

Вопросы выбора мощных светодиодных ламп для светотехнических применений

Александр Полищук (Москва)

Автор рассматривает влияние конструкции и технологии сборки светодиодных ламп на величину их светоотдачи. Особое внимание уделено вопросу отвода тепла от кристалла светодиода.

ВВЕДЕНИЕ

За последние два года в России начал складываться рынок светотехнических изделий с применением твердотельных источников света. Как обычно, сначала на нашем рынке появилась продукция производителей из юго-восточной Азии известного качества. Следом сразу же возникли отечественные мелкие производители, начавшие выпускать аналогичную продукцию. Поскольку им пришлось конкурировать с дешёвой китайской продукцией, о применении качественной и надёжной элементной базы уже не могло быть и речи. Всё вышесказанное относится в основном к светотехническим изделиям, в которых используются маломощные светодиоды белого свечения. Такие светильники не могут рассматриваться как серьёзная альтернатива традиционным источникам света и поэтому выполняют чисто декоративные функции, отдавая дань моде последних лет. Однако подобные изделия во многом дискредитировали в нашей стране идею твердотельного освещения, выработав у серьезных потребителей негативное отношение к светодиодным источникам света.

В то же время общемировые тенденции развития данного направле-

ния позволяют говорить о неуклонном росте интереса потребителей к твердотельному освещению. Прежде всего это обусловлено появлением на мировом рынке коммерчески доступных оптоэлектронных приборов (светодиодов), способных по интенсивности излучения составить конкуренцию традиционным источникам света, таким как лампы накаливания и даже люминесцентные лампы. Для сравнения в табл. 1 приведены характеристики светоотдачи различных источников света. Как следует из таблицы, использование вместо ламп накаливания светодиодных ламп позволит в перспективе экономить до 90% электроэнергии, а с учётом их чрезвычайно высокого ресурса (более 100 000 часов) эти приборы становятся очень привлекательными в экономическом и экологическом плане.

В данной статье мы не будем рассматривать характеристики маломощных светодиодов, а остановимся на сравнении параметров мощных светодиодных ламп крупнейших мировых производителей, имеющих собственное производство кристаллов InGaN, таких как CREE Lighting, Lumileds Lighting, Nichia Corporation. Вторичный рынок производителей (это компании, которые не производят собственных кристаллов, а корпусируют готовые кристаллы вышеуказанных компаний под своей торговой маркой), в данной статье не рассматривается. Продукция этого рынка, как правило, является «клонном» оригинальных изделий, но некоторые из них достигли больших успехов и представляют интерес в качестве фирм – изготовителей светильников (например, компания Lamina Ceramics).

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И СВЕТОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Главный показатель эффективности светодиодной лампы (СЛ) – её светоотдача. Измеряется она в лм/Вт, т.е. в единицах светового потока (лм) на единицу потребляемой электрической мощности (Вт). Современные СЛ способны работать с прямым током свыше 1 А, однако при этом возникают вопросы адекватного отвода тепла и срока службы кристалла. Поэтому целесообразно рассматривать приборы с номинальным током 350 мА. Дело в том, что производители, предлагая СЛ мощностью более 3 Вт, идут на определённую хитрость: такой светодиод содержит либо тот же самый кристалл, что и в приборе с током 350 мА, либо представляет собой сборку из таких кристаллов. В обоих случаях производитель стремится по возможности снизить тепловое сопротивление переход–корпус. Поскольку это не всегда возможно, производитель перекладывает проблемы отвода тепла на потребителя, у которого высокие тепловые нагрузки приводят к значительному (вместе с тем трудноконтролируемому) снижению ресурса СЛ.

В табл. 2 приведены показатели эффективности серийных СЛ производства CREE Lighting, Lumileds Lighting, Nichia Corporation. Из приведённых характеристик видно, что показатель эффективности снижается с ростом мощности СЛ. Это связано с нелинейностью зависимости светоотдачи от прямого тока светодиода, типовая характеристика которой для СЛ типа XL7090 (CREE) приведена на рис. 1 (здесь относительная интенсивность – это отношение светового потока при измеряемом токе к световому потоку при характеристическом токе, например 350 мА). Что касается абсолютной величины светоотдачи, то безусловным лидером на рынке коммерчески доступных СЛ является компания

Таблица 1. Светоотдача различных источников света

Тип источника	Светоотдача, лм/Вт
Обычные лампы накаливания	12
Вольфрамодные галогенные	20
Компактные флуоресцентные	55
Индукционные	70
Металлогалогидные	90
LED (белого свечения)	До 100

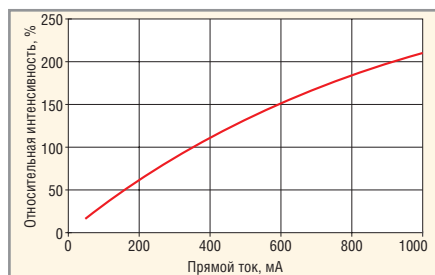


Рис. 1. Типовая характеристика светоотдачи от прямого тока светодиода

CREE. Уже в 2005 г. показатели светоотдачи образцов приборов XLamp7090 превысили 200 лм/Вт. В чём же причина столь высоких показателей эффективности приборов CREE? Ответ на этот вопрос лежит в области технологии получения InGaN-кристаллов.

ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА КРИСТАЛЛОВ InGaN для мощных СЛ

Ещё на заре производства светодиодов белого свечения большой мощности перед разработчиками стояли три глобальные проблемы: повышение светоотдачи, отвод тепла, высокая стоимость 1 лм вырабатываемого света. Все эти проблемы так или иначе замыкались на технологию получения светоизлучающей структуры InGaN. Компания Nichia Corporation разработала технологию выращивания кристаллов InGaN на сапфировой подложке, Lumileds Lighting – на подложке из монокристалла кремния. Несмотря на высокую степень отработки этих технологий, получаемые в результате InGaN-структуры имеют большое количество дефектов, что непосредственно влияет на светоотдачу кристалла. Для понимания проблемы в табл. 3 приведены характеристики кристаллических решёток монокристаллов GaN и различных подложек. Наихудшим средством кристаллических решёток по отношению к нитриду галлия обладает кремний, сапфир имеет большую, но недостаточную степень сродства. Это приводит к образованию большого количества дефектов и дислокаций в кристаллической решётке структур InGaN и, как следствие, к снижению светового выхода, что иллюстрируют показатели светоотдачи в табл. 2.

Как следует из табл. 3, наилучшим средством кристаллических решёток по отношению к GaN обладает поли-

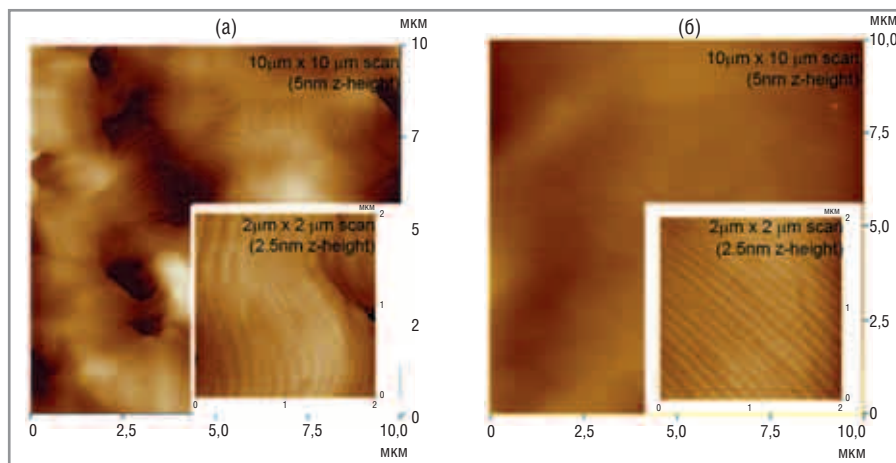


Рис. 2. Структура InGaN на сапфире (а) и карбиде кремния (б)

тип 6Н карбида кремния. Кроме того, SiC имеет более чем в 10 раз большую теплопроводность, чем сапфир, что позволяет значительно улучшить отвод тепла от кристалла.

На рис. 2 приведены фотографии структур InGaN на сапфире и карбиде кремния соответственно, сделанные с помощью электронного микроскопа. Последняя структура имеет почти на порядок меньше дефектов, что позволяет значительно увеличить световой выход и эффективность СЛ.

Компания CREE первая в мире разработала технологию получения пластин монокристаллов карбида

кремния (SiC) больших размеров и в настоящее время является лидером в области производства полупроводниковых приборов на базе карбида кремния и нитрида галлия. Обладая уникальными технологиями получения светоизлучающих InGaN-структур на карбиде кремния, CREE обеспечила прорыв в области производства высокоэффективных твердотельных источников света. Параллельно приблизилось решение другой главной проблемы мощных светодиодов – стоимость люмена излучаемого света. Сегодня этот показатель у СЛ серии XLamp7090 на 30% меньше, чем у

Таблица 2. Электрические и световые характеристики СЛ

Наименование	Производитель	Ном. прямой ток, мА	Типовая светоотдача, лм/Вт	Тепловое сопротивление переход-корпус, °С/Вт
LXHL-BW02	Luxeon®	350	30	15
LXHL-PW09	Luxeon®	700	25	13
LXHL-PW09	Luxeon®	1000	20	13
NCCW022S-P12	Nichia	350	32	17
NCCW022S-P13	Nichia	350	37	17
NCCW023S-P12	Nichia	350	32	17
NCCW023S-P13	Nichia	350	37	17
XL7090WHT-L100-0010	CREE®	350	46	17
XL7090WHT-G100-0018	CREE®	350	60	17
XL7090WHT-G100-R-004	CREE®	350	110	17
3XL7090WHT-L100-0010	CREE®	350	50	17
3XL7090WHT-L100-0010	CREE®	700	35	17

Таблица 3. Характеристики кристаллических решеток и материалов подложек

Тип монокристалла	Структура решетки	Постоянная решетки, Å	Теплопроводность подложки, Вт/см·К
GaN	Гексагональная	3,189	2,2
Si	Кубическая	5,43	1,4
Сапфир	Гексагональная	4,758	0,3
6Н-SiC	Гексагональная	3,08	3,8

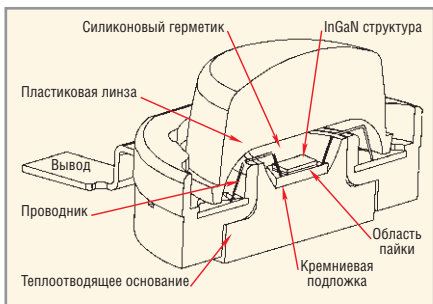


Рис. 3. Конструкция СЛ компаний Lumileds Lighting

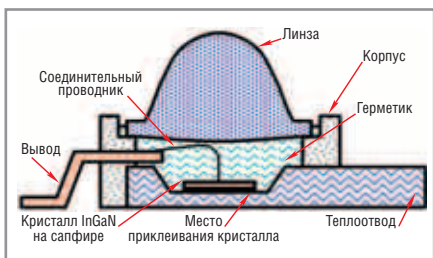


Рис. 4. Конструкция СЛ компаний Nichia



Рис. 5. Конструкция СЛ компаний CREE

аналогичных продуктов Lumileds Lighting и Nichia.

Конструкция светодиодных ламп

Конструкция СЛ оказывает значительное влияние не только на ресурс работы и надёжность, но и на стоимость готовых изделий. Конструкция должна обеспечивать адекватный отвод тепла от кристалла, выдерживать термоциклирование, обеспечивать высокую технологичность монтажа. На долговечность работы СЛ так же сильно влияют метод монтажа кристалла и материал теплоотводящего основания. Все рассматриваемые производители решают данную задачу по-разному. Конструкции СЛ компаний Lumileds Lighting, Nichia и CREE показаны на рис. 3 – 5 соответственно.

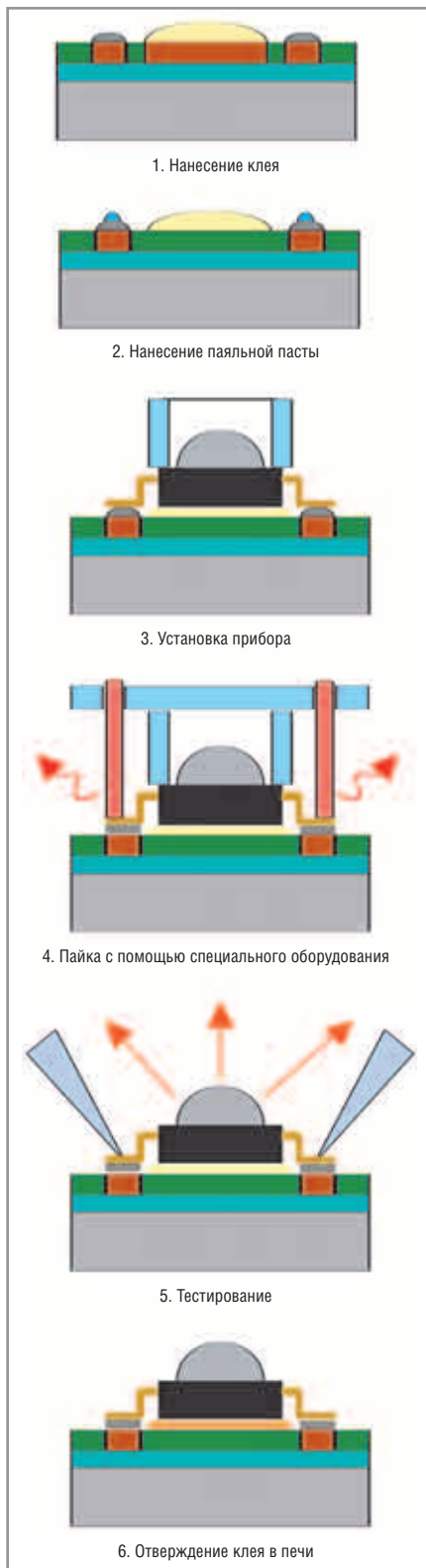


Рис. 6. Технология монтажа СЛ Luxeon

Компании Lumileds Lighting и Nichia используют медное теплоотводящее основание. Отличие между приборами этих компаний заключается в методах монтажа кристаллов: Lumileds Lighting использует эвтектическую установку, Nichia приклеивает кристалл. Каждый из методов обладает как положительными, так и отрицательными сторонами.

Пайка кристалла позволяет снизить тепловое сопротивление между кристаллом и корпусом, но при этом возникает диодный контакт между теплоотводящим основанием и кристаллом, что требует электрической изоляции СЛ при одиночном или групповом монтаже на печатную плату. Это в свою очередь не только снижает технологичность и делает более дорогим производство готовых изделий, но в итоге увеличивает тепловое сопротивление между корпусом и радиатором. Кроме того, кремниевая подложка и медное теплоотводящее основание имеют сильно отличающиеся коэффициенты объёмного расширения, что при термоциклировании зачастую приводит к нарушению эвтектики и даже к повреждению кристалла.

Необходимость в электрической изоляции и приклеивании СЛ Luxeon чрезвычайно усложняет технологию монтажа и требует применения специального оборудования (рис. 6). Компания Lumileds Lighting предлагает уже смонтированные лампы на алюминиевых печатных платах (серия Luxeon STAR), однако такое решение не позволяет делать компактные кластеры и требует ручного монтажа. Всё вышеуказанное значительно увеличивает стоимость серийного производства изделий.

Метод приклеивания кристалла к медному теплоотводящему основанию (Nichia, рис. 4) позволяет уменьшить механические нагрузки на кристалл и одновременно обеспечить электрическую изоляцию. Однако при этом снижается долговечность и надёжность светодиодной лампы в целом. При повышенной температуре клей теряет эластичность, со временем увеличивается и тепловое сопротивление. Кроме того, производитель вынужден принудительно сужать температурный диапазон эксплуатации прибора (-30...+85°C) и ограничивать максимальную температуру кристалла величиной 105°C (против +125°C у CREE). Последнее также обусловлено и низкой теплопроводностью сапфировой подложки (см. табл. 3).

В целом конструкция СЛ Nichia более удобна в монтаже и позволяет использовать стандартные линии автоматизированного монтажа и пайки в печах с контролем температурного профиля.

Радикально от описанных выше отличается конструкция СЛ XLamp7090 (CREE). Большой запас по теплопроводности и максимальной рабочей температуре (600°C) карбид-кремниевой подложки позволил использовать технологию эвтектической посадки кристалла на металлизированное основание из нитрида алюминия. По технологии корпусирования СЛ XLamp7090 похожи на силовые IGBT-модули компании Semikron. Применение керамического основания с близкими к SiC температурными коэффициентами объёмного и линейного расширения позволяет снять проблему механических напряжений в кристалле. Автоматически решается проблема электрической изоляции кристалла от теплоотвода. Впервые использован метод «плавающей» линзы: линза крепится за счёт адгезии к кремнийорганическому гелеобразному герметику, что позволяет не только исключить механические напряжения при термоциклировании, но и обеспечить автофокусировку в широком диапазоне температур окружающей среды.

Корпус СЛ (рис. 7) выполнен в виде компонента для поверхностного монтажа, что позволяет использовать стандартные линии по автоматизированному монтажу и пайке в печах с контролем температурного профиля. Благодаря малым габаритам и площади, занимаемой на печатной плате, СЛ XLamp7090 позволяют создавать компактные кластеры (рис. 8), получая значительный выигрыш в стоимости при серийном и массовом производстве. Наличие массивного медного рефлектора дополнительно увеличивает рассеивание тепловой мощности, улучшая отвод тепла.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы рассмотрели всего лишь два аспекта, влияющих на выбор типа СЛ для светотехнических устройств. Кроме этого, важную роль играют ресурс и эксплуатационная надёжность, поскольку именно эти показатели выгодно отличают твердотельные источники света от традиционных устройств. В следующих статьях мы рассмотрим показатели надёжности СЛ, оптические харак-

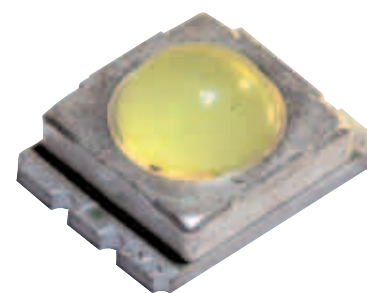


Рис. 7. Внешний вид СЛ XLamp™7090

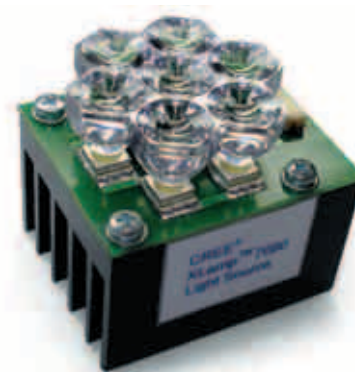


Рис. 8. Внешний вид компактного кластера СЛ (на теплоотводе)

теристики, а также вопросы их электропитания и обеспечения теплового режима. ©

Яркая идея для вашего бизнеса

Готовые источники света на основе твердотельных ламп

Области применения

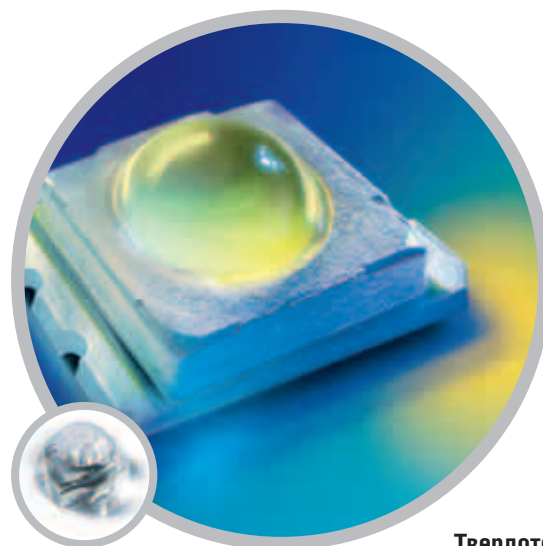
- Автономные источники света
- Взрывобезопасное осветительное оборудование
- Уличные и бытовые светильники
- Ландшафтная подсветка
- Светофоры и сигнальные устройства
- Автомобильное осветительное оборудование



XLD-C-008-1



XLD-L-003-1



Твердотельная лампа XLamp™ 7090

