

Андрей Туркин |

# Мощные светодиоды CREE

## для освещения: основные преимущества и перспективы применения

**Область применения светодиодов за последние годы существенно расширилась. Если до недавнего времени светодиоды ассоциировались в основном с индикацией в электронных приборах, то сейчас они уже успешно применяются, например, в транспортной сфере — это светофоры, дорожные знаки, индикация в салонах, а также в автомобильной промышленности, где внедрение светодиодов в габаритные фонари и сигналы торможения прошло весьма успешно. Светодиоды также проникли и в освещение, но применение их в этой области пока остается относительно новым направлением.**

Изобретение электрической лампы накаливания дало рождение светотехнике, бурное развитие которой происходит уже около 100 лет. На смену лампам накаливания постепенно приходили разрядные лампы, люминесцентные лампы, лампы высокого давления. Прогресс в технологии разработки мощных светодиодов, произошедший на рубеже XX и XXI веков, позволил светодиодам попасть в сферу интересов разработчиков светотехники, и можно предположить, что мощные светодиоды в скором времени вытеснят устаревшие источники света.

Последние несколько лет идут многочисленные дискуссии о применении мощных светодиодов в освещении. Сегодня использование светодиодов в освещении может сэкономить средства за счет снижения потребления электроэнергии и отсутствия затрат на эксплуатацию. Развитие светодиодных технологий, результатом которого стало появление новых эффективных мощных светодиодов, в совокупности с растущей потребностью в энергосбережении открывает новый рынок для светодиодных изделий в освещении. Примером применения светодиодных изделий может быть освещение коридоров и подъездов в домах, технических зон и рабочих мест на предприятиях, складов и хранилищ и даже освещение витрин и прилавков в магазинах.

Для применения в освещении предназначены мощные светодиоды, которые по таким параметрам, как световой поток (лм), световая отдача (лм/Вт), индекс цветопередачи и надежность, не уступают (а зачастую превосходят) традиционные источники света, используемые в осветительных приборах. Светодиоды имеют много преимуществ по сравнению с лампами. Излучение светодиодов направленное, то есть распространяется в пределах определенного телесного угла. Это позволяет избежать использования в осветительных приборах на основе светодиодов дополнительных отражателей, снижающих эффективность прибора. Стоит

отметить, что срок службы мощных светодиодов при работе в номинальном режиме составляет не менее 50 000 часов. Светодиоды не содержат ртути, как большинство люминесцентных и разрядных ламп, что существенно облегчает проблему утилизации. Кроме того, время достижения максимального значения светового потока после включения светодиода составляет наносекунды, а максимальная световая отдача достигается в диапазоне холодного белого цвета. Все перечисленные преимущества светодиодов позволяют им вызвать определенные перемены в освещении.

Первыми мощными светодиодами стали изделия Luxeon, разработанные в 2002–2003 годах компанией Lumileds, образованной в 2000 году совместно компаниями Hewlett Packard и Philips. Первыми изделиями, где нашли применение мощные светодиоды, стали фонарики и аварийные светильники. Основным препятствием для более широкого применения светодиодов в освещении была их высокая, по сравнению с традиционными источниками света, цена. Поворотной точкой можно считать октябрь 2006 года, когда компания CREE выпустила новую серию мощных светодиодов XLamp XR-E в холодном белом диапазоне (цветовая температура — от 5000 до 10 000 К) [1]. Это были первые светодиоды с достаточно высокими световыми характеристиками и надежностью. Поэтому использование их в осветительных приборах выглядело очень перспективным и предполагало окупаемость первоначальных расходов в течение не очень долгого времени за счет экономии электроэнергии и сокращения затрат на обслуживание. Примерно через полгода компания CREE выпустила мощные светодиоды XLamp серии XR-E в нейтральном и теплом белом диапазонах (цветовая температура — от 2600 до 5000 К), использование которых потенциально выгодно для большого количества применений, например для внутреннего освещения и различных видов декоративного освещения.

## Мощные светодиоды CREE

Как уже было сказано, первые мощные светодиоды (СД), появившиеся на рынке, выпустили компании Lumileds и Nichia. Эти компании использовали в своих СД кристаллы на основе гетероструктур нитрида галлия (GaN) и его твердых растворов, выращенные на подложках из сапфира ( $Al_2O_3$ ). СД двух производителей-лидеров отличались, в основном, корпусами и методом монтажа кристаллов в корпусе. Специалисты компании Nichia применяли стандартный метод монтажа кристаллов, когда два контакта кристалла находятся сверху. Специалисты компании Lumileds в своих разработках первыми стали использовать перевернутый монтаж кристалла контактами вниз (flip-chip) на плату из кремния (Si), что позволяет уменьшить потери при выводе излучения из кристалла за счет исключения отражения от контактов и понизить тепловое сопротивление СД.

Компания CREE начала исследования по разработке светодиодных структур на основе GaN и его твердых растворов в начале 90-х гг. прошлого века. С 2005 г. эта компания начала выпуск мощных СД на основе кристаллов таких структур. При этом CREE традиционно использует технологию эпитаксиального выращивания структур GaN на подложках из карбида кремния (SiC). Технология выращивания структур GaN на SiC обладает рядом принципиальных преимуществ перед технологией InGaN на сапфире. Благодаря большому коэффициенту теплопроводности (3,8 Вт/см·К у SiC против 0,3 Вт/см·К у сапфира) упрощается решение проблемы отвода тепла от активной области кристалла (*p-n*-перехода). Эта проблема — одна из ключевых для кристаллов мощных светодиодов, токи в которых превосходят 100 мА. Также нужно отметить, что кристаллическая решетка 6H-SiC обладает лучшим, по сравнению с сапфиром, сродством с GaN, что снижает концентрацию дефектов и дислокаций в структуре GaN и повышает квантовый выход электролюминесценции [1, 2], а также позволяет практически избежать возникновения механических напряжений в кристалле при изменении температуры [3]. Стоит отметить, что снижение числа дислокаций в базовом слое GaN, выращенном непосредственно на подложке, является одним из трех

основных технологических направлений повышения квантового выхода.

Применение кристаллов GaN, выращенных на SiC-подложках, позволило компании CREE сразу получить световую отдачу своих СД на уровне 45 лм/Вт и встать в один ряд с компаниями-лидерами — Lumileds и Nichia.

Основная особенность СД производства компании CREE — корпус (рис. 1). Впервые в массовом производстве СД применяется металлокерамический корпус с плавающей линзой из кварцевого стекла, что дает возможность получить сразу несколько важных преимуществ. Во-первых, электрически изолированное теплоотводящее основание упрощает конструирование кластеров на основе СД.

Во-вторых, эвтектическая посадка кристалла на металлизированную керамическую подложку снимает проблему механических напряжений, возникающих за счет большой разницы в температурных коэффициентах расширения при эксплуатации СД в широком диапазоне температур, и особенно при отрицательных температурах [1].



Рис. 1. Внешний вид белого СД CREE семейства XL7090

В-третьих, корпус не содержит пластмассовых деталей, не требует предварительного приклеивания, что позволяет использовать для монтажа стандартные автоматизированные линии, а это приводит к значительному снижению себестоимости конечных изделий. Линза из кварцевого стекла устойчива к воздействию УФ-излучения, это гарантирует длительный срок эксплуатации СД при прямом солнечном свете. Подвижность линзы не только защищает от напряжений контактную систему, но и позволяет сохранять фокусировку в широком температурном диапазоне. Дальнейшее усо-



Рис. 2. Внешний вид белого СД CREE семейства XR7090 в корпусе

вершенствование корпуса СД, воплощенное в семействе XR7090 (рис. 2), в основном коснулось конструкции отражателя и, самое главное, снижения теплового сопротивления «р-п-переход — теплоотводящее основание» до 8 °С/Вт.

### Семейство XR-E7090: первые мощные светодиоды для систем освещения

Светодиоды, входящие в семейства СД XR-E7090 и XR-C7090, изготавливаются на основе новых кристаллов EZ1000 (рис. 3) и EZ700 семейства EZBright соответственно. Эти кристаллы компания CREE разрабатывала с 2004 г., а для их массового производства потребовалось строительство новой фабрики, переход на SiC-подложки диаметром 100 мм со сверхнизкой плотностью дефектов и разработка новых технологических процессов. В результате удалось добиться рекордных показателей эффективности. Так, кристаллы типа EZR260 обеспечивают квантовый выход 55–75%, а у самых больших кристаллов (EZ1000) типичный квантовый выход равен 40–55%. Кроме того, за счет улучшения контактной системы удалось получить прямое падение напряжения на кристалле при номинальном токе на 20% ниже, чем у семейства кристаллов XB900 и кристаллов других производителей.

Семейство кристаллов EZBright имеет ряд принципиальных технологических отличий. Как и раньше, используется процесс эпитаксиального выращивания слоев GaN и его твердых растворов на SiC-подложке толщиной 100 мкм. Однако после формирования излучающей структуры SiC-подложка стравливается через маску до 35 мкм с образованием линзовой системы, которая обеспечивает сбор светового потока с поверхности структуры и формирует стандартную кривую силы света. Это позволяет упростить решение проблемы однородности нанесения люминофора на кристалл при производстве СД белого цвета свечения.

Второе важное отличие заключается в применении новой контактной системы в кристаллах EZ1000. Она имеет две контактные площадки для приваривания 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.

Претерпела изменение и технология нанесения люминофора. В предыдущих семействах (XL7090 и XR7090) весь объем внутри отражателя между кристаллом и первичной линзой заполнялся взвесью люминофора в геле (рис. 2). Это упрощало технологический процесс, но при этом обнаруживались два серьезных недостатка. Во-первых, наблюдалась существенная цветовая неоднородность свечения, а во-вторых, практически отсутствовала возможность создания вторичной оптики с углами излучения менее 20° из-за слишком большой площади излучателя. В новых семействах СД люминофор наносится непосредственно на кристалл (рис. 4), что позволяет практически полностью устранить указанные недостатки.

В результате компании Cree удалось получить изделие, среднее значение световой отдачи которого превышает 90 лм/Вт при токе 350 мА в диапазоне цветовых температур 5500–6500 К, а средняя потребляемая мощность в этом режиме составляет 1,07 Вт [4]. Отдельные приборы обеспечивают световой поток до 120 лм при 350 мА.

Достигнутые компанией CREE показатели эффективности впервые позволили говорить о конкуренции полупроводниковых ИС с большинством традиционных ламп. В таблице приведено сравнение характеристик большинства традиционных ИС с двумя семействами СД — XR7090, как представителя предыдущих поколений СД, и XR-E7090. Под реальной световой отдачей понимается отношение светового потока светильника к суммарной мощности ИС в нем. По данным таблицы видно, что белые СД семейства XR-E7090 уже превосходят многие традиционные ИС.

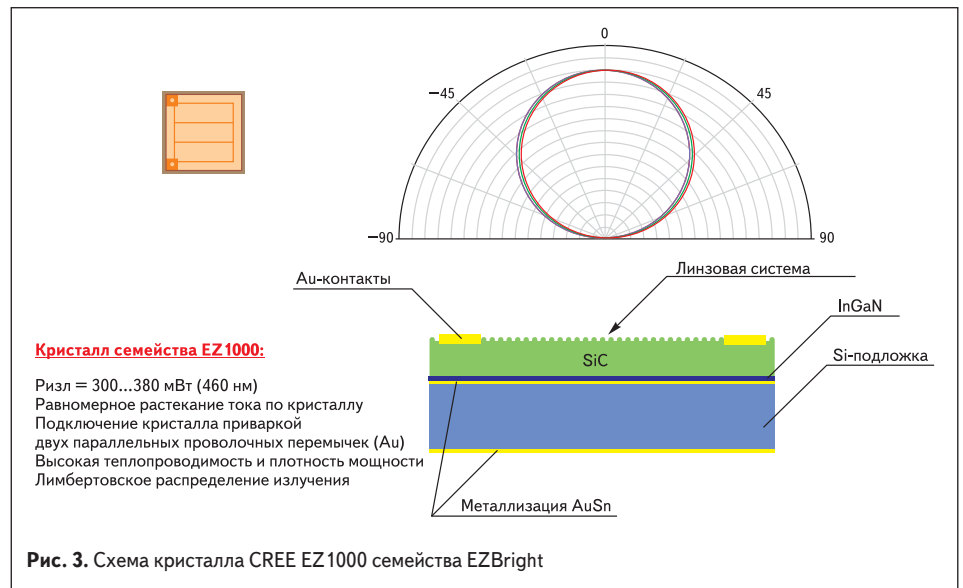


Рис. 3. Схема кристалла CREE EZ1000 семейства EZBright

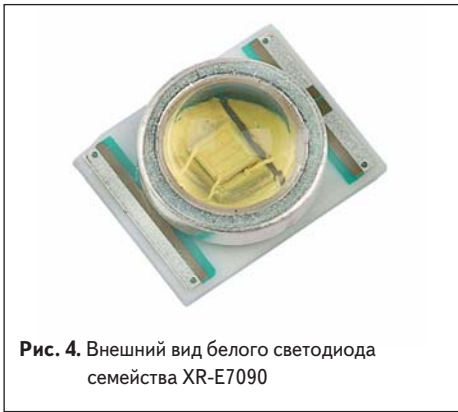


Рис. 4. Внешний вид белого светодиода семейства XR-E7090

## Новые семейства мощных светодиодов CREE

В конце 2009 года специалисты компании CREE разработали и запустили в массовое производство новую серию мощных СД — XR. В эту серию входят, аналогично предыдущей серии, два семейства — XR-E и XR-C, в которых используются кристаллы EZ1000 и EZ700 соответственно. Применение нового материала с высокой теплопроводностью позволило уменьшить корпус СД данной серии до малых размеров — 3,45×3,45 мм (рис. 5). Высота этих светодиодов составляет 2 мм.

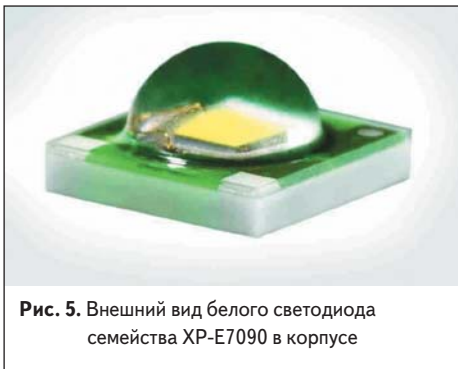


Рис. 5. Внешний вид белого светодиода семейства XR-E7090 в корпусе

В светодиодах данной серии также применяется эвтектическая посадка кристалла на металлизированную керамическую подложку [2, 3], аналогично светодиодам серии XR, что снимает проблему механических напряжений, возникающих за счет большой разницы в температурных коэффициентах расширения при эксплуатации СД в широком диапазоне температур, и особенно при отрицательных температурах [2]. Тепловое сопротивление данных СД при этом составляет 9 и 12 °С/Вт соответственно. Кроме того, конструктивные изменения корпуса и применение силиконовой линзы позволили улучшить оптические характеристики светодиодов. Значение световой отдачи в холодном белом диапазоне у СД серии XR-E превышает 100 лм/Вт, а максимальный световой поток — 120 лм/Вт.

Специалисты CREE постоянно работают над повышением световой отдачи своих СД. В конце I квартала 2009 года значение этого показателя для лабораторных образцов превышало 160 лм/Вт. Одной из новых разработок, которую специалисты CREE запустили в массовое

Таблица. Сравнение характеристик большинства традиционных ИС с двумя семействами СД — XR7090 и XR-E7090

Тип источника	Эффективность, лм/Вт	Реальная эффективность, лм/Вт	Наработка, ч
Лампы накаливания	8–13	6–10	1000
Галогенные лампы	16–22	12–20	2000
CREE XLamp XR7090	47	47	50 000
Компактные люминесцентные лампы	50–70	35–50	10 000
Металлогалогенные	60–100	40	6000–15 000
CREE XLamp XR-E7090	100	100	50 000
Люминесцентные	60–100	55–70	15 000
Натриевые высокого давления	90–130	50	15 000

Примечание. Реальная эффективность ДНат — 100 лм/Вт.

производство в конце III квартала 2009 года, является еще одно новое семейство в серии XR — XR-G [5]. Существенным отличием этого семейства станет применение нового кристалла, с площадью 1,5 кв. мм. Это позволяет получить при токе 350 мА рекордное значение световой отдачи для серийно выпускаемых СД — 132 лм/Вт [5].

## Применение мощных светодиодов для освещения

Несмотря на все преимущества светодиодов, существует стойкое ощущение, что их высокая начальная стоимость является ограничивающим фактором для широкого применения светотехнических изделий на их основе. Пока это так: начальная стоимость — важный фактор при покупке продукции для большинства потребителей. Многие потенциальные покупатели светодиодной продукции смотрят, прежде всего, именно на нее. К ним относятся муниципальные организации, энергетические компании, которые являются собственниками большинства уличных светильников, а также строительные компании. Общие затраты включают в себя начальную стоимость светильника, а также другие факторы: стоимость потребляемой электроэнергии, затраты на обслуживание, включающие в себя замену ламп и чистку светильников, и затраты на расходные материалы, которые необходимы для поддержания светильников в рабочем состоянии.

Использование в качестве источников света мощных светодиодов позволит снизить потребление электроэнергии и расходы на обслуживание. Однако высокая начальная стоимость светодиодных решений превосходит почти все сэкономленные суммы. Поэтому следует рассматривать все основные факторы в комплексе, где максимально учитываются преимущества светодиодов, а именно экономия электроэнергии, отсутствие обслуживания, качество света [6].

Подробно преимущества светодиодов рассмотрены в статье [6]. Здесь же коротко стоит упомянуть, что оптические характеристики и эффективность системы освещения на основе светодиодов в основном определяются характеристиками светодиодов [6], более того, существенная скорость улучшения данных параметров [1] ведет к быстрому росту характеристик светодиодных осветительных приборов. Светодиоды долговечны: они не пере-

горают, как лампы, а продолжают излучать свет в течение длительного времени, причем световой поток медленно снижается во времени [6–8]. Как следствие, это ведет к отсутствию необходимости обслуживания светодиодных систем освещения, что сокращает соответствующие затраты, величина которых различная, в зависимости от их применения и назначения [6]. Во многих случаях затраты на обслуживание могут сравнительно быстро превзойти по стоимости и значимости первоначальные затраты на приобретение светильника. Также нужно отметить, что мощные светодиоды производятся в широком диапазоне цветовых температур и имеют достаточно высокий индекс цветопередачи [6].

Несмотря на все успехи технологии светодиодов, применение их в освещении пока еще не носит массового характера. К концу 2006 — началу 2007 года приблизительная картина внедрения светодиодных светильников в освещение за рубежом была следующая: 60% проектов касаются освещения торговых площадей и ресторанов, 30% — частных подземных гаражей, 7% — освещения офисов, и лишь около 3% — уличного освещения [2, 6, 8].

В 2007 г. был начат ряд серьезных проектов по применению светодиодных источников света в уличном освещении. К ним относится анонсированный в феврале 2007 г. совместный проект компаний CREE, Lighting Science Group Corporation и правительства штата Северная Каролина под названием «LED City» («Светодиодный город»). Он предусматривает постепенный перевод муниципального освещения столицы штата г. Роли на светодиодное [6].

Помимо этого масштабного проекта, существуют и другие программы постепенной замены традиционных источников света светодиодными. С 2009 года в Великобритании запрещено производство и использование ламп накаливания [3]. В США, Австралии и некоторых европейских странах хотят отказаться от ламп накаливания с 2010 года. К 2015 году подобная участь в упомянутых странах может постигнуть и другие источники света [3], а в США к 2014 году планируется перевести все уличное освещение на светодиодное [3].

Попытки внедрения светодиодных источников света предпринимаются и в нашей стране, но пока они еще не являются регулярными. В Москве уже выполнен ряд проектов установки светодиодных светильников, например

архитектурное освещение жилых комплексов и офисных зданий, освещение светодиодными светильниками подземного перехода, пробные инсталляции светодиодных уличных светильников [6, 8]. Проекты не носят пока массового характера, хотя экономия от внедрения светодиодных светильников, например, в подземном переходе, ощутима: ГУП «Моссвет» официально заявляет об экономии электроэнергии почти на 40% при сохранении прежнего уровня освещенности [6, 9].

В последнее время некоторые российские производители традиционного осветительного оборудования для освещения начали осознавать, что СД для них не конкуренты, а возможность выведения своей продукции на новый технологический уровень и, тем самым, получения значительного преимущества на рынке. Кроме производителей светотехнических изделий, во внедрении светильников на основе СД в освещение могут быть заинтересованы и энергетики. Ведь экономия электроэнергии при замене ламп накаливания на СД составляет до 80%, а люминесцентных ламп — свыше 40% [1, 8–10].

Одним из самых известных является проект ОАО «Российские железные дороги» (РЖД), в рамках которого предполагается повсеместное внедрение энергосберегающих технологий, включая светодиодное освещение.

В 2008 году было выполнено несколько пробных инсталляций на разных объектах РЖД. Были освещены пассажирские платформы (рис. 6) и пешеходные мосты, ремонтные цеха локомотивного депо, сортировочные станции (рис. 7). Впечатление от реализованных проектов положительное. Применение светодиодных светильников позволило сократить потребление электроэнергии на отдельных объектах в 2,5 раза при обеспечении хороших значений освещенности. Однако пробные проекты внедрения показали, что установка светодиодных светильников на объектах требует комплексного подхода и не может просто ограничиться прямой заменой старых светильников на новые светодиодные. Комплексный подход заключается в проведении предварительных исследований объекта, подготовке светотехнических и технико-экономических расчетов параметров, определении мест установки и подбора оборудования для объекта. В реализованных в 2009 году проектах данные недочеты были, в основном, учтены, и последние объекты РЖД выполнены без существенных замечаний.

## Заключение

В качестве основного вывода можно сказать, что системы освещения на основе мощных СД позволяют получить требуемые значения светотехнических параметров при существенном снижении величины потребляемой электроэнергии. Прогресс в технологии производства мощных светодиодов, с одной стороны, и мировой энергетический кризис, с другой, могут способствовать выходу мощных светодиодов на первые роли в качестве источников света для систем освещения уже в ближайшем будущем.



Рис. 6. Освещение пассажирской платформы железнодорожной станции светодиодными светильниками

Помимо экономической эффективности, осветительные устройства на основе СД долговечны, их время жизни превышает время жизни люминесцентных ламп в несколько раз, а ламп накаливания — в десятки раз. Светодиоды не являются хрупкими, в отличие от ламп, поэтому устройства на их основе вандалостойкие. Возможность низковольтного питания делает их безопасными, то есть они не являются потенциальными источниками возникновения пожара или взрыва. Благодаря этим факторам, а также увеличившейся в последние годы световой отдаче, СД стали очень перспективными источниками света и должны завоевать все более обширные сферы применения в ближайшем будущем. ●

## Литература

1. Полищук А. Г., Туркин А. Н. Светодиодные светильники — эффективный метод решения проблемы энергосбережения // Энергосбережение. 2008. № 3.
2. Полищук А. Г. Новая серия светодиодов XR-E7090 компании CREE для общего освещения // Светотехника. 2007. № 3.
3. Елисеев И. Обзор светодиодной продукции компании Cree // Новости электроники. 2009. № 9.
4. Гужов С., Полищук А., Туркин А. Концепция применения светильников со светодиодами совместно с традиционными источниками света // СТА. 2008. № 1.
5. Староверов К. Новые светодиоды XLamp компании CREE // Новости электроники. 2009. № 9.
6. Туркин А. Перспективы применения мощных светодиодов CREE для освещения // Новости электроники. 2009. № 9.
7. Полищук А. Г., Туркин А. Н. Деградация светодиодов на основе гетероструктур нитрида галлия и его твердых растворов // Светотехника. 2008. № 5.
8. Туркин А. Мощные светодиоды — современное решение проблемы энергосбережения // Энергосбережение. 2009. № 7.
9. Киптик М. И. Светодиоды в наружном освещении // Светотехника. 2009. № 3.
10. Полищук А., Туркин А. Перспективы применения светильников со светодиодами для энергосберегающего освещения // Энергосбережение. 2008. № 2.



Рис. 7. Освещение сортировочной станции железной дороги светодиодными светильниками