

Николай Радомский, к. т. н. | radomsky@mail.ru

Сравнительный анализ продукции

ведущих производителей белых светодиодов

Проведен сравнительный анализ белых светодиодов повышенной яркости производства ведущих мировых компаний. Обоснованы рекомендации разработчикам, создающим осветительные системы на основе полупроводниковых источников света. Представлены основные преимущества светодиодной техники.

В 1996 г. в компании Nichia японскому инженеру Суджи Накамура удалось впервые получить светодиод белого цвета. Эту дату можно считать началом светодиодной революции, которая дала возможность использовать в осветительных системах принципиально новый, высокоэффективный источник света. Это революционное открытие послужило началом бурного развития технологий производства в различных компаниях.

- В 2003 г. компания Lumileds Lighting создала мощный белый светодиод Luxeon I со световым потоком более 25 лм и световой эффективностью 20 лм/Вт.
- Cree Lighting в 2004 г. выпустила белый светодиод XL7090 со световым потоком 55 лм и световой эффективностью 50 лм/Вт, а в 2006 г. появляется светодиод XR-E7090, имеющий следующие характеристики: 100 лм и 90 лм/Вт.
- В 2009 г. компания Nichia заявила о создании серийного светодиода со световой эффективностью 160 лм/Вт.
- 3 февраля 2010 г. на сайте компании Cree появилось сообщение [1] о новом рекорде: инженеры компании достигли световой эффективности 208 лм/Вт (при токе 350 мА) во время испытаний светодиода с цветовой температурой 4579 К.
- В середине апреля 2010 г. компания Cree анонсировала новый класс однокристалльных светодиодов XLamp XM [2]. Эти светодиоды позволяют получить рекордную величину светового потока 750 лм.

В настоящий момент разработчиков интересует вопрос о максимально достижимой величине светового потока и получаемой при этом световой эффективности. По расчетам специалистов в области производства мощных белых светодиодов, теоретический максимум эффективности составляет 320 ± 20 лм/Вт [3, 4]. Таким образом, такие компании, как Cree, Nichia, достигли уровня КПД 50%.

Бурное развитие светодиодной отрасли послужило толчком к созданию энергосберегающих осветительных систем, к разработке нового оборудования в медицине, в системах скоростной передачи информации. В мире появляются все новые и новые фирмы по производству светодиодов.

Рост предложений на рынке светодиодной продукции повышенной яркости ставит разработчиков осветительных систем при выборе типа светодиодов перед тяжелой дилеммой. Автором статьи предпринята попытка сориентироваться в этом море яркого света и провести анализ современного рынка белых светодиодов.

Осветительные системы

На сегодня в качестве источников для осветительных систем используются следующие элементы:

- лампы накаливания общего назначения;
- галогенные лампы;
- люминесцентные лампы;
- газоразрядные лампы высокого давления;
- полупроводниковые источники света.

Основным источником оптического излучения в лампах накаливания является разогретый до температуры свечения проводник, находящийся в инертной атмосфере. Выпускают лампы с аргоновым и криптоновым наполнителем, причем криптоновые имеют меньшие габариты и обеспечивают больший световой поток. Средний срок службы составляет 1000 ч. КПД ламп накаливания ~10%.

Достоинством галогенных ламп является неизменно яркий свет, великолепная цветопередача и возможность создания любых световых эффектов. По сравнению с обычными лампами накаливания галогенные имеют более высокую цветовую температуру (до 3100 К). Они обла-

дают высокой световой эффективностью и длительным сроком службы. Галогенные лампы работают от сети 220 В, а также от источников питания 6, 12 и 24 В. КПД галогенных ламп ~15%.

Люминесцентные лампы очень экономичны и имеют световую эффективность в несколько раз больше, чем у ламп накаливания. Такие лампы представляют собой стеклянную вакуумную трубу-колбу, наполненную парами ртути низкого давления. Люминесцентные трубки светятся, когда в них загорается электрический разряд. В заполняющей трубку газе некоторое количество электронов отрывается от своих атомов и движется с ускорением в электрическом поле. Когда такой ускоренный электрон сталкивается с атомом, он отдает энергию в виде ультрафиолетового излучения. Трубка покрыта изнутри люминофором, который поглощает этот ультрафиолетовый свет и трансформирует его уже в видимый. Поскольку ничто не мешает собрать весь ультрафиолет и перевести его в видимый свет, эффективность таких ламп повышается, и КПД достигает 25–30%.

Газоразрядные лампы высокого давления подходят для использования в системах освещения, требующих мощных компактных источников света, высокой светоотдачи и долгого срока службы. Стеклянная колба имеет форму цилиндра или эллипсоида. У ртутных ламп колба покрывается изнутри люминофором, преобразующим ультрафиолет в видимый свет. Внутри колбы помещен реактор с двумя электродами и подводящими проводами. КПД таких ламп — порядка 40%.

В таблице 1 представлены сравнительные значения эффективности преобразования энергии в свет для разных источников осветительных систем.

Таблица 1. Эффективность преобразования энергии в свет для разных источников осветительных систем

Источники осветительных систем	Световая эффективность, лм /Вт
Лампы накаливания общего назначения	18–22
Линейные 2-цокольные галогенные лампы накаливания (150; 250; 300; 500; 1000; 1500 Вт)	18–22
Зеркальные галогенные лампы накаливания на напряжение 12 В (20; 35; 50 Вт)	25–30
Ртутные лампы высокого давления с люминофором (типа ДРЛ) (50; 80; 125; 250; 400; 700 Вт)	45–55
Компактные люминесцентные лампы (5; 7; 9; 11; 15; 20; 23 Вт)	50–60
Линейные люминесцентные лампы (18; 36; 58 Вт)	60–80
Металлогалогенные лампы (35; 70; 150; 250; 400 Вт)	70–100
Натриевые лампы высокого давления (70; 100; 150; 250; 400 Вт)	90–130
Светодиоды	до 170

Особенности полупроводниковых источников света

При оценке светодиодной продукции различных производителей следует в первую очередь анализировать следующие характеристики:

- фотометрические (световые);
- радиометрические (энергетические);
- колориметрические (спектральные);
- гониометрические (угловые);
- эксплуатационные (срок службы).

Фотометрия — это раздел физической оптики, располагающий совокупностью методов для измерения электромагнитного излучения в видимом диапазоне спектра (длины волн 380–770 нм). Существует множество фотометрических величин, но основными являются световой поток, сила света, освещенность, яркость.

- Световой поток — это полное количество излучения, производимого данным источником в видимой области спектра (единица измерения — люмен (лм)).
- Сила света — это пространственная плотность светового потока в заданном направлении, или отношение светового потока, направленного от источника в пределах телесного угла, охватывающего данное направление, к этому углу (единица измерения — кандела (кд)).
- Освещенность — это плотность падающего светового потока на поверхности, или отношение светового потока, падающего на поверхность, к площади этой поверхности (единица измерения — люкс (лк)).
- Яркость — это отношение силы света в заданном направлении от участка поверхности к площади этой излучающей поверхности в проекции на плоскость, перпендикулярную этому направлению (единица измерения — кандела на метр квадратный (кд/м²)).

Радиометрия занимается измерениями полного электромагнитного излучения во всех оптических диапазонах (видимом, инфракрасном и ультрафиолетовом). Основная единица мощности излучения — ватт (Вт). Другие измеряемые радиометрические величины — сила излучения (Вт/ср), энергетическая освещенность (Вт/м²) и энергетическая яркость (Вт/ср×м²). Базовый метод измерения полной мощности излучения основан на использовании сферического интегратора. Основными величинами радиометрии являются:

- Световая эффективность преобразования энергии в свет — отношение величины излучаемого светового потока к потребляемой электрической мощности (единица измерения — люмен на ватт (лм/Вт));
- Поток излучения — количество энергии, излучаемой за единицу времени (единица измерения — ватт (Вт)).

Колориметрия включает в себя расчеты и методы измерения цвета излучения. Эти методы основываются на законах Грассмана. Колориметрические параметры белых светодиодов обычно выражены в координатах цветности или в значении коррелированной

цветовой температуры. Эта методика измерения цветности была принята международной комиссией по освещенности в 1931 г. Цветовое восприятие человека весьма сложно, поскольку оно зависит не только от различных физических свойств света, но также и от окружающих объектов, механических свойств излучателя и психологического состояния наблюдателя. Для белых светодиодов наиболее важными колориметрическими параметрами являются цветовая температура и индекс цветопередачи. Цветовая температура — это температура черного тела, при которой оно испускает излучение с той же цветностью, что и рассматриваемое измерение. Эта мера объективного впечатления от цвета данного источника света. Единица измерения — градус Кельвина (К).

- 2700 К — сверхтеплый белый;
- 3000 К — теплый белый;
- 4000 К — естественный белый;
- 5000 К — холодный белый (дневной).

Светодиоды производятся сегодня в довольно широком диапазоне оттенков белого цвета с цветовой температурой 2600–10000 К. К сожалению, каждый регион имеет свои собственные понятия о том, какой диапазон белого света более всего подходит для нужд освещения, поэтому четкой фиксации нет.

Индекс цветопередачи является отражением того, насколько естественно выглядят предметы под этим светом. За один из стандартных источников принимается Солнце, при этом для источников с близкой цветовой температурой его коэффициент равен 100. Этот коэффициент обозначается как Ra или CRI.

- Ra 91–100 — очень хорошая цветопередача;
- Ra 81–90 — хорошая цветопередача;
- Ra 51–80 — средняя цветопередача;
- Ra <51 — плохая цветопередача.

Гониофотометры применяют для угловых характеристик источников излучения. Суть метода измерений состоит в том происходит пошаговая фиксация значений силы света излучателя при его повороте на известный угол. Такие измерения необходимы разработчику для более эффективного выбора типа светодиодов при проектировании конкретной осветительной системы.

Основная характеристика надежности светодиодов — срок их службы. В процессе эксплуатации возможны две ситуации: световой поток излучателя либо частично уменьшился, либо вовсе прекратился. Срок службы отражает эти факты: различают полезный срок службы (пока световой поток не упадет ниже определенного предела) и полный (пока прибор не выйдет из строя).

Правильный выбор корпуса является очень важным фактором надежности светодиода, а от этого во многом зависит эффективность работы проектируемых систем освещения. Важными показателями корпуса являются оптические и тепловые свойства, а также способ монтажа. Производители мощных светодиодов предлагают свою продукцию в корпусах для поверхностного монтажа (очень удобно при автоматической пайке), PLCC-корпусах (используются для ручного монтажа),

корпусах типа STAR (они имеют хорошее соприкосновение с радиатором, поэтому облегчают отвод тепла).

Перед разработчиками осветительных систем стоит сложная задача по выбору производителя светодиодной продукции. Для этого необходимо, во-первых, провести тщательный анализ всего спектра продукции по фотометрическим, радиометрическим, колориметрическим и эксплуатационным характеристикам. Во-вторых, выбрать корпус светодиода. Это важно с точки зрения монтажа и отвода тепла. В-третьих, проанализировать набор драйверов для светодиодов, предлагаемый производителями данного вида продукции, чтобы выстроить систему питания системы освещения с наивысшим КПД. В-четвертых, рассмотреть гониометрические характеристики и выбрать наиболее эффективную оптику.

И, чтобы быть на передовых позициях длительное время, необходимо заглядывать в завтрашний день и пытаться предвидеть, по какому пути будет проходить дальнейшее развитие отрасли, какие типы светодиодов наиболее перспективны, какие новые характеристики следует ждать в ближайшее время.

Основные производители светодиодной продукции

По данным аналитической компании IMS RESEARCH, тройку ведущих производителей светодиодов образуют Nichia (24% рынка), OSRAM (10,5%) и Lumileds (6,5%). Четвертое место делят компании Seoul Semiconductor и Cree, причем как производитель LED-чипов американская компания не уступает южнокорейской фирме, но доля на рынке корпусированных светодиодов у Cree заметно меньше.

Проведем сравнительный анализ продукции следующих основных производителей светодиодов:

- Nichia (Япония);
- Philips Lumileds Lighting (США);
- OSRAM OptoSemiconductor (Германия);
- Seoul Semiconductor (Ю.Корея);
- Cree Lighting (США);
- Prolight Opto (Тайвань);
- Edison Opto Corporation (Тайвань);
- LedEngin (США).

На первый взгляд, японская фирма Nichia [5] не выделяется на фоне крупных производителей оптоэлектронных компонентов. Она выпускает небольшой перечень продукции: мощные светодиоды для обычного и поверхностного монтажа, лазерные диоды фиолетового излучения и фотолюминесцентные материалы. Однако именно эта компания совершила революцию в оптоэлектронике. Она первой выпустила синий, а затем белый светодиоды. Эта компания — среди лидеров по показателю световой эффективности (в июне 2009 г. был выпущен новый белый светодиод Raijin NSPWR70CSK1, который достиг фантастической световой эффективности в 160 лм/Вт). Качество ее продукции находится на высочайшем уровне. А то, что 24% мирового рынка светодиодной продукции и почти

80% люминофора занято этой компанией, говорит о высоком уровне ее коммерческой составляющей.

Компания Lumileds [6] занимает лидирующие позиции в мире по производству белых светодиодов. Торговая марка мощных светодиодов этой компании — LUXEON.

Светодиоды LUXEON выпускаются в нескольких вариантах:

- LUXEON I Emitter — базовая модель светодиода для освещения (LUXEON III Emitter имеет более высокую яркость при токе 700 мА);
- LUXEON I Star и LUXEON III Star — это светодиоды исполнения Emitter, закрепленные на теплоотводе «Звезда», с вырезами для крепления (LUXEON III Star имеют допустимый ток до 1000 мА).
- LUXEON K2 Emitter и LUXEON K2 Star — новая серия светодиодов LUXEON с повышенной световой отдачей.

Самая новая серия мощных белых светодиодов LUXEON K2 отличается более высокой световой эффективностью и допустимым током до 1 А. Серия имеет три оттенка белого цвета — холодный, нейтральный и теплый. Малые величины теплового сопротивления позволяют сделать светильники на основе светодиодов легкими и миниатюрными. Низкий нагрев освещаемой поверхности дает неоспоримое преимущество светодиодам при их использовании в медицинской технике и при освещении предметов, не переносящих даже слабый нагрев. Световой поток этой серии достигает величины в 300 лм (LXK2-PWC4-0220).

Компания OSRAM [7] существует более 100 лет, и длительную часть своей истории она занималась производством ламп накаливания. Название фирмы (OSmium&wolfRAM) происходит от названия металлов, используемых для производства нити накала. В настоящий момент наиболее перспективным направлением деятельности одного из ее подразделений (OSRAM Opto Semiconductors) является производство оптоэлектроники.

Среди сверхъярких белых светодиодов выделяется семейство Dragon. Максимальный световой поток обеспечивает серия Diamond Dragon (LUW W5AP-MYNY-4C8E). Рабочий ток у светодиодов этой серии 1400 мА, но может достигать и 2000 мА; при этом световой поток будет 400 лм, что является одним из самых высоких показателей в отрасли для одиночных кристаллов. Ноу-хау фирмы OSRAM Opto является запатентованная технология ThinFilm/ThinGap, что обеспечивает высокую световую эффективность и низкое прямое напряжение. Отличный белый цвет обеспечивается за счет люминофора, нанесенного прямо на кристалл.

Серия OSTAR-Lighting представляет собой линейку многокристалльных светодиодов мощностью до 15 Вт. В таблицах 2-5 приведены характеристики светодиодной сборки LE UW EZB-PZQZ-FRJV. Использование такого многокристалльного светодиода в освещении позволит достичь существенной эффективности при меньшем выделении тепла; это, в свою очередь, позволит минимизировать размеры радиатора.

В 2002 г. компанией были разработаны органические светодиоды OLED (Organic Light

Emitting Diodes). Как показала практика, это становится очень перспективным направлением в системах освещения.

Продукция компании Seoul Semiconductor [8] предназначена для использования в системах подсветки дисплеев, мобильных телефонов, системах местного освещения, лампах-вспышек. Наибольший интерес разработчики систем освещения проявляют к следующим продуктам этой компании:

- светодиоды серии Z-Power;
- светодиодная линейка Acrighe;
- ультрафиолетовые светодиоды в диапазоне 255–340 нм.

Многокристалльный светодиод Z-Power P7 W724C0 позволяет достичь светового потока 900 лм при потреблении чуть больше 10 Вт. Коррелированная цветовая температура — 6300 К, угол излучения 110°, а тепловое сопротивление 3 °С/Вт. Эффективность этого светодиода достигает величины 90 лм/Вт. Однокристалльные светодиоды серии Z-Power P4 достигают светового потока 108 лм при токе 350 мА (W42180 U rank) и обладают при этом очень высоким коэффициентом цветопередачи — 93.

Особенностью линейки светодиодов Acrighe является возможность работать напрямую от 220 В, не требуя никаких дополнительных элементов питания. В настоящий момент выпускаются изделия от 1 Вт (серия A6) до 8 Вт (A4) со световым потоком до 400 лм и световой отдачей 50 лм/Вт (AN4224). Компания на своем сайте сделала сообщение [9] о появлении новой линейки в серии A4 со световой эффективностью до 100 лм/Вт.

Компания Seoul Semiconductor начала выпуск нового светодиода LCW100Z1 со световой эффективностью свыше 120 лм/Вт [10]. Это сверхтонкий излучатель (3,5×2,8×1,6 мм), который выдает световой поток до 7,8 лм при токе 20 мА (0,06 Вт) и 14,3 лм при токе 40 мА.

У разработчиков вызвал интерес выпуск новой серии светодиодов Z1, которая имеет беспрецедентные значения коэффициента руб./лм (табл. 6). Мощный светодиод с изолированным основанием выпускается в двух вариантах: теплый белый (NZ10150) и чисто-белый (WZ10150). Максимальное значение светового потока NZ10150 и WZ10150 составляет 95 и 120 лм соответственно.

Многие фотометрические и радиометрические характеристики светодиодов компании Cree [11] являются рекордными в отрасли. Это и световая эффективность, и световой поток для одиночного кристалла, и очень низкий показатель теплового сопротивления. Компания производит 30% от общего количества светодиодов, производимых в мире, с синим и белым цветом свечения. Причем некоторые компании закупают кристаллы у Cree, а затем устанавливают в свой корпус и продают светодиоды уже под своей торговой маркой.

Новая серия мощных светодиодов XP-G позволяет достичь светового потока в 139 лм при токе 350 мА и 345 лм при токе 1000 мА (табл. 2). Увеличение светового потока для разработчиков систем освещения в первую очередь ассоциируется с проблемами отвода тепла. А тепловое сопротивление у светодиодов Cree очень

низкое (табл. 5), что облегчает выполнение задачи по теплоотводу тепла.

Новая серия светодиодов XLamp XM, анонсированная в апреле 2010 г., имеет высокие заявленные показатели: рекордная для однокристалльных светодиодов величина светового потока 750 лм (ток 2 А), при этом показатель световой эффективности составляет 110 лм/Вт, а при токе 350 мА световая эффективность достигает самой высокой величины для этого класса светодиодов — 160 лм/Вт. Тепловое сопротивление этой серии — 2 °С/Вт. Очень перспективная линейка светодиодов позволит разработчикам осветительной аппаратуры успешно решить многие проблемы. Компания Cree представила эту серию на выставке в Лас-Вегасе в мае, а до конца 2010 г. планирует разместить в торговой сети.

У светодиодов серии XP-C один из лучших коэффициентов соотношения \$/лм. Например, XPCWHT-L1-0000-00A03 со световым потоком 90 лм стоит \$1,49 в «КОМПЭЛ» [12].

В серии XR используются так называемые «плавающие» линзы, подобная конструкция позволяет исключить механические повреждения при разогреве, а также обеспечивает хорошую фокусировку в широком диапазоне температур. Корпус светодиодов этой серии имеет один из лучших показателей теплового сопротивления. Так, для светодиодов XR-E эта величина составляет 8 °С [13].

Серия MC-E представляет собой 4-кристалльную сборку, помещенную в 8-выводный корпус. Каждый кристалл управляется самостоятельно. Таким образом, светодиоды MC-E, занимая площадь такую же, что и однокристалльный светодиод, обеспечивают световой поток в 4 раза больше.

На рынке появилась новая интересная серия многокристалльных светодиодных матриц (11×12) MPL-EZW. При токе 250 мА на строку получен световой поток 1500 лм.

Prolight Opto Technology [14] выпускает светодиоды мощностью от 0,5 до 18 Вт, в том числе специальные серии: стоматологическую для фотополимерной сушки, шахтерскую, ультрафиолетовую.

Светодиоды мощностью 3 Вт (PG1-3LWS) имеют световой поток 110 лм (при токе 700 мА), цветовую температуру 5500 К и тепловое сопротивление 12 °С.

Светодиоды мощностью 5 Вт (PG1A-5LWS) имеют световой поток 250 лм (при токе 700 мА), цветовую температуру от 5500 К и тепловое сопротивление 11 °С.

Светодиоды мощностью 10 и 15 Вт (PF6M-10LXP-4SC и PF6N-15LVP-6SC) являются многокристалльными светодиодами (4- и 6-кристаллы соответственно). При этом основные параметры этих светодиодов следующие: световой поток — 450 и 820 лм (при токе 700 мА), цветовая температура — от 5500 К, тепловое сопротивление — 5 и 2,4 °С.

Представляет интерес серия PG1A-1MWX-DL — это так называемые шахтерские светодиоды с двумя отдельно управляемыми кристаллами в одном корпусе, дающие эффект ближнего и дальнего света. При токе 250 мА на расстоянии 1 м освещенность достигает величины 1000 лк.

Prolight выпускает светодиоды в корпусах двух видов: Emitter и Star. На светодиодах изначально устанавливаются следующие типы линз: Lambertian, Batwing, Side Emitting, Narrow.

Edison Opto Corporation [15] — молодая быстрорастущая тайваньская корпорация, успевшая за короткий срок, с 2001 г., добиться значительных успехов в деле производства мощных светодиодов. Сегодня эта компания имеет заслуженный авторитет во всем мире.

Продукция Edison Opto по своим характеристикам занимает некое среднее положение, если сравнивать с аналогичной продукцией лидеров отрасли. Компания производит светодиоды не со столь высокими показателями эффективности, как у лидеров, но хорошего качества и при этом сравнительно недорогие.

Ассортимент продукции Edison очень широк. Компания производит не только дискретные светодиоды в различных вариантах исполнения, но и различные светодиодные матрицы — многоцветные (RGB) и мощные (до 100 Вт) белого свечения. Светодиоды KLC8_Edixeon K Series имеют высокие показатели эффективности и величины светового потока по сравнению со своими остальными однокристалльными светодиодами. Типовое значение величины светового потока — 100 лм при токе 350 мА на холодном белом и 170 лм при токе 700 мА и напряжении 3,5 В (EDEW-KLC8-F3), тепловое сопротивление светодиодов этой серии составляет 8 °С/Вт.

Компания Edison, наряду с другими известными производителями мощных светодиодов, выпускает линейку приборов, которые представляют собой матрицу светоизлучающих кристаллов, собранных в одном корпусе. В линейке три серии изделий: EdiLine III, EdiPower и EdiStar. Светодиоды EdiLine III рассчитаны на мощность 1 и 3,5 Вт. Линейная матрица этой серии ELCW-3GB0-B00 при токе 350 мА и напряжении 12 В имеет световой поток 350 лм. Серия EdiPower отличается большим разнообразием, в ее состав входят светодиоды мощностью 5, 10, 15 и 20 Вт, белого и монохромного свечения. Все светодиоды этой серии выпускаются в корпусах Emitter и Star, причем исполнение Star, в свою очередь, имеет два варианта — стандартная «звезда» и «квадрат». Диапазон величин светового потока составляет от 250 лм для 5-Вт светодиода при токе 700 мА (EP5W-4E04-xx) до 1200 лм для 20-Вт при токе 1400 мА (EPBW-4E02-xx). Самые мощные светодиоды в мире представлены в серии EdiStar. В эту серию включены светодиодные матрицы мощностью 50 и 100 Вт. В первом случае используется матрица из 49 кристаллов, а во втором применяется аналогичная матрица 10×10. Величина светового потока для 50-Вт матрицы составляет 4000 лм (ENEW-05-0707-EB), а для 100-Вт матрицы — 7000 лм (ENEW-10-1010-EB).

Компания LedEngin (США) [16] специализируется на уникальных решениях в области компоновки и корпусирования, что позволяет производить светодиоды хорошего качества.

Таблица 2. Сравнительный анализ показателей светового потока для ведущих производителей светодиодов

Производитель	Наименование продукции	Световой поток, лм	Напряжение, В/ ток, мА
Nichia	NS6W183T	260	3,5/700
	NS9W153M (3 кристалла в корпусе)	350	10,5/350
Philips Lumileds	LXK2-PWC4-0220	300	3,85/1500
	LAFL-C4-0850 (4 кристалла)	850	13,7/1000
OSRAM Opto	LUW W5AP-MYNY-4C8E	390	3,5/1400
	LE UW E3B-PZQZ-FRJV (6 кристаллов в корпусе)	610–1120	21/700
Seoul Semiconductor	Z-Power P4 W49180	240	4/1000
	Z-Power P7 W724C0 (4 кристалла)	900	3,6/2800
Cree Lighting	XPGWHT-L1-0000-00H51	139	3,1/350
		345	3,3/100
	XLamp XM	190	3,5/350
		750	3,5/2000
MPL-EZW-A1-0000F040F (светодиодная матрица 11×12)	1500	26,5 (на строку)/250 (макс. P = 20 Вт)	
Prolight Opto	PG1A-5DWS	250	7/700
	PF6N-15LVP-6SC	820	25/700
Edison Opto	EDEW-KLC8-F3	170	3,5/700
	ENEW-10-1010-EB (светодиодная матрица 30×30)	7000	33/3000
LedEngin	LZ1-00CW05-Q	320	3,8/1500
	LZC-00CW40-Z (светодиодная матрица 9×9)	2400	45/1000

Технология компании по созданию корпусов для мощных светодиодов во многом способствует производству продукции высочайшего качества. Революционность такой технологии заключается в следующем:

- ударопрочная керамическая подложка специально разработана для наименьшего теплового сопротивления;
- многослойное капсулирование позволяет увеличивать ток, что в конечном итоге приводит к увеличению светового потока;
- уникальный способ крепления кристалла к подложке увеличивает полезную мощность и надежность;
- высокоточное нанесение люминофора обеспечивает однородность цвета;
- теплоизоляция люминофора увеличивает его световую эффективность и срок службы;
- уникальная технология крепления линзы обеспечивает надежное соединение с корпусом;
- кварцевая линза устойчива к высоким температурам и обеспечивает наилучшее светопропускание.

Компания LedEngin выпускает осветительные светодиоды большой мощности от 3 до 15 Вт и экономичные источники света на их основе. При производстве светодиодов LedEngin используются светоизлучающие кристаллы Cree. Светодиоды мощностью 3 Вт (LZ1-00CW03) имеют световой поток 166 лм (при токе 1000 мА), цветовую температуру 6000 К, а тепловое сопротивление 11 °С.

Светодиоды мощностью 5 Вт (LZ1-00CW05), предназначенные для использования в систе-

мах местного и общего освещения, имеют световой поток 209 лм (при токе 1500 мА), цветовую температуру 6000 К, а тепловое сопротивление 5,5 °С.

Светодиоды мощностью 10 и 15 Вт (LZ4-00CW10 и LZ4-00CW15) являются многокристалльными источниками света. Каждый светодиод состоит из четырех светоизлучающих кристаллов, размещенных в компактном корпусе. Каждый кристалл имеет собственные выводы для подключения к источнику питания, что позволяет управлять яркостью его свечения независимо от других кристаллов. При этом основные параметры этих светодиодов следующие: световой поток достигает уровня 700 и 720 лм (при токе 1000 мА), цветовая температура — 5500 и 6200 К, тепловое сопротивление — 2,7 и 2,5 °С соответственно.

Сравнительные характеристики

Потребителей мощных светодиодов в первую очередь интересуют фото- и радиометрические характеристики. На сегодня заявленный производителем максимальный световой поток, который может обеспечить однокристалльный светодиод, уже достиг величины 750 лм. В таблице 2 приведены показатели светового потока с указанием электрических параметров. У каждого из производителей выбраны однокристалльные и многокристалльные светодиоды с максимальными показателями светового потока.

Для объективного анализа эффективности в таблице 3 приведены параметры светового

Таблица 3. Сравнительный анализ показателей светового потока для 3-Вт светодиодов

Производитель	Наименование светодиода	P, Вт	Световой поток, лм	Напряжение, В/ ток, мА
Nichia	NS6W183T	2,5	260	3,5/700
Philips Lumileds	LXK2-PWC4-0220	2,8	185	3,8/700
OSRAM Opto	LUW W5AP-MYNY-4C8E	3,5	220	3,5/1000
Seoul Semiconductor	Z-Power P4 W49180	3,0	210	3,7/800
Cree Lighting	XPGWHT-L1-0000-00H51	3,1	325	3,1/1000
Prolight Opto	PG1A-3LWS	2,5	148	3,5/700
Edison Opto	EDEW-KLC8-F3	2,5	170	3,5/700
	EDEW-3LA1-1	2,5	170	3,5/700
LedEngin	LZ1-00CW03-P	2,73	228	3,9/700

Таблица 4. Показатели световой эффективности

Производитель	Наименование продукции	Световая эффективность, лм/Вт	Напряжение, В / ток, мА
Nichia	NSPWR70CS-K1	164,5	3,1/50
	NS6W183T	106	3,5/700
	NS9W153M	95,2	10,5/350
Philips Lumileds	LXK2-PWC4-0220	91	3,3/350
	LXK2-PWC4-0220	52	3,85/1500
	LAFL-C4-0850	62	13,7/1000
OSRAM Opto	LUW W5AP-KXKZ-4C8E	112	3,1/350
	LE UW E3B-PZQZ-FRJV	74	21/700
Seoul Semiconductor	Z-Power P4 W49180	100	4/700
	Z-Power P7 W724C0	90	4/2800
	LCW100Z1	120	3/20
Cree Lighting	XLamp XM	160	3,5/350
	XPGWHT-L1-0000-00H51	128,1	3,1/350
	XPGWHT-L1-0000-00H51	111,2	3,1/100
	MPL-EZW-A1-0000F040F	75	20 Вт
Prolight Opto	PM2A-1LWE	80	3,5/350
	PG1C-3LWS	61	3,5/700
	PF6N-15LVP-6SC	47	25/700
Edison Opto	EDEW-KLC8-F1	100	3,3/350
	ENEW-10-1010-EB	70	33/3000
LedEngin	LZ1-00CW03-P	90	3,9/700
	LZ1-00CW05-Q	90	3,8/350
	LZ4-40CW10	56,1	14/700
	LZC-00CW40	88	40/350
	LZC-00CW40	53,3	45/1000
	LZ4-00MC10 (полноцветный)	44,2	2,6/1000

потока для светодиодов с примерно одинаковой мощностью (≈ 3 Вт). А в таблице 4 представлен сравнительный анализ показателей световой эффективности.

Важным параметром для светодиодов является величина теплового сопротивления. Путь отвода тепла образуется множеством тепловых сопротивлений: «*p-n*-переход–теплоотвод корпуса», «теплоотвод корпуса–печатная плата», «печатная плата–радиатор», «радиатор–окружающая среда». Поэтому использование мощных светодиодов связано с потенциальной возможностью чрезмерного увеличения температуры перехода, от которой напрямую зависит надежность и световые характеристики светодиодов.

Если осуществляется передача тепла от тела с большей температурой T_2 телу с меньшей

температурой T_1 , то тепловое сопротивление R_t определяется как отношение разности температур тел к мощности P , рассеиваемой нагретым телом, в К/Вт или °C/Вт:

$$R_t = (T_2 - T_1) / P,$$

где: R_t — тепловое сопротивление на участке тепловой цепи, К/Вт (°C/Вт); T_2 — температура начала участка, К (°C); T_1 — температура конца участка, К (°C); P — тепловой поток, протекающий через участок, Вт.

В таблице 5 представлен сравнительный анализ показателей теплового сопротивления для светодиодов ведущих компаний.

Немаловажным фактором при выборе светодиодов является их стоимость. С одной стороны, такие производители, как Nichia, Cree,

Таблица 5. Показатели теплового сопротивления

Производитель	Наименование светодиода	P , Вт	Тепловое сопротивление, °C	Максимальная температура перехода, °C
Nichia	NS6W183T	2,5	10	135
	NS9W153M	3,7	10	150
Philips Lumileds	LXK2-PWC4-0220	2,8	5,5	150
	LAFL-C4-0850	13,7	1,5	130
OSRAM Opto	LUW W5AP-MYNY-4C8E	3,5	5	160
	LE UW E3B-PZQZ-FRJV	14,7	3	150
Seoul Semiconductor	Z-Power P4	2,8	10	125
	Z-Power P7	11,2	8	125
Cree Lighting	XLamp-XM	7	2	150
	XR-E	3,1	8	150
	XP-G	3,1	6	150
	MCE	10	3	150
Prolight Opto	PG1A-3LWS	2,7	8	120
	PG1A-5DWS	4,9	11	135
	PF6N-15LVP-6SC	17,5	2,4	120
Edison Opto	EDEW-KLC8-F3	2,5	8	125
	ENEW-10-1010-EB	100	0,35	125
LedEngin	LZ1-00CW03-P	2,73	11	150
	LZ1-00CW05-Q	5,7	5,5	150
	LZ4-40CW10	10	4,7	150
	LZC-00CW40-Z	45	0,7	150

Philips Lumileds, OSRAM, имеют хорошие технические характеристики и надежность, но высокая стоимость их продукции приводит к повышению себестоимости систем освещения. В то же время на рынке присутствуют малоизвестные фирмы, производящие дешевую продукцию. И за счет дешевизны такие светодиоды привлекают внимание потребителей, но при этом качество систем, построенных на дешевых комплектующих, остается крайне низким. В связи с этим разработчик должен выбрать продукцию тех производителей, которые позволяют решить проблему «цена/качество» наиболее оптимальным способом. А для этого, в первую очередь, необходимо проанализировать ситуацию на рынке мощных светодиодов, сложившуюся на сегодня.

С коммерческой точки зрения важным является коэффициент стоимости одного люмена (\$/лм, для России — руб./лм). Такой коэффициент позволяет сделать расчет эффективности замены традиционных источников света в системах освещения на полупроводниковые. В 2005 г. этот коэффициент на мировом рынке светодиодов в среднем был 0,15 \$/лм, а в 2009 г. снизился до величины 0,02 \$/лм (в России на начало 2010 г. этот коэффициент в среднем составлял 0,7–0,8 руб./лм). Расчеты коэффициента стоимости для различных светодиодов представлены в таблице 6. Они базируются на ценах российских дистрибьюторов в апреле 2010 г.

Устройства управления светодиодами

Светодиоды привлекательны для систем освещения своей долговечностью. Их производители указывают гарантированный срок эксплуатации своей продукции в 50, а иногда даже 100 тыс. часов. Однако светодиод — это устройство, очень чувствительное к качеству питающего напряжения. Для максимального использования его ресурсов необходимо внимательно отнестись к системе подачи энергии. К тому же для программы энергосбережения очень важно, чтобы КПД схемы питания был как можно выше. В портативных приборах, где используются аккумуляторные батареи, эта проблема стоит еще острее. На бурный рост светотехнической продукции откликнулись многие фирмы, производящие драйверы для систем питания.

Отличительной особенностью источников питания, предназначенных для работы со светодиодами, является стабилизация выходного тока. Светодиодам с повышенной яркостью требуются номиналы 350, 700, 1000 и 1400 мА, поэтому для них выпускаются специализированные драйверы питания, обеспечивающие стабилизацию выходного тока в узких пределах. Можно подобрать драйвер, позволяющий обеспечить оптимальный режим работы светодиода в соответствии с его характеристиками.

Перед выбором драйвера светодиодов необходимо:

- определить выходное напряжение драйвера и/или выходной ток, а также полную мощность;

Таблица 6. Показатели стоимости

Производитель	Наименование светодиода	Стоимость, руб.	Руб./лм	Дистрибьютор
Nichia	NS6W183T	210	0,81	LedRise [17]
	NSPWR70CS-K1	38	0,25	
Philips Lumileds	LXK2-PWC4-0220	180	0,7	ПА «Контракт Электроника» [18]
OSRAM Opto	LUW W5AP-MYNY-4C8E	200	0,7	«Промэлектроника LedRise»
	LE UW E3B-PZQZ-FRJV	1600	1,43	
Seoul Semiconductor	Z-Power P4 W49180	200	0,84	TME [19] Mouser Electronics [20]
	Z-Power P7 W724C0	600	0,67	
	WZ10150	50	0,4	
Cree Lighting	XPGWHT-L1-0000-00H53	150	1,0	«КОМПЭЛ» [21]
	CLN6A-MKW-CH0K0133	40	0,5	
	CLN6A-WKW-CK0L0343	150	1,4	
	MPLZW-A1	2250	1,87	
Prolight Opto	PG1A-5DWS	317	1,27	«Политекс» [22]
	PF6N-15LVP-6SC	1000	1,22	
Edison Opto	EPBW-4E02	1057	1,06	НПК «Планар» [23]
	ENSW-10-1010-EB-1	5900	0,84	
LedEngin	LZ1-00CW03	160	0,53	Ledart [24]
	LZ1-00CW05	197	0,7	
	LZ4-00CW10	729	0,78	
	LZC-00CW40	1380	0,58	
	LZ4-00MC10	729	1,6	

- определить диапазон входного напряжения;
- уточнить диапазон рабочих температур и требования по защите от воздействий окружающей среды (ingress protection, IP).
- оценить требования к КПД, электробезопасности и электромагнитной совместимости, проверить эти параметры по фирменному описанию (datasheet) драйвера.

Среди производителей драйверов для мощных светодиодов следует отметить следующие компании:

- Texas Instruments (США);
- Recom (Германия);
- ADDtek (Тайвань);
- International Rectifier;
- LEDdynamics (США);
- National Semiconductor (США);
- Maxim (США);
- Peak Electronics (Германия).

Кроме того, такие компании, как Cree, Edison Opto Corporation, выпускают драйверы для собственных светодиодов. А продукция компании Advance (США), являющейся одним из подразделений Philips, рекомендована, в первую очередь, для использования совместно со светодиодами Luxeon (компании Philips Lumileds) и светодиодами других компаний, имеющими аналогичные требования к току и напряжению.

Оптические системы для полупроводниковых источников света

Перед различными осветительными системами стоят разные задачи. В случае освещения помещения необходимо иметь равномерно распределенный во все стороны световой поток, а для фар, прожекторов необходим узкий пучок. Разработчик электронной аппаратуры должен правильно подобрать оптику, чтобы тем самым более рационально распределить световой пучок, излучаемый светодиодами, в рамках стоящих задач.

Оптические системы делятся на два основных типа: отражательные и линзовые. Линзы и от-

ражатели позволяют создать различные диаграммы направленности светового потока в пространстве: узкие диаграммы (угол эффективного излучения, то есть угол, внутри которого распределено не менее 50% излучения, 5–20°); средние (20–50°); широкие (свыше 50°). Важным параметром оптических систем является собирающая способность. Этот параметр определяется отношением светового потока, прошедшего через угол эффективного излучения, к световому потоку, созданному светодиодом. Этот параметр у линзовой оптики меньше. И это необходимо учитывать при разработке осветительных систем.

Линзы позволяют получить излучение с различными типами распределения: Ламберта (Lambertian), «летучая мышь» (Batwing) с небольшими и с интенсивными боковыми лепестками (Side Emitting), а также с короткофокусным излучением (Narrow).

Среди производителей оптических систем для светодиодов выделяются следующие компании:

- Ledil (Финляндия). Эта компания производит линзы и отражатели для светодиодов Philips Lumileds, Seoul Semiconductor, OSRAM, Cree и др.
- Khatod Optoelectronic (Италия). Компания производит линзы и отражатели для светодиодов Nichia, Philips Lumileds, Seoul Semiconductor, OSRAM, Cree, Edison Opto.
- Carclo Technical Plastics (Великобритания). Производство линз, оптических систем и приборов, стекол для защитных шлемов. Компания Carclo выпускает линзы для суперярких светодиодов Philips Lumileds, Seoul Semiconductor, Cree, Nichia.
- Fraen SRL (Италия). Эта компания производит отражатели для светодиодов Cree (X-Lamp), OSRAM, Seoul Semiconductor (для светодиодов линейки Z-Power).

Заключение

По данным исследовательской компании Global Industry Analysts, объем мирового

рынка общего освещения оценивается в \$40 млрд с ростом 4–5% в год. По данным этой компании, к 2016 г. 30% рынка будет занято светодиодными осветительными системами. От их внедрения в ведущие страны мира экономия может составить триллионы долларов в течение ближайших 10 лет [4]. Светодиодный сектор состоит из нескольких динамично развивающихся сегментов: проекционное телевидение, мобильные устройства, подсветка жидкокристаллических дисплеев.

Нет никаких сомнений, что будущее за осветительными системами на основе светодиодов. Разработчикам необходимо внимательно следить за новинками ведущих производителей, но при создании новых систем освещения комплексно выбирать наиболее эффективные комплектующие, то есть к светодиодам сразу же подбирать теплоотводящую плату, драйверы питания, оптику. Только в этом случае осветительная система реально получится наиболее экономичной.

Сегодня просматриваются следующие тенденции развития мощных светодиодов:

- улучшение технологии эпитаксии InGaN (рост эффективности кристаллов более 1 мм²);
- конструирование более эффективных контактных систем (снижение потерь с ростом плотности тока на кристалле);
- дальнейшее развитие многокристалльных светодиодов;
- улучшение технологии нанесения люминофора (повышение однородности цветовых характеристик при рассеивании света);
- разработка новых типов эффективных корпусов (снижение теплового сопротивления и минимизация потерь вывода света);
- дальнейшее снижение себестоимости технологий производства.

Динамично развивается рынок световых панелей — это вывески, рекламы, бегущие строки, набираемые из светодиодов. Можно предположить, что в ближайшее время появятся тонкие светодиодные пленки, которые еще более эффективно заменят большие телевизионные экраны.

Основным недостатком светодиодных источников света по сравнению с другими была и остается высокая цена. Но внедрение новых технологий систематически приводит к снижению себестоимости производства светодиодов.

И в заключение остановимся на основных преимуществах светодиодных источников света:

- высокая (по сравнению с другими источниками света) долговечность (большой ресурс 100 000 часов непрерывной работы);
- низкая (при сохранении такого же уровня освещенности, как у других источников света) энергоемкость;
- экологическая безопасность (при производстве не используются инертные газы и тяжелые металлы);
- уверенная работа при перепадах напряжения в сети;
- диапазон рабочих температур —50...+85 °С.

Литература

1. http://www.cree.com/press/press_detail.asp?i=1265232091259.
2. http://www.cree.com/press/press_detail.asp?i=1271079100891.
3. Феопентов А. В. Световая отдача современных мощных экспериментальных светодиодов и эффективность синезлучающих чипов. <http://u987.netangels.ru/reviews/papers/modernefficiency/comments/add>.
4. <http://www.membrana.ru/articles/global/2008/12/19/195400>.
5. <http://www.nichia.com>.
6. <http://www.philipslumileds.com>.
7. http://www.osram-os.com/osram_os/EN/Products/index.html.
8. <http://www.seoulsemicon.com/en>.
9. <http://www.seoulsemicon.com/en/prCenter/news/view.asp?seq=93&queryString=>.
10. <http://www.acriche.com/en/>.
11. <http://www.cree.com>.
12. <http://catalog.compel.ru/search?q=XPCWHT-L1-0000-00A03>.
13. <http://www.cree.com/products/pdf/XLamp7090XR-E.pdf>.
14. <http://www.prolightopto.com>.
15. <http://www.edison-opto.com.tw>.
16. <http://www.ledengin.com>.
17. <http://www.ledrise.com>.
18. <http://led.contrel.ru>.
19. <http://www.tme.eu/ru>.
20. <http://ru.mouser.com>.
21. <http://catalog.compel.ru/brand/CREE>.
22. <http://www.radiodetali.com/index.shtml>.
23. <http://www.planar.spb.ru/products.php?section=A1B1C2>.
24. <http://www.ledart.ru>.