



Андрей Туркин

## Применение светодиодов в светотехнических решениях: история, реальность и перспективы

Статья посвящена теме использования светодиодов в качестве источников света для светотехнических изделий. Рассматриваются исторические аспекты развития технологии изготовления светодиодов, делается обзор современной продукции основных производителей. Приводятся описания и обсуждаются результаты внедрения светодиодных осветительных устройств на различных объектах. Проводится оценка эффективности таких внедрений и перспектив использования светодиодных решений в системах освещения.

### ВВЕДЕНИЕ

Проблема освещения является, наверное, одной из самых старых проблем человека. Привычное существование современного общества без использования искусственного освещения невозможно. Люди используют освещение на работе и дома, освещение требуется на улицах, в производственных и учебных помещениях, в магазинах, кино и театрах, кафе и ресторанах и в других общественных местах.

Осветительные приборы и используемые в них источники света постоянно совершенствуются по мере развития науки и техники. Одной из основных целей данного развития, несомненно, является увеличение светового потока источника света, то есть величины, характеризующей мощность его оптического излучения, воспринимаемую человеческим глазом.

Второй целью развития источников света можно назвать снижение потребляемой ими электрической мощности и, как следствие, экономию потребляемой электрической энергии при эксплуатации светотехнических устройств с данными источниками света.

В последние годы проблема экономии электроэнергии приобретает осо-

бую актуальность из-за растущего достаточно быстрыми темпами спроса на электроэнергию во всём мире и ожидаемого дальнейшего увеличения её потребления, вызванного интенсивным развитием производства, транспорта, строительства и т.д. [1].

Исходя из этих целей, ищутся новые решения, на общем фоне которых наибольший интерес в настоящее время проявляется к теме применения светодиодов в качестве источников света для светотехнических систем и установок [2–7]. О светодиодах много говорится, об их особенностях и преимуществах написано большое количество статей, постоянно ведутся дискуссии о возможностях и перспективах их применения в качестве замены ламповым источникам света.

Области применения светодиодов существенно расширились. Если до недавнего времени светодиоды ассоциировались в основном с индикацией в электронных приборах, то сейчас они уже широко используются на транспорте, где устанавливаются в светофары, дорожные знаки, на панели управления в кабинах и салонах транспортных средств, в автомобильной промышленности, где весьма успешно они

«прижились» в габаритных фонарях и фонарях сигнала торможения, и во многих других отраслях. Светодиоды также проникли и в системы освещения, но применение их в этой области пока остаётся относительно новым направлением.

Необходимо отметить, что чёткого понимания возможностей применения светодиодов на сегодняшний день до конца не сложилось. Поэтому движение на рынке светодиодных решений скорее напоминает броуновское, то есть хаотическое, чем поступательное.

### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СВЕТОДИОДАХ

Светодиод (СД, англ. LED – light-emitting diode) – полупроводниковый прибор (диод), излучающий свет при протекании через него электрического тока. Физической основой его работы является эффект протекания тока через p-n-переход. При протекании электрического тока в прямом направлении носители заряда (электроны и дырки) рекомбинируют в области p-n-перехода с излучением фотонов. Область p-n-перехода называется активной областью светодиода, а процесс излучения света при протекании

электрического тока носит название электролюминесценции. Цвет свечения светодиода определяется длиной волны излучения, которая зависит от химического состава материала активной области (связана обратной зависимостью с шириной запрещённой зоны  $E_g$  полупроводника) [8]. Излучаемый свет лежит в узком диапазоне спектра, поэтому в определённых пределах можно считать излучение кристалла светодиода монохроматическим [8].

В корпусе светодиода может находиться один кристалл (однокристалльные светодиоды) или несколько кристаллов (многокристалльные светодиоды). Кристаллы могут соединяться последовательно в группы; эти группы либо имеют индивидуальные выводы для подключения, либо соединяются параллельно.

Корпуса светодиодов могут иметь различную форму и быть изготовленными из различных материалов. Они могут иметь выводы или представлять собой конструкцию, предназначенную для поверхностного монтажа.

Также существуют светодиоды, корпуса которых представляют собой печатную плату на стеклотекстолитовой, алюминиевой или керамической основе. На такую плату монтируется один или несколько кристаллов. Плата имеет отверстия для монтажа, контактные площадки или разъёмы для электрического соединения. На плате могут быть смонтированы компоненты драйвера питания. Такие изделия можно назвать светодиодными модулями/матрицами.

Современные светодиоды можно условно разделить на несколько основных групп по потребляемой мощности: индикаторные, сверхъяркие и мощные.

**Индикаторные светодиоды** представляют собой компактные светодиоды. Они имеют относительно небольшую силу света (до 100 мкд). Рабочий диапазон тока – около 20 мА. Обычно выпускаются в стандартном корпусе с выводами, диаметр основания – 3 или 5 мм. Линзовые колпачки индикаторных светодиодов, как правило, окрашивают в цвет излучаемого света. Такие светодиоды применяются чаще всего в оптических индикаторах.

**Сверхъяркие светодиоды** (англ. High Brightness LEDs, или HB-LEDs) обычно собираются на полупроводниковых кристаллах малого и среднего размеров от 200×200 до 500×500 мкм. Они имеют



Рис. 1. Освещение церкви светильниками XLight на основе светодиодов Cree (г. Владимир)

достаточно высокие световые характеристики (сила света до 10 кд, средний световой поток в белом цвете порядка 20–30 лм и более). Рабочий диапазон токов примерно составляет от 20 до 150–200 мА. Они могут быть выполнены в стандартном корпусе с выводами (диаметр основания – 3, 5 или 10 мм) или в корпусе для поверхностного монтажа (SMD-светодиоды). Сверхъяркие светодиоды имеют широкий спектр применений: световая реклама, дорожные светофоры и указатели, автомобильная светотехника, экраны, мобильные телефоны и т.д.

**Мощные светодиоды** имеют самые большие размеры кристаллов и наибольшие значения световой отдачи (более 50 лм/Вт для белого цвета). Потребляемая мощность в номинальном режиме (ток 350 мА) составляет около 1 Вт. Допускается применение при токах 500 и 700 мА, повышение рабочего тока позволяет увеличить световой поток, при этом наблюдается уменьшение световой отдачи. Мощные светодиоды выпускаются в корпусе для поверхностного монтажа (SMD-корпусе). Основное применение светодиодов данного типа – различные виды освещения: архитектурное (рис. 1), аварийное и эвакуационное, общее.

Физической основой работы светодиодов выступает явление электролюминесценции, то есть излучения веществом оптического сигнала при приложении внешнего напряжения и протекании электрического тока. Первые открытия в области электролюминес-

ценции были сделаны в России и, как часто бывает, совершенно случайно [2]. В 1923 году российский физик Олег Владимирович Лосев обнаружил слабое свечение кристаллов карборунда (современное название материала – карбид кремния) при пропускании через них электрического тока [2, 8]. Таким образом был открыт эффект прямого преобразования энергии электрического тока в энергию оптического излучения, то есть света. Необходимо отметить, что чуть меньше чем за 20 лет до О.В. Лосева, в 1907 году, американский инженер Г. Дж. Раунд также обнаружил аналогичное свечение кристаллов карборунда, но не предложил физического объяснения его причин.

Однако мощность излучения и КПД созданного в начале XX века источника света были настолько малы, что он представлял лишь научный интерес, хотя Лосев уже тогда предположил возможную область применения открытого им эффекта. Практическая же реализация твердотельных светоизлучающих приборов, представляющая коммерческий интерес, стала возможной лишь в 60–70-е годы XX века после обнаружения эффективной люминесценции полупроводниковых соединений типа  $A^{III}B^V$  – фосфида и арсенида галлия и их твёрдых растворов. На основе этих материалов были созданы первые светодиоды, и таким образом был заложен фундамент нового направления науки и техники – оптоэлектроники.

Существенный вклад в развитие данного направления внесли советские

ученые. Жорес Иванович Алфёров — академик Российской академии наук (РАН), директор Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе РАН, лауреат Ленинской премии — получил золотую медаль Американского физического общества за исследования гетероструктур на основе AlGaAs ещё в 70-х годах прошлого века. В 2000 году, когда стало ясно, насколько велико значение этих работ для развития науки и техники, насколько важны их практические применения для человечества, ему была присуждена Нобелевская премия.

В настоящее время одним из наиболее перспективных материалов для создания светодиодов в коротковолновой (синей и зелёной) области видимого спектра считается нитрид галлия (GaN). Технология выращивания нитрида галлия и создания светодиодных кристаллов на его основе развиваются в последние годы весьма бурными темпами. Исследования, начавшиеся в конце 60-х годов группой Жака Панкова в США, и приостановленные в начале 80-х годов XX века по причине технологических трудностей получения материала р-типа проводимости, были продолжены в Японии. В 1989 году Исаму Акасаки и Хироши Амано с коллегами из университета Нагои продемонстрировали первый светодиод на основе GaN со слоем р-типа проводимости. В 1992 году они опубликовали статью о создании первого светодиода на основе GaN с гомогенным р-п-переходом [2]. Данный светодиод излучал свет в ультрафиолетовом и синем спектральном диапазонах. В 1990 году разработкой светодиодов на основе GaN занялся Шуджи Накамура, сотрудник компании Nichia Chemical. Результатом его работы стали первые светодиоды голубого и зелёного свечения, созданные на основе двойных гетероструктур InGaN/GaN с квантовыми ямами, выращенных методом газовой эпитаксии из металлорганических соединений. Эти светодиоды были получены в 1993–1995 годах [2]. Также результатом работы Накамуры стали первые импульсные лазеры и лазеры непрерывного излучения в голубой области спектра, работающие при комнатной температуре, и светодиоды белого свечения с использованием люминофора, преобразующего длину волны синего излучения кристалла в жёлто-зелёное свечение [2, 8, 9].

Именно со второй половины 90-х годов прошлого века, когда специалисты

японской фирмы Nichia Chemical создали первые светодиоды синего и зелёного свечения на основе гетероструктур из GaN и его твёрдых растворов, о светодиодах заговорили как о перспективных источниках излучения [2, 8, 9]. Это время можно считать началом развития светодиодных устройств, а также началом внедрения светодиодов в различные сферы человеческой деятельности. Уже в середине 1997 года к празднованию 850-летия Москвы в столице России в пределах Садового кольца заменили 1000 старых ламповых светофоров новыми светодиодными. До этого же времени светодиоды использовались в основном для приборной индикации.

Новый этап развития светодиодов открылся в начале 2000-х годов, когда известные корпорации Philips (Нидерланды) и Hewlett Packard (США) образовали компанию Lumileds, которая разработала первые мощные светодиоды. В основе этих светодиодов использовались большие кристаллы размером 1×1 мм, номинальный рабочий ток составлял 350 мА, а потребляемая мощность немного превышала 1 Вт. Световая отдача первых таких светодиодов достигала 25 лм/Вт в холодном белом цвете. Эта величина более чем в два раза превысила среднее значение световой отдачи ламп накаливания, что позволило начать замену устройств на лампах накаливания устройствами на светодиодных приборах. В основном это происходило в сферах декоративного и прикладного освещения [2, 9].

С начала 2000-х годов рынок светодиодов стал расти очень быстрыми темпами. По оценкам многих экспертов, в 2007 году объём мирового рынка сверхъярких светодиодов (с показателем силы света выше 100 мкд) составил \$4,2–4,6 млрд. По другим оценкам, объём рынка сверхъярких светодиодов в 2007 году достиг \$6 млрд [9].

До 2008 года рынок развивался очень неравномерно. Так, среднегодовые темпы роста рынка в 2000, 2002 и 2003 годах достигали 50% благодаря значительной активности в секторе мобильных приложений (мобильные телефоны, цифровые камеры, КПК и т.д.). Как только рынок мобильных приложений начал насыщаться, рост рынка сверхъярких светодиодов стал менее существенным [9].

Согласно данным американской исследовательской организации Strategies Unlimited, в 2007 году рынок вырос на

10–11% против 6% в 2006 году. Значительному росту рынка светодиодов в 2007 году способствовал спрос на светодиоды в Азии, связанный со световым оформлением объектов для Олимпийских игр 2008 года в Пекине [9].

В четвёртом квартале 2008 года наметились тенденции снижения темпов роста рынка, особенно в сегменте автомобильной промышленности и мобильных телефонов [9].

В связи с неблагоприятной экономической обстановкой в 2009 году наблюдалось некоторое сокращение объёма рынка светодиодов (по разным данным оно составило до 5%), но в 2010 году его рост возобновился. При этом рост в сегменте рынка мощных светодиодов, по некоторым данным, не прекращался и в этот период.

Несмотря на влияние глобального экономического спада, прогресс способствует росту спроса на светодиоды и изделия на их основе. В дальнейшем ожидается новое ускорение развития рынка благодаря использованию светодиодов в жидкокристаллических панелях и дисплеях, в изделиях автомобильной промышленности и, конечно, благодаря росту популярности полупроводникового освещения. Согласно прогнозам экспертов, в 2013 году объём мирового рынка светодиодов составит \$12,4 млрд при среднегодовом темпе роста, равном 19,3% [9].

На протяжении последних лет многие из числа ведущих производителей, крупнейшими из которых являются компании Nichia, Philips Lumileds и Cree, продолжают интенсивные исследования, направленные на увеличение эффективности светодиодов. Особо стоит отметить успехи компании Cree, последним достижением которой является преодоление значения световой отдачи светодиода 200 лм/Вт, которое до сих пор считалось определённым психологическим и технологическим барьером. Об этом было объявлено на конференции Strategies in Light в феврале 2010 года.

Однако конкуренты идут по пятам, и компания Nichia в августе 2010 года также объявила о своих образцах светодиодов со световой отдачей больше указанного значения. Работы по увеличению эффективности светодиодов и совершенствованию их характеристик ведёт и компания Philips Lumileds. Тем не менее, можно утверждать, что на данный момент Cree, пусть на немного, но всё-таки опережает своих конкурентов.

Помимо большой световой отдачи преимуществом светодиодов является и высокий индекс цветопередачи. Индекс цветопередачи источника света характеризует передачу цвета окружающих объектов при их освещении данным источником света, что обеспечивает так называемое качество света. Вообще термин «качество света» подразумевает целую совокупность факторов, включая цвет, однородность его распределения, равномерность распределения интенсивности, качество цветопередачи и т.д., и не удивительно, что разными людьми качество света понимается по-разному. Поэтому в отличие от других изделий электроники, где основное влияние на спрос оказывают объективные характеристики, оценка светодиодов, производимая, в том числе, и по индексу цветопередачи, заведомо носит более субъективный характер.

Для некоторых применений, таких как освещение рабочих мест, витрин в магазинах, экспонатов в художественных галереях и салонах, вопрос цветопередачи является очень важным. Решение данного вопроса во многом зависит от яркости источника света, однако высокое её значение нередко бывает крайне нежелательным. В таких случаях стоит обратить внимание на использование светодиодных модулей/матриц [9, 10].

Светодиодные модули/матрицы достаточно трудно отнести к той или иной группе в предложенной ранее в данной статье классификации светодиодов, они могут соответствовать как сверхъярким, так и мощным светодиодам. Эта относительно новая продукция имеет некоторые особенности, делающие её перспективной для применения в системах освещения. Одной из таких особенностей можно назвать меньшую яркость, то есть силу света единицы светящейся поверхности, что обусловлено большей площадью светящейся поверхности у модуля, образованной несколькими светодиодными кристаллами. Как следствие, в случае применения светодиодных модулей в качестве источников света возможен меньший эффект ослепления. Второй особенностью светодиодных модулей можно назвать улучшенные тепловые характеристики, что достигается опять же за счёт увеличения площади, занимаемой на плате кристаллами [9].

Одним из первых среди известных мировых производителей, кто стал уделять особое внимание разработке и

развитию светодиодных модулей, была компания Sharp [9, 10].

В следующих разделах статьи будут подробнее рассмотрены мощные светодиоды компании Cree и светодиодные модули компании Sharp.

### СВЕТОДИОДЫ КОМПАНИИ CREE

Компания Cree, основанная в 1987 году как производитель полупроводниковых материалов на основе карбида кремния (SiC), начала активные исследования по разработке светоизлучающих структур нитрида галлия (GaN) и его твёрдых растворов на SiC-подложках в начале 90-х годов прошлого века. С 2005 года две компании – Nichia Corporation и Cree – обеспечивают более 80% мирового производства кристаллов синего и зелёного излучений. При этом Cree традиционно использует технологию эпитаксиального выращивания GaN на SiC-подложках, а Nichia Corporation – на подложках из сапфира. Такую же технологию выращивания на сапфировых подложках при производстве своих кристаллов использует и компания Philips Lumileds.

Технология выращивания GaN на SiC-подложках обладает рядом принципиальных преимуществ перед технологией InGaN на сапфире [11]. Во-первых, SiC обладает на порядок большей теплопроводностью: 3,8 Вт/(см×К) у SiC против 0,3 Вт/(см×К) у сапфира. Это упрощает решение проблемы отвода тепла от активной области кристалла (p-n-перехода), являющейся ключевой для кристаллов с токами более 100 мА. Во-вторых, кристаллическая решётка 6H-SiC обладает лучшим, по сравнению с сапфиром, сродством с GaN, что принципиально снижает концентрацию дефектов и дислокаций в структуре GaN и повышает квантовый выход кристаллов [11].

Основной отличительной особенностью первой серии **XL7090** мощных светодиодов Xlamp компании Cree явился металлокерамический корпус с плавающей линзой из кварцевого стекла, что позволило 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 счёт большой разницы в температурных коэффициентах рас-

ширения при эксплуатации СД в широком диапазоне температур и особенно при отрицательных температурах [11]; в-третьих, корпус не содержит пластмассовых деталей и не требует предварительного приклеивания, что позволяет использовать для монтажа стандартные автоматизированные линии, значительно снижая себестоимость конечных изделий.

Дальнейшее усовершенствование корпуса светодиодов серии **XR7090** в основном коснулось конструкции отражателя и, самое главное, снижения теплового сопротивления p-n-переход – теплоотводящее основание до 8°С/Вт [11].

Светодиоды Xlamp серий **XR-E** и **XR-C** стали изготавливаться на основе новых кристаллов EZ1000 и EZ700 соответственно. Эти семейства кристаллов компания Cree разрабатывала с 2004 года. Для их массового производства потребовались строительство новой фабрики, переход на SiC-подложки диаметром 100 мм со сверхнизкой плотностью дефектов, разработка новых технологических процессов. Новые кристаллы EZ имеют ряд принципиальных технологических отличий. Например, после формирования гетероструктуры подложка стравливается через маску до 35 мкм с образованием линзовой системы, которая обеспечивает собирание светового потока с поверхности кристалла и формирует стандартную кривую силы света. Кроме того, в этих кристаллах используется новая контактная система, имеющая две контактные площадки для приваривания проводников и выполненная таким образом, чтобы минимизировать площадь контактов на поверхности кристалла, что позволяет увеличить площадь поверхности излучения. В результате удалось добиться существенного улучшения эффективности новых кристаллов по сравнению с кристаллами предыдущей серии, а также с кристаллами других производителей [11].

Претерпела изменение и технология нанесения люминофора. Если в первых светодиодах Xlamp весь объём внутри отражателя между кристаллом и первичной линзой заполнялся взвесью люминофора в геле, что упрощало технологический процесс, но было сопряжено с такими недостатками, как существенная цветовая неоднородность свечения и отсутствие возможности создания эффективной вторичной оптики с углами излучения менее 20°, то в

новых сериях люминофор наносился непосредственно на кристалл, что позволило 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 [2, 11]. Отдельные приборы обеспечивают световой поток до 120 лм при 350 мА.

В следующих сериях светодиодов **XP-E** и **XP-C**, запущенных в массовое производство во второй половине 2008 года, был существенно изменён корпус. Применение нового материала с большей теплопроводностью позволило сделать корпус светодиода размером 3,45×3,45 мм, то есть уменьшить практически в 5 раз его площадь. При этом тепловое сопротивление практически не изменилось: для светодиода **XP-E** оно составляет 9°C/Вт. Кроме того, новая конструкция силиконовой линзы, применяемая в светодиодах серии **XP**, позволяет уменьшить потери при выводе излучения из корпуса, что повышает средний световой поток светодиодов этой серии. Как следствие, растёт эффективность светодиодов: среднее значение светового потока светодиодов **XP-E** в холодном белом диапазоне (5000...10 000 К) составляет 114 лм, а светодиодов **XP-C** – 100 лм; при этом значение световой отдачи примерно равно 100 лм/Вт.

Через год компания Cree расширила данную серию, выпустив мощные светодиоды **XP-G**. Величина светового потока в холодном белом диапазоне у светодиодов серии **XP-G** достигла более 139 лм при токе 350 мА, при этом световая отдача превысила 132 лм/Вт [9].

В конце 2010 года появилась ещё одна серия светодиодов Cree – **XM-L**. Эти светодиоды пока производятся только в холодном белом диапазоне, величина светового потока достигает 280 лм при токе 700 мА.

Достигнутые компанией Cree показатели эффективности впервые позволили говорить о конкуренции светодиодов с большинством традиционных ламп. Можно утверждать, что по световой отдаче белые светодиоды Cree уже сравнялись с традиционными источниками света (разрядными лампами), а последние модели даже превзошли их.

Заслуживает уважения постоянная нацеленность исследователей и разра-

ботчиков компании Cree на улучшение оптических и электрических характеристик своей продукции. Знаменательным событием на этом пути стал уже упоминавшийся факт достижения в феврале 2010 года световой отдачи 208 лм/Вт для мощного светодиода белого цвета свечения: пока только в лабораторных условиях, но была превышена «знаковая» величина 200 лм/Вт, к которой много лет стремились разработчики разных фирм. Значение 208 лм/Вт было получено для светодиода с цветовой температурой 4579 К, что соответствует области естественного белого цвета, при токе 350 мА и комнатной температуре.

### СВЕТОДИОДНЫЕ МОДУЛИ SHARP

Компания Sharp при разработке своих светодиодных модулей делает особую ставку на высокий индекс цветопередачи [9]. У данных изделий значения индекса цветопередачи превышают 90, а в новых разработках достигают 95. Высокие значения индекса цветопередачи подразумевают лучшую передачу цвета окружающих объектов при их освещении. Кроме того, если площадь светящейся поверхности превышает 1 см<sup>2</sup>, как, например, у модулей **Zenigata**, то снижается яркость источника света, что уменьшает эффект ослепления человека при прямом воздействии излучения источника на глаз.

Серии светодиодных модулей **Zenigata** мощностью 3,6 и 6,7 Вт представлены семью моделями каждая. Разные модели имеют диапазоны цветовых температур 2700...2800 К, около 3000 К, около 4000 К, около 5000 К и около 6500 К, то есть перекрывают всю область белого цвета от тёплого до холодного оттенков [9]. Эти светодиодные модули, особенно модули естественного и тёплого белого цветов, обладают увеличенным индексом цветопередачи и особенно хорошо подходят для освещения жилых помещений.

Новым продолжением многокристальной идеологии в производстве LED-модулей стала серия **MiniZeni** [9]. При разработке конструкции модулей этой серии ставилась задача получить продукцию с характеристиками, аналогичными модулям серий **Zenigata**, но с некоторым уменьшением габаритов светодиода для обеспечения возможности использования таких модулей в светильниках с ограниченной площадью для монтажа источника

света. Модули **MiniZeni** тоже разделяются на две серии изделий с мощностью 3,6 и 6,7 Вт, их световой поток составляет 200 лм и 400 лм соответственно [9].

Конструктивно модуль **Zenigata** представляет собой керамический квадрат со стороной 18 мм. Наличие отлаженного технологического процесса и опыт производства керамических подложек с высокой теплопроводностью позволили компании Sharp использовать их в качестве основания для монтажа кристаллов. При изготовлении подложек специалисты компании Sharp применили ряд присадок, позволяющих оптимизировать тепловые и механические характеристики подложки, кристалла и теплопроводящего клея, с помощью которого производится монтаж кристаллов [9]. На практике такая оптимизация означает возможность установки модулей Sharp в светильниках, эксплуатируемых в экстремальных климатических условиях. Термоциклирование для таких светильников означает значительные механические нагрузки на светоизлучающие компоненты, и в случае установки многокристальной структуры на алюминиевую подложку разница в механических деформациях кристалла и основания могла бы приводить к повреждениям изделия вплоть до отрыва кристалла от основания. Специалисты компании Sharp заранее предусмотрели это и постарались ликвидировать такую опасность, используя керамическую структуру и тем самым расширяя область применения своих светодиодных модулей [9].

Также стоит отметить максимальное упрощение монтажа светодиодных модулей. Модуль **Zenigata** имеет специальные отверстия по углам для крепления винтами M2,5, модуль **MiniZeni** монтируется при помощи теплопроводящего клея. Оба изделия имеют контактные площадки, к которым надо припаивать провода для осуществления электрической коммутации модулей в конечном изделии [9, 10].

### ПРИМЕНЕНИЯ СВЕТОДИОДОВ ДЛЯ ОСВЕЩЕНИЯ

Как уже отмечалось, несмотря на все успехи технологии светодиодов, их применение для освещения пока ещё не носит массового характера. К началу 2007 года картина внедрения светодиодных светильников в системах освещения за рубежом была следующей:



**Рис. 2. Освещение светильниками на основе светодиодов Cree здания ОАО «Газпром» (г. Москва)**

60% проектов касаются освещения торговых площадей и ресторанов, 30% — частных подземных гаражей, 7% — офисов, и лишь около 3% приходится на долю уличного освещения [5–7].

В 2007 году был начат ряд крупных проектов по применению светодиодных источников в уличном освещении. К таким проектам относится анонсированный в феврале 2007 года совместный проект компаний Cree и Lighting Science Group Corporation с правительством штата Северная Каролина (США) под названием LED City («Светодиодный город»). Проект предусматривает постепенный перевод муниципального освещения столицы штата города Роли на светодиоды [5].

Наряду с подобными масштабными проектами реализуются и многочисленные программы постепенной замены традиционных источников света светодиодными. Так, с 2009 года в Великобритании запрещено производство и использование ламп накаливания [7]. В США, в Австралии и в некоторых европейских странах отказ от ламп накаливания планируется начать осуществлять с 2010 года. К 2015 году в упомянутых странах такая же участь может постигнуть и другие источники света [7], а в США к 2014 году планиру-

ется перевести всё уличное освещение на светодиодное [7].

В России на основе светодиодов компании Cree уже несколько лет производятся светильники, которые используются для различных видов освещения. Большинство проектов их внедрения пока носят пробный характер. В Москве ещё в 2007 году было выполнено несколько таких проектов [2–4], в которых производителем светотехнических изделий на базе светодиодных ламп Cree Xlamp выступила российская компания XLight, а поставщиком полупроводниковых изделий и готовых светотехнических решений торговой марки XLight — компания



**Рис. 3. Освещение подземного пешеходного перехода около станции метро «Рижская» (г. Москва) светильниками на основе светодиодов Cree (прямо) и натриевых ламп высокого давления (слева)**



**Рис. 4. Подсветка жилого комплекса «Кутузовская Ривьера» (г. Москва) прожекторами на основе светодиодов компании Cree**

ПРОСОФТ. Среди этих проектов стоит отметить подсветку здания Газпрома на улице Намёткина (рис. 2), установку светильников в подземном переходе в районе станции метро «Рижская» (рис. 3), а также архитектурное освещение жилого комплекса «Кутузовская Ривьера» на улице Нежинская (рис. 4). Данные проекты показали, что применять светодиоды в качестве источников света в светотехнических изделиях возможно и достаточно перспективно.

В 2008–2009 годах в России уже было реализовано достаточное количество проектов по применению светодиодных светильников для освещения. Переход от слов к делу, безусловно, вселяет некоторую надежду. Однако споры о готовности светодиодов заменить традиционные источники света — разрядные лампы — продолжаются, противоборствующие стороны находят всё новые и новые аргументы в пользу своих позиций. Странники применения светодиодов акцентируют внимание на низком энергопотреблении и высокой надёжности светодиодных источников света. Противники в основном отмечают недостаточно высокие светотехнические характеристики и высокую стоимость светодиодных изделий. В процессе споров приводятся примеры внедрения светодиодов в системы освещения, результаты которых зачастую противоречат друг другу.

На сегодняшний день использование светодиодов в освещении может сэкономить средства за счёт двух факторов: снижения потребления электроэнергии и сокращения затрат на эксплуатацию. Развитие светодиодных технологий,



Рис. 5. Освещение сортировочной станции Новоярославская Северной железной дороги светильниками на основе светодиодов Cree

сопровождающееся улучшением светотехнических характеристик и снижением себестоимости светодиодов, привело к появлению мощных светодиодов, световая отдача которых уже сравнима с самыми эффективными разрядными лампами. Этот факт в совокупности с растущей актуальностью задачи экономии потребляемой электроэнергии открывает новые возможности для широкого применения светодиодных изделий в освещении. Примерами таких применений могут быть освещение коридоров и подъездов в жилых домах, освещение технических зон и рабочих мест на предприятиях, освещение складов и хранилищ, освещение витрин и прилавков в магазинах.

Одним из ключевых событий здесь стала программа модернизации экономики, предложенная в прошедшем году Президентом РФ, и её первая задача — энергосбережение и энергоэффективность. Президентом РФ также была поставлена задача по реализации программы «Новый свет». Важнейшей частью этой программы должно быть массовое производство светодиодов и внедрение светотехнических изделий на основе светодиодов. В целях участия в данной программе многие промышленные предприятия начинают проявлять живой интерес к светотехническим изделиям на основе светодиодов.

Пожалуй, самым организованным и хорошо анонсированным откликом на упомянутые президентские программы

является проект ОАО «Российские железные дороги» (РЖД), в рамках которого предполагается повсеместное внедрение в подведомственном хозяйстве энергосберегающих технологий, включая светодиодное освещение [5–7]. В 2008 году, ещё до озвучивания президентских программ, было выполнено несколько пробных инсталляций на разных объектах РЖД: на пассажирских платформах и пешеходных мостах, в ремонтных цехах локомотивного депо, на сортировочных станциях. Впечатление от реализованных проек-

тов положительное, применение светодиодных светильников позволило существенно сократить потребление электроэнергии на отдельных объектах с обеспечением при этом требуемого уровня освещённости [5–7]. В частности, компанией «Доломант» были установлены светодиодные светильники на станции Новоярославская Северной железной дороги (рис. 5). В результате внедрения светильников потребление электроэнергии на освещение объекта снизилось в 2,5 раза (по данным представителей Северной железной дороги) при соблюдении в целом норм освещённости. Объект находится в эксплуатации с середины декабря 2008 года, за истекший период отказов или сбоев оборудования не зарегистрировано. В реализованных в 2009 году проектах был учтён опыт, полученный в ходе пилотных инсталляций, и освещение объектов РЖД светильниками на основе светодиодов было выполнено без существенных замечаний. На рис. 6 представлена фотография станции Шексна Северной железной дороги, на которой проект установки светодиодных светильников был реализован компанией «Доломант» в 2009 году.

В последнее время некоторые российские производители традиционного осветительного оборудования начали осознавать, что светодиоды для них не конкуренты, а возможность выведения своей продукции на новый технологический уровень и получения значительного конкурентного преимущества на рынке. Кроме производителей



Рис. 6. Освещение станции Шексна Северной железной дороги светильниками на основе светодиодов Cree

светотехнических изделий, в широком распространении светильников на основе СД также могут быть заинтересованы и энергетики. Ведь экономия электроэнергии при замене ламп накаливания на СД составляет до 80%, а при замене люминесцентных ламп — свыше 40% [2, 3, 6, 11], что позволяет энергетикам использовать сэкономленную на освещении электроэнергию на другие цели и по другим тарифам. Например, замена светильников с натриевыми лампами на светодиодные в уже упоминавшемся подземном переходе в районе станции метро «Рижская», по сведениям ГУП «Моссвет», принесла экономию электроэнергии почти 40% при сохранении прежнего уровня освещённости [5, 11].

Правда, стоит заметить, что пока инсталляции светодиодных светильников в городском хозяйстве Москвы не носят массового характера, тем не менее, такие внедрения появляются. Помимо подземного перехода можно назвать проект инсталляции светодиодных уличных светильников в проезде Дубовой Роши (рис. 7) [5, 7, 11].

Практически во всех упомянутых в данной статье проектах в светотехнических изделиях были использованы мощные светодиоды Cree Xlamp.

Попытки перехода на светодиодные технологии предпринимаются в отношении не только уличного освещения, но и внутреннего освещения помещений. Светодиодные светильники устанавливают в цехах промышленных предприятий (рис. 8), на складах, в офисах.

Технические трудности использования светодиодов в светильниках заклю-

чаются в том, что необходимо решить задачу правильного распределения света в нужном направлении. Большинство отечественных производителей, делающих первые шаги в области светодиодного освещения, пытаются использовать существующие корпуса светильников, предназначенные под лампы. Этот путь не совсем верный. Светильник с традиционной лампой годами приобретал своё конструкторское решение, основываясь на конструкции и характеристиках конкретных источников света — ламп. Светодиоды изначально отличаются от ламп по конструкции, поэтому и подход к конструкции светодиодного светильника должен быть иным. В частности, для получения нужной кривой силы света (КСС) необходимо либо применение вторичной оптики (линз), меняющей направление светового потока, либо расположение источников (светодиодных модулей) на криволинейной поверхности, рассчитанной с учётом светотехнических характеристик светодиодов. И те и другие решения существуют, остаётся только довести до совершенства конструкцию светового прибора. Применение вторичной оптики ведёт к снижению светового потока, но есть возможность использования различных линз для получения разных вариантов КСС, необходимых для освещения того или иного типа улицы. Применение в светильниках криволинейных поверхностей для расположения светодиодов влечёт за собой увеличение их слепящего действия на наблюдателя. Это может негативно проявиться, прежде всего, в уличном освещении,

где возможно ослепление пешехода или, что особенно опасно, водителя. Поэтому в данном случае необходимо использовать какие-либо дополнительные конструкции для доведения защитного угла до величины, обеспечивающей требуемые параметры освещения. Думается, что со временем эти вопросы будут решены.

Важным фактором, во многом определяющим экономическую эффективность применения осветительных устройств на основе СД, является их долговечность. Время жизни СД превышает время жизни люминесцентных ламп в несколько раз, а ламп накаливания — в десятки раз. Кроме того, светодиоды в отличие от ламп не являются хрупкими, поэтому для устройств на их основе характерна высокая вандалостойкость. Возможность низковольтного питания делает их также безопасными, то есть не являющимися потенциальными источниками возникновения пожара или взрыва, а отсутствие в составе светодиодов вредных веществ существенно упрощает и удешевляет их утилизацию. Благодаря всем этим факторам, а также увеличившейся за последние годы световой отдаче светодиоды стали востребованными источниками света уже сейчас и должны завоевать новые сферы применения в самом ближайшем будущем.

Одной из таких новых сфер применения светодиодных светильников может стать растениеводство. Оптическое излучение является источником энергии для фотосинтеза, причём преимущественно поглощается длинноволновая часть спектра (красные лучи), а



Рис. 7. Светильники XLight на основе светодиодов Cree в проезде Дубовой Роши (г. Москва)



Рис. 8. Освещение цеха предприятия «Логика» (г. Москва, Зеленоград) промышленными светильниками XLight на основе светодиодов Cree

влияние коротковолновой части (синезелёной) менее существенно [12]. Исследования воздействий излучения видимого спектрального диапазона на растения, например на эффективность фотосинтеза и продуктивность различных растений, ведутся уже достаточно давно. В процессе исследований установлено, что свет, полученный разными пигментами, расходуется на разные цели: пигменты с пиком чувствительности в красной области спектра отвечают за развитие корневой системы, созревание плодов, цветение растений; пигменты с пиком поглощения в синей области отвечают за увеличение зелёной массы; зелёная часть спектра излучения полезна для фотосинтеза оптически плотных листьев и листьев нижних ярусов, куда синие и красные лучи почти не проникают. Остальные части спектра растениями практически не используются [12].

Современные светодиоды перекрывают весь видимый диапазон оптического спектра: от красного до фиолетового цвета. Диапазон длин волн излучения светодиодов в красной области спектра составляет от 620 до 635 нм, в оранжевой — от 610 до 620 нм, в жёлтой — от 585 до 595 нм, в зелёной — от 520 до 535 нм, в голубой — от 465 до 475 нм и в синей — от 450 до 465 нм. Таким образом, составляя комбинации из светодиодов разных цветовых групп, можно получить источник света с практически любым спектральным составом в видимом диапазоне [12]. Кроме того, можно подобрать спектральные линии светодиодного светильника так, чтобы они с достаточно высокой степенью совпадали с пиками кривой спектральной эффективности фотосинтеза, что может улучшить эффективность усваивания света растениями, а возможность управления интенсивностью излучения светодиодов с помощью изменения тока может позволить изменять интенсивность той или иной спектральной составляющей в зависимости от вегетационного периода растений. Осуществлять такое регулирование величины тока вполне по силам автоматизированным системам, которые управляют современными теплицами [12].

В принципе, возможность управлять интенсивностью светодиодов с помощью современных систем управления является очень важным их преимуществом при использовании в промышленном освещении, уличном освещении и освещении внутри зданий.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ведущие производители светодиодов уже имеют лабораторные образцы СД, световая отдача которых превышает 200 лм/Вт, что превосходит световую отдачу самых эффективных ныне ламп — натриевых ламп высокого давления. Прогресс в технологии производства мощных светодиодов и мировой кризис, заставивший с большим вниманием относиться к вопросам энергосбережения и энергоэффективности, могут способствовать выходу мощных светодиодов на первые роли среди источников света для систем освещения уже в самом ближайшем будущем. Такую возможность подтверждают представленные в данной статье проекты, в которых системы освещения на основе мощных СД позволили получить требуемые значения светотехнических параметров, существенно снизив при этом величину потребляемой электроэнергии.

Означает ли это, что в ближайшие несколько лет начнётся повсеместное внедрение в осветительные приборы светодиодов в качестве источников света, покажет время. Всё-таки существуют два основных недостатка светодиодов: высокая цена (следствием чего является высокая себестоимость люмена) и принципиально отличающееся от традиционных источников света (ламп) распределение света. Первый недостаток значительно повышает начальную стоимость светотехнических установок на основе светодиодов, второй делает невозможным прямую замену ламп на светодиоды в существующих изделиях, что требует дополнительных затрат на разработку новых систем. Безусловно, эти факторы сказываются на развитии светодиодных решений в светотехнике очень негативно и сильно тормозят его.

Однако существуют и факторы, стимулирующие внедрение светодиодных решений в светотехнику. Основными здесь выступают целевые программы, направленные на внедрение энергосберегающих технологий. Одной из них стала президентская программа «Новый свет», ориентированная на энергосбережение, энергоэффективность и модернизацию экономики и предусматривающая массовое производство светодиодов и внедрение светодиодных светильников. Также важную роль играют отраслевые программы, например программа ОАО «РЖД» по внедрению светодиодного освещения объектов железнодорожного транс-

порта в рамках общеотраслевой программы энергосбережения.

Безусловно, важным шагом к массовому внедрению светодиодов в светотехнические устройства должны стать принятые санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.1/2.1.1.2585-10. В них светодиоды одобрены к применению в качестве источников света с некоторыми ограничениями. Этот документ, содержащий изменения и дополнения ранее действующих гигиенических требований к освещению жилых и общественных зданий, зарегистрирован в Минюсте РФ, утверждён главным санитарным врачом РФ и вступил в силу 15 марта 2010 года.

В настоящее время ведутся разговоры о необходимости пересмотра действующих стандартов по освещению (ГОСТов, ОСТов и т.п.), в которых использование светодиодов не учитывается, между тем как потребность в их широком применении уже назрела. Данную работу пытаются одновременно инициировать и вести разные организации, оценивая её как одну из самых приоритетных. Однако надо отметить, что требования действующих стандартов в основном ориентированы на величины светотехнических характеристик, которых необходимо достигать при освещении тех или иных объектов, при этом строго не закрепляется, какими именно светильниками и с какими именно источниками света это надо делать. Так что источники света, разрешённые к использованию в освещении, определяются, прежде всего, в санитарных правилах и нормах, а туда светодиоды уже внесены.

Конечно, жизнь идёт, наука развивается, техника прогрессирует, и, как следствие, должны пересматриваться стандарты. Но нужно отметить, что главный шаг уже сделан и светодиоды включены в список источников света, разрешённых к использованию в светотехнических изделиях.

Также способствовать широкому распространению светодиодных технологий должны следующие меры, проведённые на государственном уровне:

- принятие технического регламента «О безопасности низковольтного оборудования» в статусе Федерального закона от 27.12.2009 № 347-ФЗ (принят ГД РФ 23.12.2009, одобрен СФ РФ 25.12.2009);
- установление запрета на приобретение государственными заказчиками ламп накаливания с 01.01.2011 на

основе Федерального закона от 23.11.2009 № 261-ФЗ.

Подводя итоги обзора, можно сказать, что светодиоды по таким своим свойствам, как надёжность, долговечность, стойкость к механическому воздействию, изначально превосходили традиционные источники света. По фотометрическим и электрическим параметрам они в настоящее время сравнялись с самыми эффективными лампами, а уже в ближайшие год-два наверняка превзойдут их. Себестоимость излучаемого светодиодом люмена пока остаётся высокой, но наблюдается её постепенное снижение. Эти свойства на фоне низкого собственного энергопотребления светодиодов делают их всё более привлекательными. Общая мировая тенденция, направленная на уменьшение потребления электроэнергии и повышение энергоэффективности экономики, поддерживается уже на государственном уровне и подкрепляется соответствующими законами, что также положительно влияет на расширение использования светодиодов в качестве источников света в светотехнических устройствах.

Ближайшие годы должны показать, насколько данные рассуждения обос-

нованны, и если они окажутся верны, то уже к 2015 году мы сможем наблюдать доминирование светодиодных изделий в окружающих нас светотехнических устройствах. ●

### ЛИТЕРАТУРА

1. Айзенберг Ю.Б. Энергосбережение — одна из важнейших проблем современной светотехники // Светотехника. — 2007. — № 6. — С. 6–10.
2. Гужов С., Полищук А., Туркин А. Концепция применения светильников со светодиодами совместно с традиционными источниками света // Современные технологии автоматизации. — 2008. — № 1. — С. 14–18.
3. Полищук А.Г., Туркин А.Н. Перспективы применения светильников со светодиодами для энергосберегающего освещения // Энергосбережение. — 2008. — № 2. — С. 52.
4. Полищук А.Г., Туркин А.Н. Светодиодные светильники — эффективный метод решения проблемы энергосбережения // Энергосбережение. — 2008. — № 3. — С. 30–31.
5. Туркин А. Перспективы применения мощных светодиодов Cree для освещения // Новости электроники. — 2009. — № 9.
6. Туркин А.Н. Мощные светодиоды — современное решение проблемы энергосбе-

режения // Энергосбережение. — 2009. — № 7. — С. 36–37.

7. Туркин А. Мощные светодиоды Cree для освещения: основные преимущества и перспективы применения // Полупроводниковая светотехника. — 2009. — № 2. — С. 14–17.
8. Шуберт Ф.Е. Светодиоды / пер. с англ. под ред. А.Э. Юновича. — М.: Физматлит, 2008. — 496 с.
9. Смирнов В., Туркин А. Sharp LED — и мощно, и ярко // Полупроводниковая светотехника. — 2010. — № 2. — С. 14–17.
10. Полищук А.Г., Туркин А.Н. Новое поколение светодиодов компании Cree для освещения // Автоматизация в промышленности. — 2008. — № 7. — С. 20–23.
11. Киптик М.И. Светодиоды в наружном освещении // Светотехника. — 2009. — № 3. — С. 32.
12. Бахарев И., Прокофьев А., Туркин А., Яковлев А. Применение светодиодных светильников для освещения теплиц: реальность и перспективы // Современные технологии автоматизации. — 2010. — № 2. — С. 76–82.

Автор — сотрудник фирмы  
**ПРОСОФТ**

Телефон: (495) 234-0636

E-mail: info@prosoft.ru

## Топологический трассировщик печатных плат ТороR — это:

- Высокая скорость и великолепное качество трассировки
- Превосходный набор инструментов, который многократно сокращает сроки разработки электронных устройств
- Гладкие, без изломов, проводники
- Уникальные алгоритмы и нетрадиционные подходы к решению сложных задач
- Автоматическое выравнивание задержек в сигналах

### Весенняя акция: вторая лицензия в подарок

Узнайте подробности на нашем сайте [www.eremex.ru](http://www.eremex.ru) или свяжитесь с нами по телефону (495) 232-1864

**EREMEX**  
Innovative Approach to Electronics Design

Москва • Тел.: +7 (495) 232-1864 • Факс: +7 (495) 232-1654  
info@eremex.ru • www.eremex.ru



**ТороR** Инструмент для создания шедевра

#347