

Мощные светодиоды компании Cree

М. Червинский¹

УДК 621.383 | ВАК 05.27.00

Основными направлениями деятельности компании Cree Inc. (основана в 1987 году в штате Северная Каролина, США) остаются разработка и производство полупроводниковых источников света. С начала 1990-х годов Cree проводит интенсивные исследования в области светоизлучающих структур нитрида галлия и твердых растворов на его основе. Благодаря уникальным технологиям производства полупроводниковых материалов продукция Cree отличается высокими электрическими характеристиками и надежностью.

Сферы применения светодиодов Cree: внутреннее и наружное освещение, подсветка архитектурных элементов и ландшафтов, декоративная подсветка помещений, портативные источники света, информационные панели и наружная реклама, фары и прожекторы, автомобильные фонари и сигналы, подсветка приборных панелей и торгового оборудования.

Быстрое развитие светодиодных технологий привело к значительным изменениям на мировом рынке светотехники: доля светотехнической продукции, изготовленной по традиционным технологиям, стремительно уменьшается, а современной светотехнической продукции – увеличивается.

Решения, использующие твердотельные источники света, многократно превосходят традиционные осветительные приборы благодаря следующим неоспоримым преимуществам:

- обеспечивают большую светоотдачу при малых габаритах;
- потребление энергии уменьшается более чем на 90% (по сравнению с лампами накаливания);
- высокая устойчивость к механическим воздействиям, отсутствие элементов с высокой температурой (выше 150 °C);
- высокая надежность: в предельных режимах время работы современных серий светодиодов XLamp превышает 100 тыс. ч (по критерию L70 – деградация светового потока до уровня в 70% начального);
- широкая цветовая гамма и квазикогерентное излучение;
- отсутствие токсичных веществ, таких как ртуть и свинец.

Источники света на основе светодиодов Cree XLamp – это высокоэффективная альтернатива традиционным методам освещения, использующим лампы накаливания. Они обеспечивают на три порядка больший ресурс работы, более низкие затраты обслуживания и высокую экономичность.

Динамика развития мощных светодиодов, выпускаемых компанией Cree Inc., показана на рис. 1, а основные параметры светодиодов представлены в табл. 1.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПЛАТФОРМА SC5

Еще в начале 1990-х годов компания приступила к интенсивным исследованиям в области светоизлучающих структур нитрида галлия (GaN) и твердых растворов на его основе на подложках из карбида кремния (SiC). Благодаря разработанным Cree Inc. уникальным технологиям производства полупроводниковых материалов на SiC-подложке продукция компании отличается высокой надежностью и недостижимыми для конкурентов электрическими характеристиками.

Следует отметить, что появление на рынке нового поколения светодиодов на SiC-подложках открыло целое направление разработки устройств для освещения и подсветки на твердотельных источниках света.

Совершенствование технологии производства компонентов светодиодов (излучающих кристаллов, люминофорного покрытия кристалла, оптики, корпусов из специальной керамики и методов их установки на эвтектическую основу) существенно повысило надежность, энергетический выход излучения и коэффициент полезного использования светового потока.

В этих светодиодах (на основе SiC) стал возможен монтаж с применением эвтектического сплава, проводимость которого значительно выше проводимости токопроводящего эпоксидного. В результате обеспечиваются максимальный отвод тепла от р-п-перехода и меньшее тепловое сопротивление «р-п-переход – корпус». Применение этой технологии при производстве кристаллов больших размеров позволило достичь оптимального соотношения светового потока к мощности.

Развитием технологии «структуры нитрида галлия на карбиде кремния» стала технологическая платформа SC3. В апреле 2012 года компания Cree начала выпускать светодиоды с использованием возможностей этой технологической платформы. Дальнейшее развитие и совершенствование

¹ Cree Inc., инженер по применению, mchervinsky@cree.com.

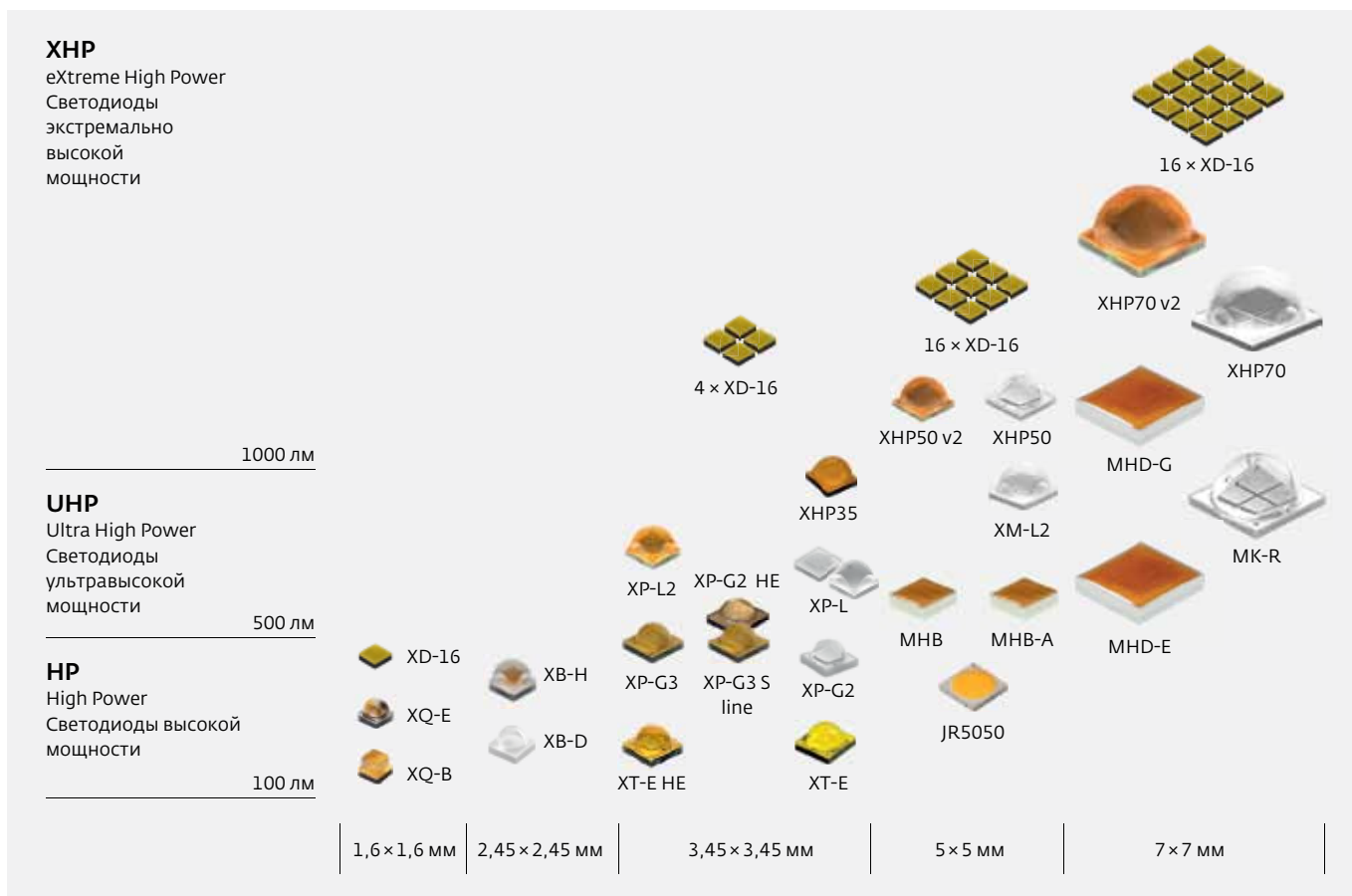


Рис. 1. Позиционирование мощных светодиодов по мощности, технологической платформе и размерам

технологии SC3 привело к появлению технологической платформы SC5 (компания Cree анонсировала технологию в феврале 2016-го). Технология SC5 базируется на передовых достижениях компании в области процессов эпитаксиального выращивания гетероструктур GaN и его твердых растворов, при этом достигается минимальная плотность дефектов кристалла, появляется возможность его надежной эксплуатации в агрессивных режимах. Данная технология обеспечивает новые высокие уровни плотности мощности кристаллов, повышенные температуры эксплуатации и оптимальное соотношение «стоимость – эффективность» для светодиодных источников света.

Основу технологической платформы SC5 составляют:

- усовершенствованный технологический процесс эпитаксиального выращивания структур в целях повышения внутреннего квантового выхода;
- разработка конструкции кристалла для уменьшения теплового сопротивления, повышения не только эффективности выхода излучения, но и внешнего квантового выхода излучения при повышенной рабочей температуре р-п-перехода;
- улучшение параметров корпуса, особенно его оптической системы. Большое внимание было уделено

оптимизации формы линзы для лучшего вывода излучения, стабильности оптических характеристик при продолжительной работе в условиях повышенной температуры, а также обеспечения интенсивности и однородности свечения.

МОЩНЫЕ СВЕТОДИОДЫ XLamp XHP

В рамках технологической платформы SC5 компания Cree вывела на рынок светодиоды серии XLamp XHP, принадлежащие к классам светодиодов экстремально высокой мощности (XHP – Extreme High Power). Цифровой код после названия семейства в наименовании новых светодиодов обозначает размер корпуса (XHP35 – 3,45×3,45 мм, XHP50 – 5,0×5,0 мм, XHP70 – 7,0×7,0 мм).

Выполненные на технологической платформе SC5 светодиоды XHP отличаются удвоенной светоотдачей, улучшенными характеристиками в части насыщенности цвета и гибкости конструкции.

Изготовители светотехники, использующие светодиоды XHP, смогут радикально уменьшить размеры и стоимость изделий (до 40%), обеспечив тот же уровень яркости при меньшем количестве светодиодов и большей надежности. Светодиоды XHP дают возможность создавать

Таблица 1. Основные параметры мощных светодиодов компании Cree

Модель	Размер, мм	Мощность макс., Вт	Световой поток макс., лм	Достижимая эффективность, лм/Вт	Ток макс., А	Угол зрения, градус
XQ-B	1,6×1,6	1	103	147	0,3	140
XQ-E		3	334	128	1	110
XQ-E HI		3	334	128	1	120
XQ-E Torch		3	280	89	1,1	100
XB-D	2,45×2,45	3	309	128	1	115
XB-H		5	550	148	1,5	110
XT-E	3,45×3,45	5	629	178	1,5	115
XB-E High Voltage		3,5 (48 В)	357	146	0,066 (48 В)	115
XP-G2		5	586	176	1,5	115
XP-L		10	1150	161	3	125
XP-L HI		10	1095	136	3	115
XHP35 (SC5)		13	1833	172	1,05	125
XHP35 HI (SC5)		13	1483	139	1,05	125 130
XM-L2	5×5	10	1052	170	3	125
XM-L2 Easy White		13	1116	113	2 (6 В) 1 (12 В)	115
XHP50 (SC5)		19	2546	149	3 (6 В) 1,5 (12 В)	120
MHD-E		13	1807	143	1,4 (9 В) 0,7 (18 В) 0,35 (36 В)	115
MK-R		15	1769	147	2,5 (6 В) 1,25 (12 В)	120
MHD-G		19	2545	134	1,0 (18 В) 0,5 (36 В)	115
XHP70 (SC5)		32	4022	150	4,8 (6 В) 2,4 (12 В)	120

Примечание. Температура перехода (максимальная) для всех светодиодов 150 °С.

конструкции осветительных приборов, при этом уменьшаются количество оптических компонентов, размеры печатной платы и корпуса, а также число сборочных операций. Для светодиодов XHP, несмотря на более высокие по сравнению с приборами предыдущих поколений рабочие температуры и токи, характерен больший срок службы, что позволяет производителям минимизировать размеры

теплоотводов и стоимость конечных изделий без ущерба для их долговечности.

Кроме того, в XHP заложен дополнительный резерв снижения себестоимости на системном уровне, недостижимый для светодиодов других конструкций. Например, при использовании светодиодов XHP для освещения автострад и улиц приборы не только обеспечат снижение стоимости

светильников, но и позволят значительно снизить их размеры и вес. Столь же ощутимую экономию средств по сравнению с иными решениями можно получить и во множестве других светотехнических приложений, включая беговые дорожки, стадионы и подвесные светильники.

Светодиоды XLamp XHP50 и XHP70 вновь преодолевают отраслевые барьеры пределов плотности светового потока, отдавая 2546 лм при мощности 19 Вт в корпусе 5,0×5,0 мм и до 4022 лм – при 32 Вт в корпусе 7,0×7,0 мм соответственно (табл. 1). За счет усовершенствования процесса преобразования света Cree удалось снизить разброс колориметрических характеристик и наряду с другими опциями предложить светодиоды XHP, имеющие после прохождения двух- и трехступенчатой разбраковки цветовую температуру от 3500 до 2700 К с индексами цветопередачи 80 и 90. Светодиоды XHP выпускаются в новых корпусах, что предоставляет производителям возможность выбора между 6- и 12-вольтовыми конфигурациями одних и тех же приборов благодаря изменению топологии контактных площадок печатной платы.

СВЕТОДИОДЫ СЕРИИ XLamp XHP35

Светодиод XHP35 представлен двумя вариантами конструкции, фактически разными сериями:

- XHP35 HD (High Density) – стандартное исполнение с куполообразной линзой, оптимизирован для получения максимального светового потока;

Таблица 2. Светоотдача светодиодов платформы XHP

Наименование	Размер корпуса, мм	Максимальный световой поток
XHP 35	3,45 × 3,45	До 1 833 лм при 13 Вт
XHP 35 HI	3,45 × 3,45	До 1 483 лм при 13 Вт
XHP 50	5 × 5	До 2 546 лм при 19 Вт
XHP 70	7 × 7	До 4 022 лм при 32 Вт

- XHP35 HI (High Intensity) – версия без стандартной куполообразной линзы, обеспечивающая лучшую силу света при работе со вторичной оптикой в проектах, требующих узкой однонаправленной КСС. В отличие от других светодиодов линейки XHP серия XHP35 предусматривает один кристалл с четырьмя активными областями и типовым падением напряжения 11–12 В. При этом яркость источника света достаточно равномерна, так как в конструкции светодиода нет зазора между кристаллами, что обеспечивает отличную фокусировку и исключает нежелательные артефакты в распределении света при работе с вторичной оптикой.

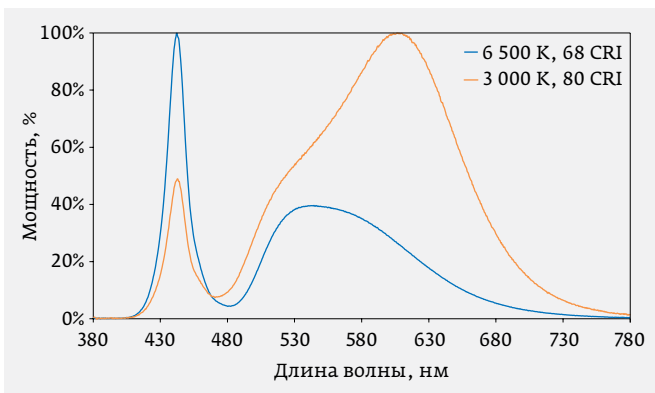


Рис. 2. Спектральное распределение мощности

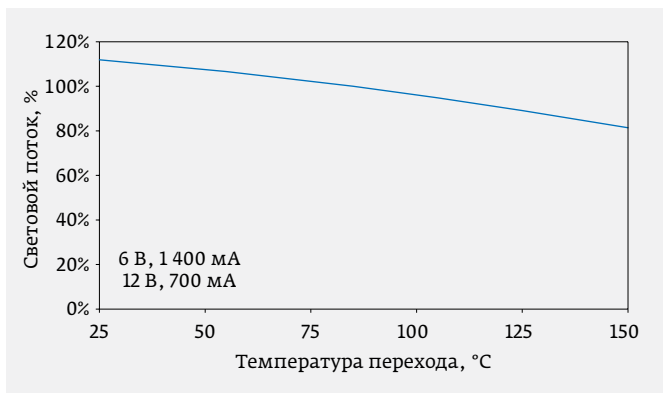


Рис. 3. Зависимость светового потока от температуры перехода

СВЕТОДИОДЫ СЕРИИ XLamp XHP50

Серия XHP50 по уровню производительности занимает промежуточную позицию между XHP35 и XHP70. В корпусе светодиода расположены четыре кристалла, их максимальный ток 1,5 А. Размер подложки данного светодиода – 5 × 5 мм.

Как и большая часть серий XLamp, XHP50 работают в диапазоне коррелированных цветовых температур (КЦТ) 2 700–6 500 К. При этом расширен диапазон доступных комбинаций КЦТ и индекса CRI.

Важное преимущество для разработчиков – унифицированная система биннинга многокристальных светодиодов EasyWhite позволяет заказывать светодиоды по целевой цветовой температуре с необходимой повторяемостью цвета в пределах 2, 3 или 5 шагов Мак-Адама. XHP50 сохранили типичные для большей части дискретных серий XLamp форму и угол светораспределения (120°).

Характерной особенностью серии XHP является возможность универсального подключения для рабочего напряжения 12 и 6 В путем изменения топологии посадочного места на печатной плате. Таким образом, в зависимости от типа подключения номинальное (максимальное) значение тока для данной серии составляет 1400 мА (3000 мА) и 700 мА

(1500 мА) соответственно для 6 и 12 В. Показатель светового потока XHP50 может достигать 2100 лм при максимальной мощности 18 Вт и температуре активной области (p-n-перехода) 85 °C. Такой уровень светового потока, учитывая относительно небольшие для четырехкристального светодиода размеры корпуса, можно получить только при очень хороших тепловых характеристиках, которые заложены в технологическую платформу SC5.

В отношении светодиодов серии XHP50 можно отметить достаточно низкое тепловое сопротивление между кристаллом и нижней точкой подложки (точкой пайки) – всего 1,2 °C/Вт. Типовые зависимости (мощности от длины волны, светового потока от температуры перехода, тока от напряжения) приведены на рис. 2–5.

СВЕТОДИОДЫ СЕРИИ XLamp XHP70

Серия XHP70 заимствует многие параметры конструкции XHP50, являясь, по сути, масштабированной копией. На корпусе размером 7 × 7 мм расположены четыре кристалла размером 2 × 2 мм. Система биннинга, форма светораспределения и тип подключения с двумя

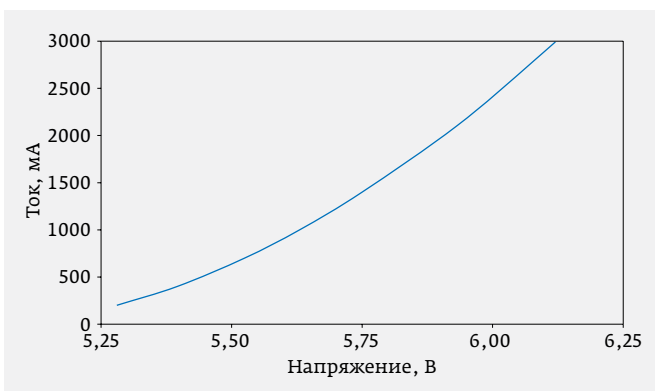


Рис. 4. Зависимость тока от напряжения. Рабочее напряжение 6 В

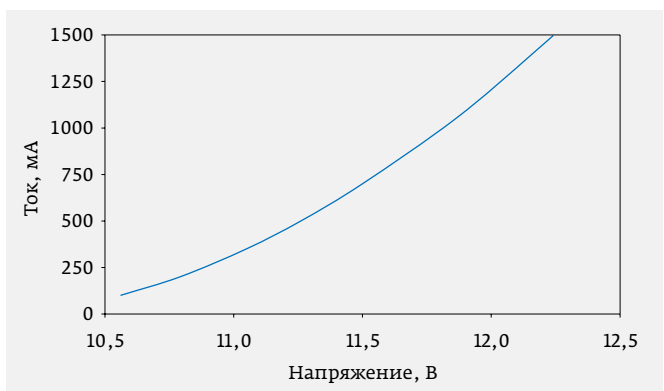






Рис. 5. Зависимость тока от напряжения. Рабочее напряжение 12 В

Таблица 3. Основные параметры светодиодов серии J

Светодиод	Ток, мА	Напряжение, В	4000К, 70 CRI		3000К, 80 CRI		Максимальный ток	
			Световой поток, лм	Эффективность, лм/Вт	Световой поток, лм	Эффективность, лм/Вт		
	JE2835 3V	150	3,0	73	162	64	142	240
	JE2835 6V	150	6,2	145	156	128	138	200
	JB3030 3V	65	2,8	35,5	195	32	176	240
	JK3030 3V	350	3,2	156	139	139	124	400
	JK3030 6V	150	6,0	152	169	138	153	200
	JK5630 3V	65	2,8	36,6	201	32,3	178	240
	JQ5050 9V	400	9,3	565	152	515	139	480
	JR5050 12V	400	13,0	765	147	665	128	480
	JR5050 24V	200	26,0					240
	JR5050 36V	150	36,5	880	156	770	137	200

опциями по напряжению для серии ХНР70 аналогичны серии ХНР50. Номинальное (максимальное) значение тока в зависимости от типа подключения составляет 2100 мА (4800 мА) и 1050 мА (2400 мА) соответственно для 6 и 12 В. Как уже отмечалось, значение светового потока ХН350 может достигать 3500 лм при максимальной мощности 30,5 Вт и температуре активной области (р-п-перехода) 85 °С.

Как и в случае с серией ХНР50, достижение максимальных показателей светового потока серии ХНР70 возможно только при высоких тепловых характеристиках, которые обеспечивает технологическая платформа SC5. Так, тепловое сопротивление корпуса данного типа СД составляет всего 0,9 °С/Вт, а первый пакет данных испытаний светодиода по стандарту LM-80 подтверждает срок службы свыше 35 тыс. ч по критерию L90 для тока 3 А (6 В) при температуре 105 °С.

Следует подчеркнуть, что основная идея разработки новых продуктов – не просто демонстрация технологических возможностей компании Cree в виде высокого уровня мощности и надежности, определяющего новый класс светодиодов в индустрии освещения.

Увеличение светового потока при повышенной температуре и достаточно небольших размерах корпуса позволяет существенно уменьшить число светодиодов в изделии. При грамотном применении вторичной оптики, оптимизации топологии печатной платы, использовании радиатора меньшего размера можно обеспечить существенное снижение стоимости новых решений.

НОВЫЙ СВЕТОДИОД ХНР35.2

Светодиод ХНР35.2 представляет новое поколение светодиодов экстремально высокой мощности в стандартном XP совместимом корпусе. По сравнению с предшествующим поколением ХНР35.2 устройство отличается улучшенной ВАХ, более высокой эффективностью, надежностью и стабильностью параметров. Совместимость с широким парком вторичной оптики позволяет упростить разработку новых светильников. Светодиод будет выпущен в конце 2018 года. Оптические, электрические характеристики светодиодов ХНР35.2 и ХНР35 схожи. Максимальный ток – 1050 мА, типичное напряжение (при токе 350 мА и температуре перехода 85 °С) – 11,3 (ХНР35) и 11,2 (ХНР35.2). Динамика изменения тока от напряжения для светодиодов ХНР35.2 и ХНР35 представлена на рис. 6.

СВЕТОДИОДЫ ПОВЫШЕННОЙ ЯРКОСТИ СЕРИИ J

В 2017–2018 годах компания Cree представила новые версии J серии светодиодов повышенной яркости – J 5050, J 3030, J 2835, которые обеспечивают уровень эффективности 211 лм/Вт в режиме 0,1 Вт. Дополнительные их преимущества – высокий уровень повторяемости цвета (до 3 шагов Мак-Адама), надежность, подтвержденная протоколами LM-80, широкий диапазон опций КЦТ и индекса цветопередачи.

Параметры светодиодов серии J представлены в табл. 3, а на рис. 7 устройства распределены по мощности, световому потоку и по размерам излучающей поверхности.

По мощности светодиоды серии J можно разделить на три группы:

- мощность 0,5–0,7 Вт – светодиоды JE2835 3V, JB3030 3V, JK5630 3V;
- мощность 1,0–1,2 Вт – светодиоды JK 2835 9V, JK 2835 18V, JK3030 6V, JE2835 6V, JK3030 3V;
- мощность более 2 Вт – JR5050 36V, JR5050 12V, JR5050 24V, JQ5050 9V.

ПРОБЛЕМА ОТВОДА ТЕПЛА В МОЩНЫХ СВЕТОДИОДАХ

Необходимость быстрого и эффективного отвода тепла – одна из основных проблем, свойственных этим устройствам. Кристалл светодиода при работе сильно нагревается, а по мере повышения температуры кристалла ухудшаются световые характеристики диода, сокращается срок службы и уменьшается надежность.

В отличие от обычных ламп накаливания, светодиоды не излучают тепло в окружающее пространство, а проводят его в направлении от р-п-перехода к теплоотводу в корпусе светодиода (обычно вывод светодиода или специальная металлическая пластинка). Поэтому процесс отвода тепла более сложный и специфичный. Путь отвода тепла состоит из множества тепловых сопротивлений:

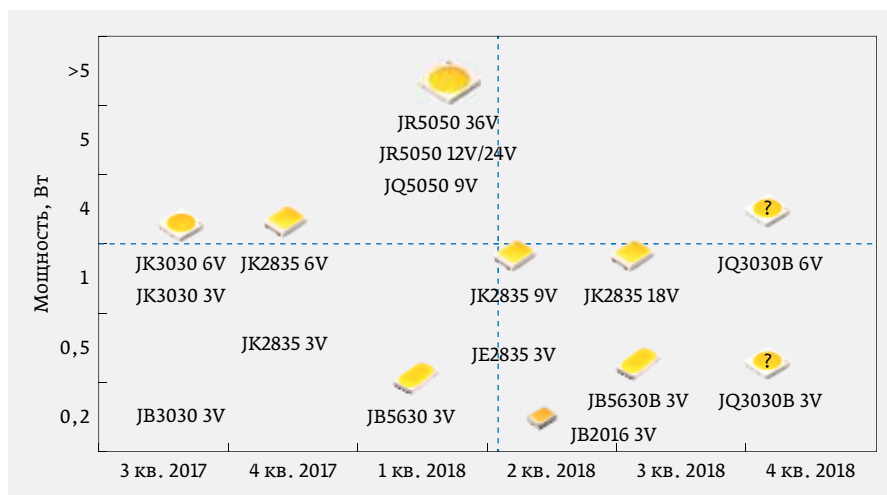


Рис. 7. Распределение светодиодов повышенной яркости по мощности и времени презентации на рынке

«р-п-переход – теплоотвод корпуса», «теплоотвод корпуса – печатная плата», «печатная плата – радиатор», «радиатор – окружающая среда».

По данным исследований, примерно 65–85% электроэнергии при работе светодиода преобразуется в тепло. Однако при соблюдении рекомендованных производителем светодиодов тепловых режимов срок службы



Рис. 8. Печатные платы Rusalox для светодиодов класса ХНР

устройства может достигать десяти лет. Но в случае нарушения теплового режима (обычно это работа с температурой перехода более $120...125^\circ\text{C}$) срок службы светодиода может сократиться в десять раз! Повышение температуры перехода, кроме того, приводит к снижению яркости свечения и смещению рабочей длины волны. Также полимер, из которого изготовлен корпус светодиода, нельзя нагревать выше определенного предела, поскольку из-за разности коэффициентов линейного расширения деталей светодиода (контактов, рамки, кристалла, материала линзы) возможен отрыв контактного соединения. Поэтому важно правильно рассчитать тепловой режим и по возможности максимально рассеивать выделяемое светодиодом тепло.

При выборе светодиодов мощностью менее $0,5 \text{ Вт}$ вполне приемлем их монтаж на обычные печатные платы из текстолита марки FR-4. Однако в случае рассеивания более высоких мощностей могут потребоваться специальные печатные платы с металлическим основанием и слоем диэлектрика, улучшенной теплопроводностью.

Высокая теплопроводность, которую обеспечивает алюминиевое основание платы, позволяет быстро отводить тепло от мощных и ультраярких светодиодов, применяемых в светодиодных линейках и лампах. Это способствует увеличению срока службы и уменьшению вероятности отказа готового изделия.

При повышении мощности светодиода более 2 Вт компания Cree применяет печатные платы Rusalox (рис. 8), изготавливаемые ООО «РУСАЛОКС», высокотехнологичным разработчиком и производителем печатных плат, подложек и модулей, которые отличаются высокой теплопроводностью. Ядром технологического процесса изготовления алюмооксидных печатных плат являются процессы оксидирования алюминия и напыления с последующим гальваническим наращиванием медного слоя, что и определяет преимущества алюмооксидных печатных плат при обеспечении теплоотвода и решении конструкторских задач. Проводимость алюмооксидного материала составляет 120 Вт/мК , а металлической печатной платы МСРСВ (metal core printed circuit board) – примерно $1\text{--}2 \text{ Вт/мК}$.

* * *

В статье рассмотрены технология SC5, характеристики мощных светодиодов серий ХНР и J. Материалы о мощных светодиодах компании Cree других серий будут опубликованы в следующих номерах журнала.

ЛИТЕРАТУРА

- Chervinsky M. LED components training. 2018.
- Chervinsky M. Cree. SC5 desing ideas – way to improve LED system cost. September. 2016.
- Date Sheet. Cree XLamp XHP 35, XHP 50, XHP 70.