

Андрей Туркин | turkin@prosoft.ru | Юрий Дорожкин | yuri_dorozhkin@cree.com

Новое поколение мощных светодиодов Cree: особенности, преимущества, перспективы

Компания Cree, вышедшая на рынок мощных светодиодов в начале этого века, быстро заняла лидирующие позиции и продолжает оставаться крупнейшим в мире производителем светодиодной продукции для освещения, регулярно совершенствуя и повышая ее характеристики. В статье представлен обзор нового поколения мощных полупроводниковых светодиодов этой компании.

Введение

В настоящее время применение светодиодных осветительных приборов стремительно растет. Этому способствует развитие технологии производства светодиодов, особенно так называемых мощных, которые могут использоваться в качестве источников света для светотехнических изделий (Lighting Class LED). Впервые светодиод такого класса — Luxeon I — был выпущен компанией Lumileds в 2003 г. [1–3]. Его световой поток составлял более 25 лм, а световая отдача превышала 20 лм/Вт. Светодиоды Luxeon I сразу превзошли почти в два раза по световой отдаче лампы накаливания, что позволило начать говорить

о светодиодах как о новых и эффективных источниках света.

Выпуск Cree во второй половине 2006 г. серии мощных светодиодов XLamp XR-E в холодном белом диапазоне (цветовая температура 5000–10 000 К) [4, 5] стал своеобразным прорывом, так как световой поток данных светодиодов достигал значения 100 лм при токе 350 мА. Так был преодолен первый психологический рубеж — 100 лм. Отметим, что до начала 2000-х годов компания не занималась разработкой и производством собственных корпусированных светодиодов.

Развитие технологии разработки и производства мощных светодиодов продолжается и по сей день: серийно выпускаемые светодиоды уже

имеют световую отдачу до 160 лм/Вт. Мощные светодиоды в последнее время рассматриваются как одни из основных источников света для светотехнических изделий ближайшего будущего, и этот процесс не обойдется без деятельного участия Cree.

История светодиодов Cree

Cree была основана в 1987 г. выпускниками университета Северной Каролины (США) (рис. 1 а, б) как производитель полупроводниковых материалов на основе карбида кремния (SiC) для электронной промышленности. Американские исследователи взяли за основу открытый ранее советскими учеными «метод ЛЭТИ» — наиболее успешный из известных в мире методов выращивания кристаллов карбида кремния. Первая продукция Cree начала продаваться на рынке в 1989 г. Это были светодиодные кристаллы синего цвета свечения, полученные путем выращивания эпитаксиальных структур на основе SiC на подложке SiC. Эффективность первых синих светодиодов была невысока.

В начале 90-х годов с развитием технологии выращивания гетероструктур на основе нитрида галлия (GaN) и его твердых растворов специалисты компании Cree, вслед за японскими и европейскими коллегами, начали вести активную работу в данном направлении. При этом отличие технологии, развиваемой Cree, состояло в том, что ее специалисты стали использовать для эпитаксиального выращивания GaN подложки из карбида кремния, тогда как большинство других производителей использовали подложки из сапфира. Уже не раз отмечалось, что технология выращивания GaN на SiC обладает рядом принципиальных преимуществ перед технологией InGaN на сапфире [4–7], связанных с лучшей теплопроводностью SiC по сравнению с сапфиром (3,8 Вт/см·К у SiC против 0,3 Вт/см·К у сапфира), лучшим по сравнению с сапфиром сродством кристаллической решетки SiC с базовым материалом GaN и т. д. Как следствие, применение указанной технологии упрощает решение проблемы отвода тепла от активной области кристалла — *p-n*-перехода, являющейся ключевой для кристаллов с токами более 100 мА, а также снижает концентрацию дефектов и дислокаций в структуре GaN, что позволяет



Рис. 1. Двое из шести основателей Cree, которые до сих пор работают в фирме: а) Джон Палмор (John Palmour); б) Джон Эдмонд (John Edmond)

повысить квантовый выход кристаллов [4–7]. Кроме того, SiC имеет более высокий коэффициент преломления, который лучше согласуется с GaN и таким образом повышает внешний квантовый выход. Примечательно, что Cree выращивает кристаллы карбида кремния на собственной фабрике, являясь, таким образом, полностью вертикально-интегрированным производителем светодиодов, в то время как другие производители кристаллов сапфировые подложки приобретают.

В 90-х годах к коллективу разработчиков Cree присоединились несколько ученых российской школы, обладающих большим опытом. Известно, что в 70–80-х гг. наиболее передовые исследования по SiC велись именно в Советском Союзе. Благодаря этому удалось снизить плотность дефектов и увеличить размеры кристаллов карбида кремния, тем самым увеличив качество подложки и эффективность выращиваемых на ней структур. Эта работа активно продолжается до сих пор: в настоящее время в серийном производстве на фабрике Cree продолжается переход с пластин диаметром 100 мм на рекордный для SiC размер 150 мм (что снижает стоимость кристаллов), и это не предел.

В первых мощных светодиодах XLamp XL7090, а затем и в следующей серии XR7090 компания Cree использовала кристаллы XB900 серии XBright (рис. 2) на основе гетероструктур InGaN/GaN, выращенные по указанной выше технологии на SiC-подложках. Данные кристаллы обладали описанными выше преимуществами по сравнению с аналогами, выращиваемыми на сапфировых подложках, типичное значение их внешнего квантового выхода составляло порядка 30–40%.



Рис. 2. Кристалл XB900 серии XBright

После выпуска первой серии мощных светодиодов XLamp XL7090 Cree впервые в массовом производстве светодиодов стала применять металлокерамический корпус, благодаря чему удалось получить электрически изолированное теплоотводящее основание, позволяющее упростить конструирование модулей на основе таких светодиодов. При эвтектической посадке кристалла на подобное основание снимается проблема механических напряжений, возникающих за счет большой разницы в температурных коэффициентах расширения при эксплуатации СД в широком диапазоне температур [4–7].

Дальнейшее усовершенствование корпуса светодиода в серии XLamp XR7090 позволило снизить тепловое сопротивление

«*p-n*-переход–теплоотводящее основание» до 8 °С/Вт [4–7].

Следующие серии светодиодов XR-E и XR-C изготавливались на основе нового поколения кристаллов EZBright EZ1000 (рис. 3) и EZ700 соответственно [4–7]. Рассмотрим более подробно технологические особенности данной серии кристаллов и проведем сравнение с технологией кристаллов XBright.

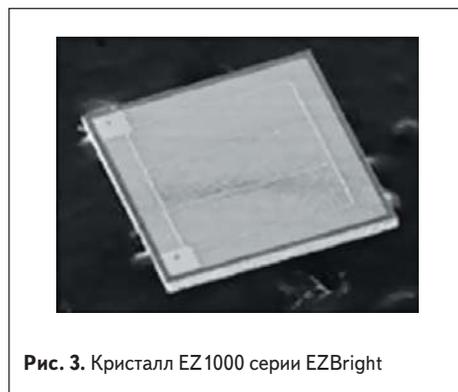


Рис. 3. Кристалл EZ1000 серии EZBright

Как уже неоднократно отмечалось, ключевой особенностью технологии компании Cree выращивания полупроводниковых структур на основе GaN является использование SiC-подложек. При производстве кристалла серии XBright и EZBright на SiC-подложке эпитаксиальными методами выращивается гетероструктура GaN с квантовыми ямами InGaN. Кристаллы такого типа монтируются подложкой вверх, что предусматривает близкое расположение активной области кристалла к месту его пайки и обеспечивает лучший отвод тепла от *p-n*-перехода. Поэтому далее, в процессе постростовой обработки, на поверхность структуры наносится зеркальный слой и металлизированный контакт. Затем при производстве кристаллов серии XBright пластину со структурой переворачивают, наносят на свободную сторону подложки верхние контакты, режут на кристаллы необходимого размера, и для улучшения вывода света и получения необходимой кривой светораспределения срезают под определенным углом края подложки, в результате чего кристалл приобретает форму усеченной пирамиды (рис. 2).

При производстве кристаллов серии EZBright, как уже отмечалось, технологию постростовой обработки усовершенствовали. В частности, для улучшения отвода тепла перевернутую структуру монтировали на основание из кремния (Si), а SiC-подложку частично снимали, далее на Si-основание наносили нижний металлический контакт, а на верхней грани кристалла с использованием специальной маски получали линзовую структуру для формирования кривой светораспределения, максимально близкой к распределению Ламберта (это позволяет упростить решение проблемы однородности нанесения люминофора на кристалл при производстве СД белого цвета свечения [4–7]). Затем на верхнюю грань наносили металлический контакт (рис. 3). На кристаллах данной серии применяется новая контактная система [4–7]: она имеет две контактные площадки для при-

варивания проводников и выполнена таким образом, чтобы минимизировать площадь контактов на поверхности кристалла. Это позволило увеличить площадь поверхности излучения до 90%, а параллельное соединение перемычек контактов катода дополнительно вдвое снизило потери проводимости при токах свыше 350 мА.

Такое усовершенствование технологии позволило получить увеличение квантового выхода у кристаллов серии EZBright в среднем примерно на 35–40%. Таким образом, типичное значение квантового выхода данных кристаллов достигло значений 40–55 % [4–7].

В результате удалось получить изделие, позволившее компании Cree выйти в лидеры среди производителей мощных светодиодов. Значение светового потока данного светодиода в диапазоне цветовых температур 5500–6500 К при токе 350 мА превышает 100 лм, а средняя потребляемая мощность в этом режиме составляет 1,07 Вт [4–7]. Отдельные приборы обеспечивают световой поток до 120 лм при 350 мА, а среднее значение световой отдачи превышало 90 лм/Вт [4–7].

В следующих сериях светодиодов XLamp XR-E и XR-C, запущенных в массовое производство во второй половине 2008 г., был существенно изменен корпус. Применение нового материала с большей теплопроводностью позволило существенно сократить размеры корпуса: его площадь была уменьшена почти в пять раз. При этом тепловое сопротивление практически не изменилось, для светодиода XR-E оно составляет 9 °С/Вт [6, 7]. Кроме того, новая конструкция силиконовой линзы, применяемая в светодиодах серии XR, позволяет уменьшить потери при выводе излучения из корпуса светодиода, что повышает средний световой поток светодиодов этой серии. Как следствие, выросла эффективность светодиодов: среднее значение светового потока в холодном белом диапазоне (5000–10 000 К) для XR-E составило 114 лм, а XR-C — 100 лм. Значение световой отдачи превысило 100 лм/Вт [6, 7].

Через год компания Cree расширила данную серию, выпустив мощные светодиоды XR-G. Величина светового потока в холодном белом диапазоне у светодиодов серии XR-G шагнула за 139 лм при токе 350 мА, световая отдача при этом превысила 132 лм/Вт при токе 350 мА [6,7].

В светодиодах XR-серий Cree продолжала использовать кристаллы EZBright, впервые использованные для серий XR-E и XR-C. Помимо кристаллов размером 1×1 и 0,7×0,7 мм, в серии XR-G был применен кристалл размером 1,4×1,4 мм, то есть повышение светового потока достигалось здесь не только за счет улучшения качества структуры, но и за счет увеличения площади кристалла, что позволило как снизить тепловое сопротивление светодиода («*p-n*-переход–теплоотводящее основание»), так и увеличить максимальный рабочий ток (у светодиода серии XR-G он составил 1,5 А).

В конце 2010 г. была выпущена новая серия светодиодов XM-L. Площадь применяемых кристаллов была еще увеличена (примерно до размеров 2×2 мм), это позволило повы-

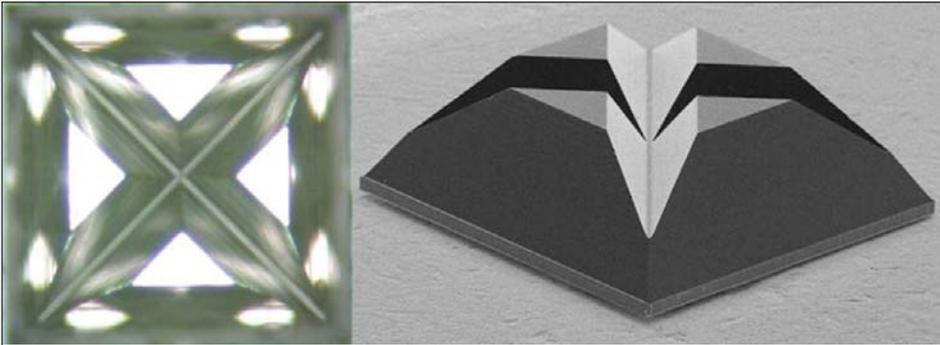


Рис. 4. Кристалл серии Direct Attach DA1000



Рис. 5. Светодиод Cree XLamp серии XT-E синего цвета свечения (XT-E ROY)

сией номинальный ток до 700 мА, при этом значение светового потока в холодном белом диапазоне составило 300 лм [8]. Увеличение площади применяемого кристалла повлекло за собой увеличение размеров корпуса (5×5 мм), но все вместе позволило существенно снизить значение теплового сопротивления «*p-n*-переход–теплоотводящее основание» до 2,5 °С/Вт [8].

Таким образом, потенциал существующего типа кристаллов в указанных сериях был использован практически полностью, и для дальнейшего прорыва требовалось разработать новое поколение.

На рубеже 2011–2012 гг. Cree объявила о прорыве в технологии производства светодиодов. По словам специалистов компании, этот прорыв может привести к полному переосмыслению светотехнической продукции, а также существенно повлиять на существующие представления о характеристиках и стоимости светодиодов.

Новые семейства мощных светодиодов — XT-E и XB-D

В конце 2011 г. была выпущена новая серия XB-D мощных светодиодов XLamp, а в самом начале 2012 г. — новая серия XT-E White. Производство этих светодиодов, по заявлению специалистов Cree, основано на новой технологической платформе SC³, содержащей четыре основных направления:

- использование технологии выращивания кристаллов на SiC-подложках для обеспечения высоких характеристик и надежности;
- доработка конструкции светодиодного кристалла (чипа) для увеличения квантового выхода синего излучения;
- использование нового люминофора с улучшенным квантовым выходом для увеличе-

ния интенсивности длинноволновой части спектра;

- доработка корпуса светодиода для улучшения тепловых характеристик и увеличения коэффициента вывода излучения.

В серии светодиодов XT-E используются новые кристаллы Direct Attach DA1000 (рис. 4), в серии XB-D — аналогичные кристаллы несколько меньшего размера. Они имеют ряд принципиальных отличий и впервые были использованы для серии синих светодиодов XT-E ROY (рис. 5), которую Cree выпустила в первой половине 2011 г.

Остановимся подробнее на технологических особенностях данной линейки кристаллов и проведем сравнение с предыдущими сериями — XBright и EZBright соответственно.

Технология производства кристаллов Direct Attach также предполагает использование SiC-подложек. На них эпитаксиальными методами выращивается, аналогично чипам предыдущих серий, полупроводниковая гетероструктура InGaN/GaN с множественными квантовыми ямами. Монтировать кристаллы серии Direct Attach также предполагается подложкой вверх, а в процессе постростовой обработки на поверхность структуры наносить зеркальный слой.

Новинкой в кристаллах серии Direct Attach является то, что при их монтаже не предусмотрена операция разварки верхнего контакта. Технологический процесс сборки светодиода с данным кристаллом предполагает эвтектическую посадку обоих контактов, расположенных снизу структуры. Для этого на зеркальный слой наносится дополнительный изолирующий слой, а затем металлизированные контакты, электрически соединенные со слоями *p*- и *n*-типа гетероструктуры через специальные проводящие каналы в изолирующем слое. Такая конструкция кристалла позволяет исключить операцию разварки контактов, что, во-первых,

позволяет уменьшить сопротивление светодиода, а во-вторых — снизить себестоимость изделия за счет сокращения операций в технологическом процессе сборки.

Технология постростовой обработки кристаллов Direct Attach существенно доработана. Структуру, как и в предыдущих случаях, переворачивают для монтажа подложкой вверх. От использования Si-основания, на которое монтировалась структура чипов EZBright, отказались, как и от снятия части SiC-подложки. Кристаллу данной серии снова придают форму усеченной пирамиды путем срезания под определенным углом краев подложки (рис. 4), но с учетом того, что верхняя грань подложки оказывается полностью открытой, т. е. площадь поверхности излучения увеличивается практически до 100%. На нее наносят определенную структуру с целью дополнительно увеличить коэффициент вывода излучения путем уменьшения количества лучей, остающихся внутри кристалла (рис. 4, 5). Подобная доработка позволила получить значения квантового выхода излучения кристаллов серии Direct Attach в диапазоне 45–65%.

Как уже говорилось, кристаллы Direct Attach были использованы компанией Cree в двух новых семействах светодиодов — XT-E (рис. 6 а–д) и XB-D (рис. 7). Рассмотрим их немного подробнее.

Светодиоды XT-E White выпускаются во всем диапазоне белого цвета, значения их светового потока при токе 350 мА превышают для холодного (5000–8300 К) и дневного (4000–6200 К) белого цвета значения 139 лм (бин R5), для естественного (3700–5000 К) белого цвета — 122 лм (бин R3), для теплого (2600–3700 К) белого — 107 лм (бин Q5) [9]. Существенно то, что характеристики светодиодов XT-E даются производителями при температуре

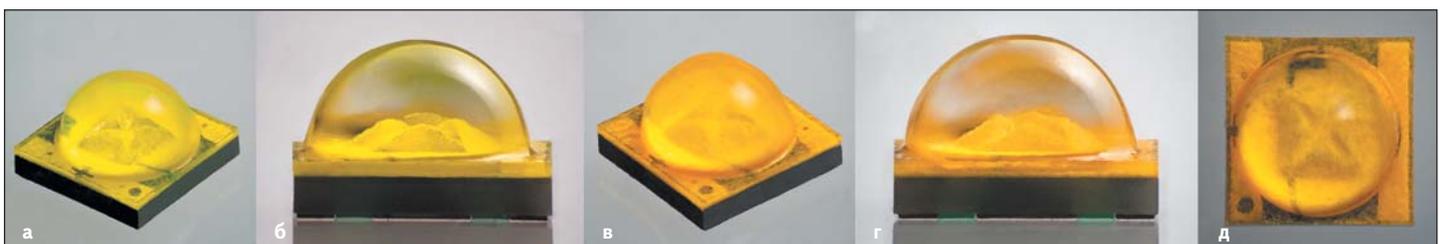


Рис. 6. Светодиод Cree XLamp серии XT-E белого цвета свечения (XT-E White): а) и б) холодного белого цвета; в), г) и д) теплого белого цвета

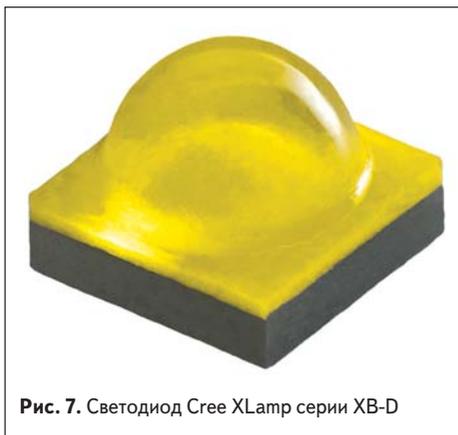


Рис. 7. Светодиод Cree XLamp серии XB-D

p - n -перехода $+85^\circ\text{C}$, а не при $+25^\circ\text{C}$, как для светодиодов большинства предыдущих серий. Температура p - n -перехода $+85^\circ\text{C}$ является ориентировочной рабочей для светодиодных изделий, поэтому разработчикам сразу становятся известны значения, на которые можно ориентироваться для оценки светового потока своих изделий. Световая отдача белых светодиодов серии ХТ-Е достигает в холодном белом цвете при прямом токе 350 мА и при температуре p - n -перехода $+85^\circ\text{C}$ значения 148 лм/Вт, а при температуре p - n -перехода $+25^\circ\text{C}$ это значение может составить до 162 лм/Вт. В теплом белом диапазоне светодиоды ХТ-Е при токе 350 мА и температуре p - n -перехода $+85^\circ\text{C}$ могут обеспечивать световую отдачу до 114 лм/Вт.

Поскольку светодиоды серии ХТ-Е изготавливаются на основании размером 3,45x3,45 мм (таком же, как и светодиоды семейств ХР-Е, ХР-С и ХР-Г), они могут быть установлены разработчиками в уже существующие изделия вместо светодиодов серий ХР, без каких-либо изменений и доработок, на существующие печатные платы, а также, в большинстве случаев, без изменения оптики. Это позволит производителям легко внести изменения в имеющуюся продукцию и сократить таким образом цикл разработки светодиодных приборов, а также оптимизировать время вывода нового изделия на рынок.

Светодиоды серии ХВ-Д также выпускаются во всем диапазоне белого цвета, значения их светового потока при токе 350 мА превышают для холодного (5000–8300 К) белого 130 лм (бин R4), для естественного (3700–5000 К) белого — 114 лм (бин R2), для теплого (2600–3700 К) белого — 100 лм (бин Q4) [10]. Характеристики светодиодов ХВ-Д даются производителями при температуре p - n -перехода $+85^\circ\text{C}$. Световая отдача данных светодиодов при токе 350 мА достигает 136 лм/Вт в диапазоне холодного белого и 105 лм/Вт в диапазоне теплого белого цвета.

Корпус светодиодов серии ХВ-Д имеет размеры 2,45x2,45 мм. Это самые маленькие размеры основания для данного класса — его площадь примерно на 48% меньше, чем у светодиодов XLamp ХР-серии. Применение корпуса меньшего размера позволяет снизить себестоимость данного типа светодиодов и, следовательно, себестоимость люмена. Снижение себестоимости

изделий возможно также и потому, что использование ХВ-Д позволяет уменьшить затраты на получение требуемого значения светового потока.

Данные светодиоды идеально подходят для применений, где требуется высокая яркость и компактные размеры источников света.

Новое поколение светодиодов серий ХР-Г и ХР-Е

Летом 2012 г. Cree представила новое поколение светодиодов XLamp серии ХР-Г — ХР-Г2 (рис. 8). Данные светодиоды имеют значение световой отдачи приблизительно на 20% выше, чем у светодиодов ХР-Г первого поколения, за счет применения технологии SC^3 . Более эффективные светодиоды ХР-Г2 позволяют производителям светодиодных устройств сохранить световой поток изделий и снизить их себестоимость и потребляемую мощность при использовании меньшего количества светодиодов, или существенно увеличить световой поток без изменения потребляемой мощности изделий при использовании прежнего количества светодиодов.

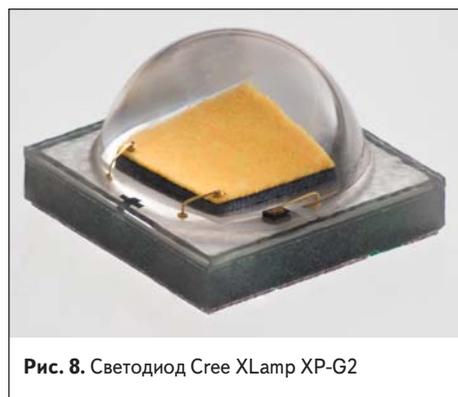


Рис. 8. Светодиод Cree XLamp ХР-Г2

Характеристики новых светодиодов, как и описанных выше ХТ-Е и ХВ-Д, определяются производителем при температуре p - n -перехода $+85^\circ\text{C}$. ХР-Г2 выпускаются в корпусе размерами 3,45x3,45 мм и по оптическим свойствам сравнимы со светодиодами ХР-Г, поскольку имеют очень близкий по размеру и форме кристалл, что позволяет переходить с ХР-Г на ХР-Г2 без изменения конструкции оптической системы даже при сложных и узких КСС. Светодиоды ХР-Г2 выпускаются во всем диапазоне белого цвета, значения их светового потока при токе 350 мА превышают для холодного (5000–8300 К) белого 139 лм (бин R5), для дневного (4000–6200 К) белого — 130 лм (бин R4), для естественного (3700–5000 К) и теплого (2600–3700 К) белого — 122 лм (бин R3) [11]. Значения их световой отдачи в холодном белом диапазоне достигают 151 лм/Вт при температуре p - n -перехода $+85^\circ\text{C}$ и 165 лм/Вт при $+25^\circ\text{C}$. В теплом белом диапазоне световая отдача ХР-Г2 достигает 133 лм/Вт при температуре p - n -перехода $+85^\circ\text{C}$ и 145 лм/Вт при $+25^\circ\text{C}$.

Осенью этого года начинается выпуск светодиодов ХР-Е2 (рис. 9). Их появление означает переход на новый тип технологии

кристаллов SC^3 в уже привычном корпусе ХР-Е, с соответствующим повышением световой отдачи на 15–20%. При этом максимально сохранены оптические свойства светодиода, в том числе старый размер первичной линзы, что позволяет использовать его в оптических системах, разрабатывавшихся для светодиодов ХР первого поколения. При этом прямая замена ХР-Е на ХР-Е2 позволяет повысить параметры светильника при сохранении его себестоимости, а прямая замена ХР-Г на ХР-Е2 снижает себестоимость системы при сохранении ее характеристик.

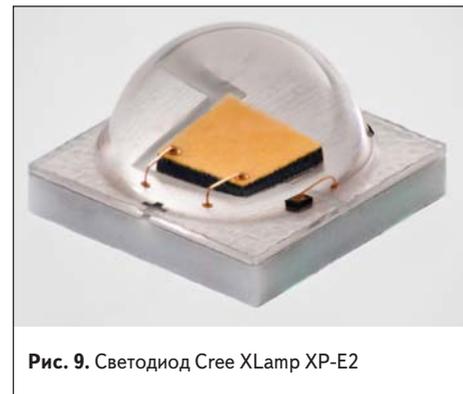


Рис. 9. Светодиод Cree XLamp ХР-Е2

Как выбрать оптимальный тип светодиодов?

С расширением номенклатуры светодиодов все чаще возникает вопрос, какие светодиоды лучше всего выбрать для применения в конкретном светильнике. Естественно, что прежде всего следует учитывать конструкцию изделия и требования к его характеристикам.

Для новых проектов наилучшим выбором являются, как правило, светодиоды ХВ-Д или ХТ-Е, поскольку они позволяют получить самую низкую стоимость люмена и, соответственно, самую низкую себестоимость светильника. При этом на относительно небольших токах (350–700 мА, реже до 1 А) экономически выгоднее использовать ХВ-Д, а на средних токах (500–1000 мА, реже до 1,5 А) — ХТ-Е. На больших токах (1,5–2 А, реже до 3 А) ХМ-Л позволяет получить высокий световой поток с однокристалльного светодиода. При выборе оптимального светодиода и режима его работы может быть полезна бесплатная программно-калькулятор PCT (Product Characterization Tool), доступная на сайте pct.cree.com (при первом посещении нужно зарегистрироваться) и содержащая зависимости всех основных параметров светодиодов от тока и температуры во всем рабочем диапазоне.

При переходе в существующей конструкции светильника со светодиодов семейства ХР на новые поколения возможны следующие варианты:

- Переход с ХР на ХВ-Д или ХТ-Е позволяет повысить световую отдачу светильника и/или снизить его стоимость, если существующая вторичная оптика дает требуемую КСС с новыми диодами. При этом ХТ-Е совместимы с ХР по посадочному месту на печатной плате. Если важна высокая световая отдача

светильника, то лучше результаты даст ХТ-Е. Если приоритетом является минимизация себестоимости изделия, то победителем часто выходит ХВ-D.

- Если имеющаяся вторичная оптика не дает удовлетворительных результатов с ХВ-D и ХТ-Е, тогда светодиоды ХР-Е2 и ХР-G2, имея значительно более близкие к традиционным ХР оптические модели (файлы с моделями для САПР в различных форматах опубликованы в разделе документации на сайте www.cree.com), как правило, являются эквивалентной заменой прежнему семейству светодиодов ХР. Переходя, например, с ХР-G на ХР-G2, мы повышаем световую отдачу, а переходя с ХР-G на более дешевые ХР-Е2, мы приблизительно сохраняем параметры изделия.

В обоих случаях речь идет о замене с сохранением существующей конструкции — количество светодиодов, драйвер (и, соответственно, ток питания) остаются неизменными, несущественно меняется и потребляемая мощность светильника.

Можно и по-другому реализовать переход на более эффективные светодиоды нового поколения — сократить количество светодиодов в светильнике (тем самым снизив его себестоимость), сохранив при этом технические параметры изделия. Например, использование светодиодов со световой отдачей на 15–20% выше прежних (именно такое повышение эффективности обеспечивает новое поколение кристаллов) позволяет увеличить ток через светодиод на 70–100% при той же световой отдаче, как и на меньших токах в прежней конструкции, и в такой же пропорции снизить количество светодиодов в системе при сохранении ее параметров. При этом каждый светодиод будет работать на большей мощности, чем раньше, но суммарная потребляемая мощность останется прежней (как и световая отдача светильника). Это значит, что прежняя конструкция радиатора будет так же справляться с отводом тепла от платы со светодиодами.

Новые поколения многокристалльных сборок и модулей

Переход на технологию SC³ позволил увеличить световую отдачу высоковольтных светодиодов ХМ-L HV и ХТ-Е HV, выпустить новое поколение МТ-G (МТ-G2), а также создать новое семейство модулей CoB (Chip-on-board) СХА1507, СХА1512, СХА2520 и СХА2530, обладающих рекордной световой отдачей и закрывающих диапазон мощностей от 5 до 50 Вт на модуль.

Подробный обзор этих приборов выходит за рамки данной статьи и заслуживает отдельной публикации.

Заключение

Достигнутые Cree показатели эффективности впервые позволили говорить о конкуренции светодиодов с большинством традиционных ламп. В феврале 2010 г. компания объявила о создании в лаборатории мощного светодиода белого цвета свечения со световой отдачей 208 лм/Вт. Это достижение можно считать вехой в светодиодной индустрии, так как до недавнего времени значение 200 лм/Вт считалось определенным психологическим и технологическим барьером. Значение 208 лм/Вт было получено для светодиода с цветовой температурой 4579 К, что соответствует области естественного белого цвета, при токе 350 мА при комнатной температуре. В 2011 г. данный параметр был увеличен до 231 лм/Вт при токе 350 мА, а в апреле этого года был достигнут результат 254 лм/Вт. Технологическим пределом до последнего времени считалась величина 250 лм/Вт, и теперь мировое академическое сообщество будет вынуждено снова пересмотреть его в сторону увеличения — так уже случалось неоднократно за последние годы, когда результаты, полученные в лаборатории Cree, приближались или превосходили

теоретически установленные максимумы для практического создания светоизлучающих гетероструктур.

Исследователи и разработчики Cree постоянно работают над улучшением оптических и электрических характеристик своей продукции, что наглядно иллюстрирует рис. 10.

Подводя итоги, следует отметить, что подробно описанные в данной статье белые светодиоды серии ХТ-Е имеют высокую световую отдачу и могут позволить получать наиболее выгодное на данный момент соотношение лм/Вт в готовом светодиодном изделии. Также применение данных светодиодов, имеющих соотношение лм/Вт лучше, чем светодиоды остальных серий, позволит сократить срок окупаемости изделий. Кроме того, применение белых светодиодов ХТ-Е может позволить существенно снизить себестоимость люмена готового изделия по сравнению с применением светодиодов Cree других серий, а также обеспечить и повысить эффективность их использования в промышленности.

Светодиоды серии ХВ-D, по предположениям производителей, обещают привести к прорыву в применении светодиодов в освещении, поскольку могут позволить получить наилучшую себестоимость люмена в готовом изделии за счет не только снижения затрат на светодиоды, но и экономии на сопутствующих затратах, например на печатные платы. Использование данных светодиодов может упростить разработку изделий, что позволит преодолеть основной барьер для повсеместного применения светодиодов в освещении — высокую полную стоимость осветительной системы.

Светодиоды компании Cree используются в осветительных системах, установленных на промышленных предприятиях в разных странах мира. Их применение гарантирует конечным потребителям достаточно быструю окупаемость вложений на светодиодные светильники. Появление белых светодиодов серии ХТ-Е позволяет Cree улучшить свои позиции на рынке мощных светодиодов за счет существенного снижения себестоимости световых характеристик для своих клиентов и упрочить позиции концепции развития светодиодного освещения. Для этого недостаточно только сделать более яркий светодиод, но также необходимо снизить срок окупаемости светодиодных изделий и систем освещения на основе светодиодов.

Применение новых светодиодов ХР-G2, вернее, переход на использование этих светодиодов вместо предыдущего поколения серии ХР-G позволит производителю в кратчайшие сроки получить увеличение светового потока, тем самым существенно сократив цикл разработки и выхода на рынок нового изделия. ХР-G2 смогут найти применение в самых разных областях — от внутреннего и внешнего освещения до карманных фонариков и ламп-ретрофитов: новые светодиоды позволят производителям использовать все последние технологические достижения и преимущества без каких-либо существенных изменений конструкции существующих изделий и тем самым сократить время разработки и выпуска на рынок нового продукта.

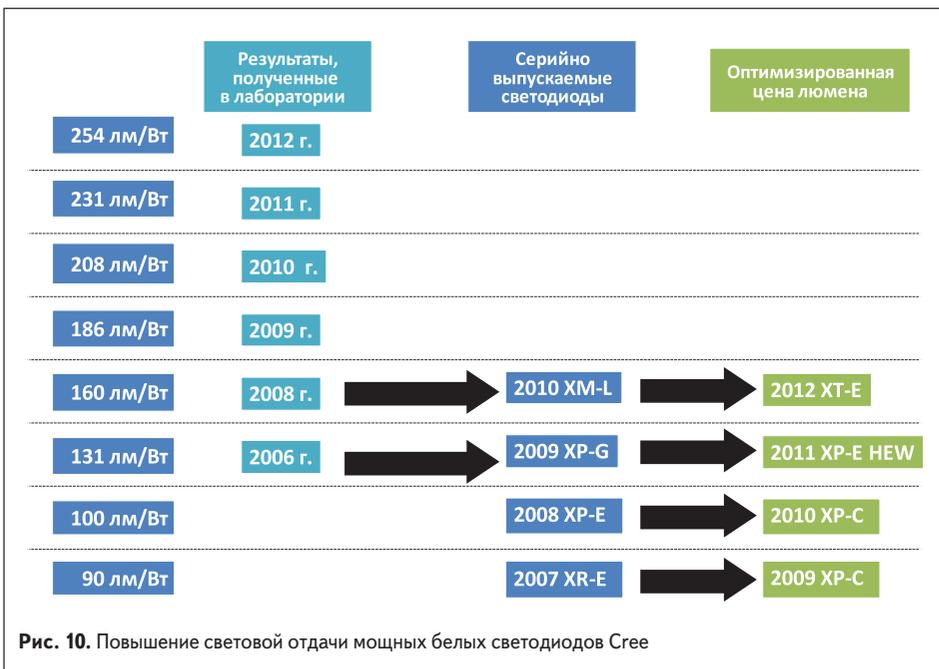


Рис. 10. Повышение световойдачи мощных белых светодиодов Cree

Литература

1. Туркин А. Н. Светодиоды Lumileds: прошлое, настоящее, будущее // Полупроводниковая светотехника. 2012. № 2.
2. Шуберт Ф. Е. Светодиоды. М.: ФизМатЛит. 2008.
3. Туркин А. Н. Полупроводниковые светодиоды: история, факты, перспективы // Полупроводниковая светотехника. 2011. № 5.
4. Полищук А. Г. Новая серия светодиодов XR-E7090 компании Cree для общего освещения // Светотехника. 2007. № 3.
5. Полищук А. Г., Туркин А. Н. Новое поколение светодиодов компании Cree для освещения // Автоматизация в промышленности. 2008. Июль.
6. Туркин А. Н. Мощные светодиоды Cree для освещения: основные преимущества и перспективы применения // Полупроводниковая светотехника. 2009. № 2.
7. Туркин А. Н. Применение светодиодов в светотехнических решениях: история, реальность и перспективы // СТА. 2011. № 2.
8. <http://www.cree.com/led-components-and-modules/products/xlamp/discrete-directional/~media/Files/Cree/LED%20Components%20and%20Modules/XLamp/Data%20and%20Binning/XLampXML.pdf>
9. <http://www.cree.com/led-components-and-modules/products/xlamp/discrete-directional/~media/Files/Cree/LED%20Components%20and%20Modules/XLamp/Data%20and%20Binning/XLampXTE.pdf>
10. <http://www.cree.com/led-components-and-modules/products/xlamp/discrete-directional/~media/Files/Cree/LED%20Components%20and%20Modules/XLamp/Data%20and%20Binning/XLampXBD.pdf>
11. <http://www.cree.com/led-components-and-modules/products/xlamp/discrete-directional/~media/Files/Cree/LED%20Components%20and%20Modules/XLamp/Data%20and%20Binning/XLampXPG2.pdf>