25 Н/мм².

Основными недостатками названных композиций являются их высокая стоимость, ограниченный выбор опорных подложек светодиодных устройств, на которые можно наносить ДК, высокие температуры спекания, а также использование дорогостоящего оборудования для их производства. Производителям светодиодной техники постоянно требуются отвечающие современным требованиям всё новые функциональные композиционные материалы (КМ). Потребность в новых КМ, обладающих высокой устойчивостью к механическим воздействиям, агрессивным средам, различным видам излучений, к глубокому вакууму или высоким давлениям, к высоким или низким температурам, побуждают искать новые подходы к синтезу полимеров и

созданию композитов, отвечающих этим требованиям. Традиционные методы синтеза КМ не всегда позволяют достигать необходимых эксплуатационных качеств, особенно в тех случаях, когда структурирование материалов проводится наночастицами [35-42].

3 Методы теплового анализа светодиодных ламп

3.1 Аналитический (теплофизический) метод

Метод основан на численном решении уравнений нестационарной теплопроводности при оценке тепловых характеристик. Такой подход позволяет учитывать взаимосвязи внутренних элементов, их геометрические размеры и константы применяемых материалов. Аналитические методы используемые для решения нестационарных задач теплопроводности, успешно применялись только на ранних стадиях развития полупроводниковой техники. Это обуславливалось тем, что объектами исследования являлись маломощные транзисторы с тянутыми переходами, конструкция которых представляла собой явно выраженное объёмное тело кристалла. Такой конструктив позволял моделировать его в виде однородного стержня (бруска) правильной геометрической формы с простыми граничными условиями [43]. На рисунке 11 приведен пример геометрии подходящей для моделирования теплофизических процессов аналитическим методом.



Рисунок 11. Симметричная теплофизическая модель сплавного транзистора (по Мартенсону)

Для возможности существенного упрощения математического анализа была проведена идеализация теплофизических процессов, связанная со спецификой режима работы транзистора с тянутыми переходами, особенностями конструкции. Идеализация подразумевала исключение конвективного и лучевого способа передачи тепловой энергии, коэффициенты теплопередачи и теплоёмкости принимаются постоянными величинами и, наконец, вся мощность, подводимая к прибору, рассеивается в плоскости p - n -перехода. Анализируя аналитические

методы моделирования теплофизических процессов, протекающих в полупроводниковых (ПП) приборах, необходимо отметить, что полученные таким способом результаты носят исключительно частный характер и не обеспечивают решение задачи в удобном для практической реализации виде [43]. Основное неудобство заключается в том, что один и тот же тип прибора представляется различными эквивалентными схемами в зависимости от режимов его работы. Кроме того, использование аналитических методов, применимых только для однородной модели, в качестве основного инструмента моделирования тепловых процессов в многослойной структуре реального ПП прибора не только не способствует успешному решению задачи, а наоборот, значительно её усложняет [44].

3.2 Графический (экспериментальный) метод

Ввиду очевидного факта, что строгий теоретический анализ нестационарной теплопроводности реальных многослойных структур весьма затруднителен, всё чаще стали выдвигаться предположения о том, что аналитический метод не имеет практического смысла, и как следствие – тепловые характеристики ПП приборов должны определяться чисто экспериментальными способами, т.е. по характеру их реакции на типовые возмущения [45].

В этом случае количественная оценка тепловых характеристик ПП приборов представляется в виде графика переходной тепловой характеристики. График представляет собой зависимость, которая была экспериментально выявлена, мгновенного значения общего теплового сопротивления от времени работы. Для большинства ПП приборов в технической документации приводится график переходной тепловой характеристики [46, 47]. На рисунке 12 приведен пример графика переходной тепловой характеристики.

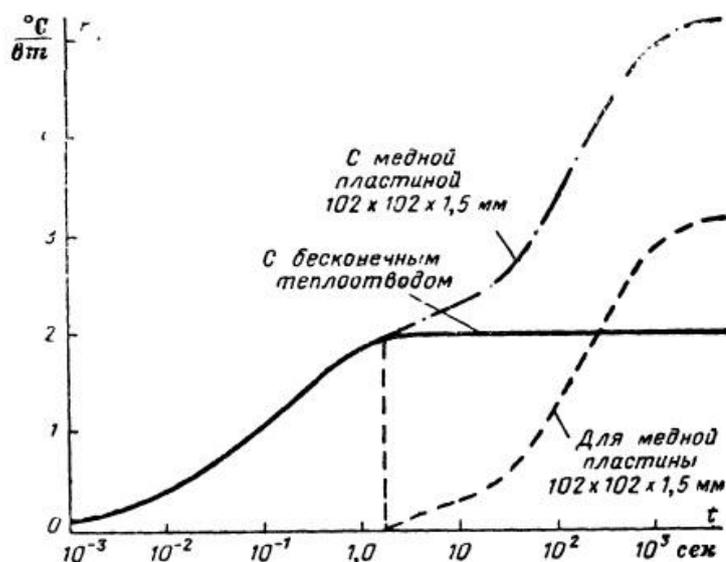


Рисунок 12. График переходного теплового сопротивления тиристора (2N681), снабженного медным теплоотводом

Таким образом, представленный метод отличается использованием экспериментальных данных, которые в свою очередь представляют собой единственное средство представления в количественной форме исходной информации для последующих расчётов. Такой подход упрощает задачу, стоящую на первом этапе расчёта (сбор информации), но сильно затрудняет её решение на втором этапе (непосредственный расчёт). Графическое представление информации при дальнейшем её использовании пригодно только для расчёта графо-аналитическими методами, которые не отличаются точностью и при этом слишком громоздки [48].

3.3 Метод поэтапного моделирования

Сущность метода сводится к разложению конструкции ПП прибора на отдельные элементы в иерархической последовательности с дальнейшим просчетом каждой отдельной представленной в виде математической модели. Полученное конечное число моделей затем моделируются при помощи наиболее подходящих аналитических и численных методов. Отличительной особенностью моделирования тепловых процессов является необходимость рассмотрения процесса одной и той же физической природы для всего прибора или приборного комплекса. Следует учитывать тепловые связи между элементами, принадлежащими подсистемам более высоких уровней иерархии, в которых протекают функциональные процессы различной физической природы. Тепловая модель подобной сложной системы является комбинацией многочисленных областей сложной конфигурации с источниками и стоками теплоты, в которых движутся потоки теплоносителей (газов или жидкостей). Наиболее полная математическая модель теплового режима объекта записывается в виде системы многомерных нестационарных уравнений теплопроводности для твёрдых тел и уравнений энергии для потоков теплоносителей с граничными условиями 1, 2, 3-го родов либо с условиями сопряжения на границах раздела элементов.

3.4 Метод конечных разностей (МКР)

Известно, что нестационарный тепловой режим описывается дифференциальным уравнением Фурье-Кирхгофа,

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \lambda \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \lambda \frac{\partial T}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \lambda \frac{\partial T}{\partial z} + Q_w(x, y, z, t, T),$$

где, ρ – плотность, кг/м³; c – удельная теплоёмкость, Дж/(кг·К); T – температура, °К; t – время, сек; x, y, z – координаты; λ - теплопроводность, Вт/(м·К); Q_w – количество теплоты, Дж.

Уравнение Фурье-Кирхгофа описывает связь между временным и пространственным распределением температуры в любой точке тела. С заданными крайними условиями (начальными и граничными) его можно решить при помощи вы-

числительной машины и получить численное решение. Сущность метода конечных разностей заключается в том, что вместо производных в дифференциальном уравнении используются их конечноразностные аппроксимации. При построении дискретных аппроксимаций краевых дифференциальных задач, центральным вопросом является противоречие: необходимость получения хорошего качества аппроксимации и эффективного устойчивого решения производных алгебраических систем.

Метод конечных разностей при решении задач теплопроводности подразумевает представление твёрдого тела в виде совокупности узлов. В результате аппроксимации частных производных дифференциального уравнения Фурье-Кирхгофа конечными разностями имеют систему линейных алгебраических уравнений для определения температуры, как локальной характеристики в каждом узле сетки. Такая система является незамкнутой и для того, чтобы её замкнуть применяют разностное представление граничных условий [49].

3.5 Метод конечных элементов (МКЭ)

Метод конечных элементов представляет собой численный метод, который основан на замене объекта моделирования совокупностью подобластей (элементов), затем для каждой отдельной подобласти отыскивается приближенное решение задачи теплообмена. Метод подразумевает запись дифференциального уравнения переноса и граничные условия для каждого элемента, определяющие процессы теплообмена на граничных поверхностях конкретного элемента, и затем получить решение в каком-либо виде. Суммирование результатов отдельных вычислений с учётом определённых правил предоставляет решение общей задачи поставленной для всего объекта.

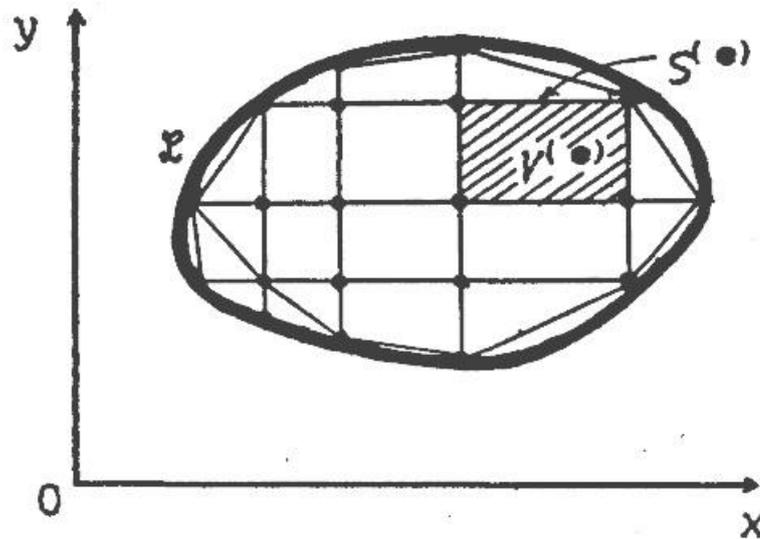


Рисунок 13. Разбиение области на элементы

Общую концепцию МКЭ можно проиллюстрировать следующим образом. Пусть имеется некоторая область определения задачи, ограниченная контуром L , как это изображено на рисунке 13.

Внутри этой области и на ее контуре можно задать произвольное количество точек с координатами $X_i (i = 1, 2)$. Значения искомой функции в этих точках пусть будут U_i . Соединяя точки прямыми линиями, получим подобласти, совокупность которых аппроксимирует область в целом. При этом криволинейные участки контура L заменяются прямолинейными. Важно отметить, что полученная сетка из элементов, с помощью которой моделируется область определения задачи, не является регулярной ни геометрически, ни топологически. Это означает, что размеры и формы подобластей (элементов) могут изменяться произвольно, их взаимные соединения не обязательно должны следовать какой-либо регулярной структуре. Последнее обстоятельство обеспечивает геометрическую гибкость метода.

Также целесообразно привести перечень преимуществ МКЭ приведенных в [50], которые позволили обеспечить применение этого метода в большинстве программных решений, посвященных решению задач теории поля и моделированию тепловых режимов.

- обеспечивается широкая вариация задания граничных условий на

отдельных участках границы (внешней и внутренней) области;

- криволинейные участки границ области могут быть аппроксимированы прямыми линиями;

- размеры и геометрическая форма элементов могут быть разными;

- взаимные соединения элементов не обязательно должны следовать какой-либо регулярной структуре;

- свойства материала каждого элемента могут быть индивидуальными и, к тому же, анизотропными;

- обеспечивается возможность повышения точности решения задачи путем увеличения количества элементов, ограничиваемого лишь мощностью используемой ЭВМ;

- вследствие наличия общих узловых точек, глобальные матрицы являются ленточными, т.е. содержат большое число нулей, не заносимых в память.

Трёхмерное геометрическое моделирование объекта исследований

Трёхмерное твердотельное геометрическое моделирование представляет собой задачу построения компьютерной 3D модели по средствам систем автоматизированного проектирования (САПР). Модель является набором данных объекта реального мира и может использоваться для решения различных технических задач, таких как: визуализация, разработка конструкции, построение расчетных сеток, моделирование различных физических процессов и явлений (механические напряжения, деформации, распространение электромагнитных волн, распределение температурных полей и др.). Основное предназначение трёхмерной модели обозначено как хранение информации о форме объектов и их взаимном расположении, и предоставлении ее для обработки в удобном для компьютерной программы виде [51].

4 Обзор нормативно-методической литературы

Предлагаемые лампы на основе светодиодных линеек должны соответствовать требованиям, представленным в таблице 14.

Таблица 14. Требования, предъявляемые к лампе на основе светодиодных линеек

Параметр	Требование	Нормативный документ
Тип цоколя	E27	ГОСТ Р МЭК 62560-2011 – Лампы светодиодные со встроенным устройством управления для общего освещения на напряжения свыше 50 В. Требования безопасности.
Мощность	Интервал от 3 до 12 Вт.	ГОСТ Р 54815-2011 – Лампы светодиодные со встроенным устройством управления для общего освещения на напряжения свыше 50 В. Эксплуатационные требования.
Световой поток	Интервал от 270 до 1300 лм.	МКО 84:1989 – Измерение светового потока.
Кривая силы света	Угол излучения в меридиальной плоскости не менее 120° по уровню 0,5.	ГОСТ 171616-82 – Лампы электрические. Методы измерения электрических и световых параметров.
Световая отдача	Не менее 90 лм/Вт	ГОСТ 171616-82– Лампы электрические. Методы измерения электрических и световых параметров.
Коррелированная цветовая температура	2700 К – 6500 К	ГОСТ Р 54815-2011– Лампы светодиодные со встроенным устройством управления для общего освещения на напряжения свыше 50 В. Эксплуатационные требования.
Сохраняемость светового потока	Не ниже категории D	ГОСТ 54815-2011– Лампы светодиодные со встроенным устройством управления для общего освещения на напряжения свыше 50 В. Эксплуатационные требования.
Класс энергоэффективности	Не ниже класса B	ГОСТ Р 51 388-99 – Энергосбережение. Информирование потребителей об энергоэффективности изделий бытового и коммунального назначения. Общие требования.
Температура окружающей среды	Исполнение У1	ГОСТ 15150-69 – Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды.
Маркировка		ГОСТ 25834-83 Лампы электрические. Маркировка, упаковка, транспортирование и хранение.

Методы измерения электрических и световых параметров должны соответствовать ГОСТ 171616-82.

Лампы на основе светодиодных линеек должны быть безопасны для жизни и здоровья людей и охраны окружающей среды, не должны содержать в своем составе вредных элементов и нуждаться в специальной утилизации.

Требования по превышению температуры цоколя, сопротивлению крутящему моменту и сопротивлению изоляции должны соответствовать ГОСТ Р 52712-2007.

Источник питания для светодиодного светильника — важная составляющая. От качества источника питания зависят практически все основные характеристики светодиодного светильника, поэтому требования к источнику питания устанавливаются целым рядом нормативных документов. Основные нормативные документы приведены в таблице 15.

Таблица 15. Основные нормативные документы, определяющие требования к источникам питания

Стандарты действующие в России	Международные стандарты	Краткое наименование
ГОСТ Р МЭК 60065-2005	МЭК 60065	Требования безопасности
ГОСТ Р 51318.14.1-2006	EN55015	Радиопомехи промышленные
ГОСТ Р 51317.3.2-2006	IEC 61000-3-2	Эмиссия гармонических составляющих
ГОСТ Р 51317.3.3-2008	IEC 61000-3-3	Ограничение изменений напряжения
ГОСТ Р МЭК 60598-99	МЭК 60598	Светильники

Из приведенных в таблице наибольшее внимание следует уделить выполнению требований ГОСТ Р 513 17.3.2-99 «Совместимость технических средств электромагнитная. Эмиссия гармонических составляющих тока техническими средствами с потребляемым током не более 16 А (в одной фазе). Нормы и методы испытаний», так как выполнение данных требований является сложной комплексной задачей.

К этим ГОСТам имеются еще и дополнительные требования с учетом особенностей эксплуатации ламп. В частности — защита источников питания от импульсов повышенной энергии. Так, известно, что при различных грозовых разрядах или во время молнии в проводах линии электропередач наводится ЭДС — импульсы очень большой амплитуды. В сети, безусловно, есть первичные

устройства, которые могут гасить их, но ввиду того, что сеть распределенная, полностью погасить их, невозможно. Поэтому источник питания выполняется с защитой от подобных импульсов.

Если источник питания имеет какие-то пульсации, то они моментально превращаются в пульсации светового потока. На пульсации светового потока также есть нормативные документы — СанПиН 2.2.1 2.1.1.2585-10. В этом документе определены коэффициенты пульсаций. Самая жесткая норма — 0% и применяется для помещений только одного типа — в чертежных залах. Следующий порог - 10% и применяется в помещениях для работы с мониторами. Существует еще и 5%. Данный порог определен в документе СанПиН 2.1.8/2.2.4.2620-10 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организация работы». При разработке источника питания для светодиодной лампы необходимо исходить из того, чтобы он обеспечивал не более 5% пульсаций по световому потоку.

Подробнее о гальванической развязке с электрической сетью. Запретов на использование источников питания без электрической изоляции вход/выход нет. Существует ГОСТ МЭК 60 598 «Светильники. Общие требования и методы испытаний». Данный ГОСТ подразделяет светильники на три класса по защите от поражения электрическим током.

I класс. Защита от поражения электрическим током обеспечивается основной изоляцией и защитным заземлением токопроводящих, доступных для прикосновения частей устройства. Испытательное напряжение - 1,5 кВ.

II класс. Защита от поражения электрическим током обеспечивается основной изоляцией и дополнительной или усиленной изоляцией токопроводящих доступных для прикосновения частей устройства. Испытательное напряжение - 3,6 кВ.

III класс. Устройство питается безопасным сверхнизким напряжением (БСНН). Безопасное сверхнизкое напряжение по ГОСТ МЭК 60 598 не выше 50 В.

Таким образом, в результате обзора рынка светодиодных ламп, установлено, что рыночная доля импорта светодиодных ламп со светоизлучающими эле-

ментами ленточной структуры составляет 100 %. К недостатку иностранных аналогов ламп относится цилиндрический радиатор, увеличивающий стоимость лампы и ухудшающий кривую пространственного распределения света. Российские производители светоизлучающих элементов ленточной структуры отсутствуют.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Официальный сайт LEDs magazine [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.LEDsmagazine.com – 2014.
2. Официальный сайт [Электронный ресурс]. <http://ecola.ru/catalogue33.html>. Режим доступа – свободный.
3. Официальный сайт [Электронный ресурс]. <http://feron.ru/categories/57-svetodiodnye/products>. Режим доступа – свободный.
4. Официальный сайт [Электронный ресурс]. <http://www.gauss-russia.ru/catalog/>. Режим доступа – свободный.
5. Официальный сайт [Электронный ресурс]. <http://www.jazz-way.com/catalog/lampy/lampy-svetodiodnye/>. Режим доступа – свободный.
6. Официальный сайт [Электронный ресурс]. <http://www.kreonix.net/katalog-tovarov/svetodiodnye-lampyi-g4/svetodiodnye-lampyi-e27svetodiodnye-lampyi-e27/>. Режим доступа – свободный.
7. Официальный сайт [Электронный ресурс]. <http://www.navigator-light.ru/products/lamps/led.html>. Режим доступа – свободный.
8. Официальный сайт [Электронный ресурс]. http://www.asd-electro.ru/products/svetodiodnye_lampy/. Режим доступа – свободный.
9. Официальный сайт [Электронный ресурс]. http://www.tradekey.com/product_listall/uid/8829978/Shenzhen-Chinlighting-Technology-Co-Lt.htm. Режим доступа – свободный.
10. Официальный сайт [Электронный ресурс]. <http://www.ledora.de/produkte/>. Режим доступа – свободный.
11. Официальный сайт [Электронный ресурс]. http://lucasled.gr/products_new.php/en?page=5. Режим доступа – свободный.
12. Официальный сайт [Электронный ресурс]. http://www.lumilife.com/index.php?_m=mod_product&_a=prdlst&cap_id=138 Режим доступа – свободный.
13. Proper driver design optimizes LED lighting By Robbie Paul This article

was published in the June 2013 issue of LEDs Magazine. Официальный сайт LEDs magazine [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.LEDsmagazine.com

14. Миронов С. Особенности построения источников питания для светодиодного оборудования. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.lightingmedia.ru/reviews/reviews_18.html

15. Махлин А. Особенности проектирования блока питания для светодиодных ламп // Полупроводниковая светотехника. – 2011. – № 1 – С. 30-33

16. Сергеев Б.С. Схемотехника функциональных узлов источников вторичного электропитания / Б.С. Сергеев. – М.: Радио и связь, 1992. – 224 с.

17. Берёзин О. К. Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры / О.К. Берёзин – М.: «Три Л», 2000. – 400 с.

18. Каталог компонентов МТ-систем: «Решения для светодиодных светильников. Часть 1. Светодиоды. Драйверы. Источники питания» [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.mt-system.ru/sites/default/files/docs/documents/mt-system_lighting.

19. Цевелюк Е., Котов В. Обзор интегральных микросхем светодиодных драйверов // Современная электроника – 2014. – №8. – С. 32-37

20. Шуберт Ф. Светодиоды/ Пер. с англ. Под ред. А.Э. Юновича – 2-е издание. - М. ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 496с.

21. Официальный сайт Epistar [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.epistar.com.tw/>

22. Официальный сайт Cree [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.cree.com/>

23. Официальный сайт Lattice Power [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.latticepower.com/>

24. Официальный сайт SemiLEDs [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.semileds.com/>

25. Официальный сайт Lumiled-Philips [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.philipslumileds.com/>

26. Официальный сайт Nichia [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.nichia.co.jp/en/about_nichia/index.html
27. Narukawa Y., Ichikawa M., Sanga D., Sano M., Mukai T. White light emitting diodes with super-high luminous efficacy // Journal of Physics: Applied Physics. – 2010. – № 43
28. Социн Н.П. Новые люминофоры для эффективных приборов твердотельного освещения. Круглый стол производство светодиодов в России – дорожная карта. Материалы доклада. Москва 2011. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nprpss.ru/sobytiya/vystavki-i-konferencii/kruglyj-stol-proizvodstvo-svetodiodov-v-rossii-dorozhnaya-karta.html>, свободный (дата обращения: 08.04.2013).
29. Социн Н.П. Светодиод + порошок люминофор = новое качество света // Светодиоды и лазеры. – 2002. – №№1-2. – С.60-63.
30. Социн Н.П., Гальчина Н.А., Коган Л.М., Широков С.С., Юнович А.Э. Светодиоды „теплого“ белого свечения на основе р-п-гетероструктур типа InGaN/AlGaN/GaN, покрытых люминофорами из иттрий-гадолиниевых гранатов // ФТП. – 2009. – Т.43. – вып. 5. – С.700-704.
31. Меркушев О.М., Ведерников Л.Г. Фотолюминофор на основе YAG, активированные Ce³⁺, в светодиодах белого света // Светодиоды и лазеры. – 2002. – №№1-2. – С.64.
32. Вилисов А.А., Екимова И.А., Солдаткин В.С., Туев В.И. Люминофор для светодиода // Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Научная сессия ТУСУР-2013». – 2013 – Т. 2. – С. 63-65.
33. Абрамов В.С., Агафонов Д.Р., Шишов А.В., Щербаков Н.В., Рыжиков И.В., Социн Н.П., Юнович А.Э. Белые светодиоды // Светодиоды и лазеры. – 2002. – №№1-2. – С. 25-29.
34. Официальный сайт фирмы Dalian Luminglight [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.luminglight.com>.
35. Полимерные композиционные материалы: Структура, свойства,

технология / Под ред. Берлина А.А. СПб.: Профессия., 2009. – 559 с.

36. Уорден К. Новые интеллектуальные материалы и конструкции. М.: Техносфера., 2004. – 223 с.

37. Мэттьюз Ф., Ролингс Р. Композитные материалы: Механика и технология. М.: Техносфера., 2004. – 407 с.

38. Иванов А.А., Мамаев А.И. Полифункциональные наноструктурированные керамические неметаллические неорганические покрытия // Известия ВУЗов. «Физика». – 2011. – Т. 54. – № 9/2. – 87–98 с.

39. Иванов А.А., Ботвин В.В., Филимошкин А.Г. Дендримерные полиалюмосиликаты в качестве матрицы наполненных покрытий // ЖПХ. – 2014. – Т. 87. – №2. – 151–157 с.

40. Иванов А.А., Ботвин В.В., Филимошкин А. Г. Новая технология формирования высокоразвитой поверхности алюминия методом электроимпульсной абляции // ЖПХ. – 2013. – Т. 86. – №9. – 1345–1354 с.

41. Кучевская А.С., Березина Е.М., Филимонова И.Л., Филимошкин А.Г., Иванов А.А. Динамика микроструктуры сополимеров малеинового ангидрида // Известия ТПУ. – 2011. – Т. 318. – № 3. – 121–126 с.

42. Филимошкин А.Г., Полещук О.Х., Кучевская А.С., Березина Е.М., Иванов А.А. Квантово-химическое описание и экспериментальные доказательства микроструктурной неоднородности сополимеров малеинового ангидрида // Бутлеровские сообщения. – 2010. – Т. 23. – № 13. – 50–59 с.

43. Давидов П.Д. Анализ и расчёт тепловых режимов полупроводниковых приборов. М.: Энергия, 1967.

44. Emeis R., Herlet A., Spence E. The Effective Emitter area of Power Transistors. V.46, №6. Proc I.R.E., 1958.

45. Silicon Controlled Rectifiers Designers Handbook. Jonwood, 1964.

46. Kennedy D.P. Spreading Resistance in Cylindrical Semiconductor Devices №31. J. Appl. Phys., 1960.

47. Теплотехнический справочник. Т. I. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1957.

48. Давидов П.Д. К теории инженерного расчёта нестационарных

тепловых процессов в мощных полупроводниковых приборах. Изд. 4-е, Электричество, 1966.

49. Дульнев Г.Н., Парфенов В.Г., Сигалов А.В. Методы расчёта теплового режима приборов. М.: Радио и связь, 1990.

50. Кузнецов Г.В., Шеремет М.А. Разностные методы решения задач теплопроводности. Изд. Томск. политехнич. ун-та, 2007.

51. Румянцев А.В. Метод конечных элементов в задачах теплопроводности. Изд. Калининград, 2010.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Модели, фотографии и технические характеристики светодиодных ламп

Лампы производства фирмы ECOLA.

Модель	Фото	Мощность, Вт	Цветовая температура	Габариты, мм ²	Срок службы, ч	Розничная цена, руб.
Ecola globe LED 2,1W G45		2,1	2800 К (4200 К)	75x45	30 000	150
Ecola globe LED 2,1W		2,1	2700 К (4000 К)	78x45	30 000	143
Ecola Light Globe LED 4,1W		4,1	2700 К (4000 К)	82x45	30 000	120
Ecola globe LED 5,4W G45		5,4	2700 К (4000 К)	82x45	30 000	158
Ecola globe LED 7,0W G45		7	2700 К (4000 К)	82x45	30 000	189
Ecola classic LED 4,2W A60		4,2	2800 К (4200 К)	110x60	30 000	110
Ecola globe LED 4,2W G45		4,2	2700 К (4000К)	78x45	30 000	130
Ecola globe LED 5,0W G50		5	2700 К (4000К)	89x50	30 000	143
Ecola classic LED 7,0W A50 360°		7	2700 К (4000К)	92x50	30 000	182

Ecola classic LED 4,2W A60		4,2	2800 K (4200K)	110x60	30 000	110
Ecola classic LED 5,4W A60		5,4	2700 K (4000K)	110x60	30 000	124
Ecola classic LED 8,1W A60		8,1	3000 K 4000 K	110x60	30 000	202
Ecola classic LED 9,2W A60 360°		9,2	2700 K (4000K)	111x60	30 000	228
Ecola classic LED 11,5W A65 360°		11,5	2700 K (4000K)	125x65	30 000	299
Ecola classic LED 14,0W A65 360°		14	2700 K (4000K)	125x65	30 000	462

Лампы производства Feron.

Модель	Фото	Мощность, Вт	Цветовая температура	Габариты мм ²	Световой поток, лм	Количество светодиодов	Розничная цена, руб.
LB-70		3,5	2700 K (4000 K)	103x35	300	6	207
LB-40		3,5	2700 K (4000 K) (6400 K)	80x45	300	6	207
LB-41		3,5	2700 K (6400 K)	98x55	300	6	126

LB-42		5	2700 К (4000 К) (6400 К)	н/д	480	10	252
LB-49		12	2700 К (4000 К) (6400 К)	118x60	960	30	346
LB-51		3	2700 К (4000 К)	75x46	250	13	126
LB-81		3	2700 К (4000 К) (6400 К)	н/д	280	7	126
LB-87		4	2700 К	107x39	360	66	315
LB-89		8	(6400 К)	123x53	400	166	566

Лампы производства Gauss.

Фото	Мощность, Вт	Цветовая температура	Габариты, мм ²	Световой поток, лм	Срок службы, ч
	3	2700 К 4100 К	40x87	290	35 000
	4	2700 К 4100 К	48x45x95	370	35 000
	6	2700 К 4100 К	45x80	570	35 000
	3	2700 К 4100 К	35x135	290	35 000

	3	2700 K 4100 K	35x117	290	35 000
	6	2700 K 4100 K	37x107	570	35 000
	7	2700 K 4100 K	55x102	730	35 000
	9	2700 K 4100 K	63x103	920	35 000
	10	2700 K 4100 K	60x120	960	35 000
	12	2700 K 4100 K	60x125	1270	35 000
	14	2700 K 4100 K	95x128	1100	35 000

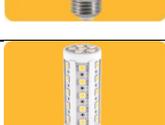
Лампы производства Jazzway.

Модель	Фото	Мощность, Вт	Цветовая температура	Габариты, мм ²	Световой поток, лм	Срок службы
PLED- CA-37		6	2700 K 4000 K	37x135	400	50 000

PLED-G45		6	2700 K 4000 K	45x81	450	50 000
PLED-A60		8 11 13	2700 K 3000 K 5000 K	60x112	540 900 1100	50 000
PLED-SP-C35 PLED-SP-C37		5,5	3000 K 5000 K	35x102	430	30 000
PLED-SP-C37		7	3000 K 5000 K	38x113	540	35 000
PLED-SP-A60		8 10 12	3000 K 5000 K	60x108	630 790 1080	30 000
PLED-SP-G45		5,5 7	3000 K 5000 K	45x78	430 540	30 000
PLED-SP-R		5 5,5 7 8 11	3000 K 5000 K	63x102	400 430 540 630 820	30 000

Продукция компании Kreonix.

Модель	Фото	Мощность, Вт	Цветовая температура	Габариты, мм ²	Световой поток, лм	Количество светодиодов	Розничная цена, руб.
STD-G35-0,6W		0,6	6500 K	74x50	80	9	111

STD-B45-3W		3	6500 K	74x45	260	12	158
STD-C30-3,5W		3,5	3000 K	99x38	270	30	185
STD-B50-3,5W		3,5	3000 K	80x50	270	35	170
R63-H-4W		4	6500 K	н/д	330	80	150
STD-B60-4,2W		4,2	3000 K	95x60	310	42	189
ALM-JDR-4,6W		4,6	6500 K	54x50	370	24	337
STD-A55-5W		5	6500 K	103x55	470	н/д	228
STD-B60-5,8W		5,8	3000 K 6500 K	110x60	530	36	233
CORN-6,5W		6,5	3000 K 6500 K	108x33	630	36	373
ALM-PAR20-9W		9	3000 K 6500 K	116x65	700	1	357
STD-R63-9W		9	3000 K 6500 K	107x63	840	18	424
ALM-A60-9W		9	3000 K 6500 K	122x60	700	77	322
STD-A60-9W		9	3000 K 6500 K	106x60	810	н/д	290
CORN-10W		10	3000 K 6500 K	120x45	920	54	652

STD-G45-5W		5	3000 K 4200 K 6500 K	74x45	450	12	239
STD-A55-7W		7	3000 K 4200 K 6500 K	104x55	650	8	310
STD-A60-11W		11	3000 K 6500 K	110x60	900	1	410
STD-A65-12W		12	3000 K 6500 K	120x65	1100	н/д	405
CORN-13,5W		13,5	3000 K 6500 K	140x62	1220	72	784
CORN-19W		19	3000 K 6500 K	155x84	1840	108	1153

Лампы производства Navigator.

Модель	Фото	Мощность, Вт	Цветовая температура	Габариты, мм ²	Световой поток, лм	Срок службы, ч
NLL-P-C37-5		5	2700 K 4000 K	37x105	370	30 000
NLL-R63-5		5	4000 K	63x106	425	30 000
NLL-R63-8		8	4000 K	63x106	680	30 000
NLL-R63-12		12	4000 K	80x115	1000	30 000
NLL-C37-7		7	2700 K 4000 K	37x104	560	40 000

NLL-G45-7		7	2700 K 4000 K	45x70	560	40 000
NLL-P-G45-5		5	2700 K 4000 K	45x70	370	30 000
NLL-G45-5		5	2700 K	45x85	350	40 000
NLL-A55-8		8	2700 K	55x105	560	40 000
NLL-A55-5		5	2700 K	60x110	410	30 000
NLL-A55-7		7	2700 K 4000 K	60x110	560	30 000
NLL-A55-10		10	2700 K 4000 K	60x110	820	30 000
NLL-T70-20		20	4000 K	70x142	1600	40 000
NLL-T75-25		25	4000 K	75x178	2000	40 000
NLL-T70-45		45	4000 K	105x250	4000	40 000