

Источники света: вчера, сегодня, завтра

Юрий Широков (Москва)

В статье рассматривается проблема энергосбережения в освещении. Дано описание некоторых наиболее перспективных технологий и сделана попытка сравнения их в плане долгосрочных перспектив. Основное внимание уделено твердотельным источникам света, в качестве примера реализации которых рассматриваются светодиодные лампы серии XLamp™ компании CREE.

Немного истории

Более ста пятидесяти лет назад, в 1838 г., «Общество освещения газом Санкт-Петербурга» построило первый газовый завод. К концу XIX века почти во всех крупных городах России появились газгольдеры. Газом освещали улицы, железнодорожные станции, предприятия, театры и жилые дома. В Киеве инженером А.Е. Струве газовое освещение было устроено в 1872 г. Но прогресс не стоял на месте. Прошло сорок с небольшим лет, и мир увидел первую электрическую лампу накаливания.

Изобретателем электрической лампочки накаливания считают русского электротехника А.Н. Лодыгина. В 1872 г. он продемонстрировал образец лампы накаливания с угольной нитью и получил привилегию (патент) № 1847. В то же время другой изобретатель электрической лампочки, по другую сторону Атлантики, впервые задумался об использовании электрического освещения, когда газовая компания отключила газ в его мастерской за неуплату. Его имя – Томас Эдисон. На Всемирной выставке в 1881 г. он представил разработанную им систему освещения. Несколько лет спустя Эмиль Ратенау оснастил лампами



Рис. 1. Первая лампа накаливания с угольной нитью

накаливания Эдисона королевский театр в Мюнхене, чтобы продемонстрировать публике преимущества этого технического достижения. Впоследствии Эдисон принялся работать над лампой с угольной нитью накаливания, помещённой в стеклянный шар, из которого выкачан воздух (см. рис. 1). 27 января 1880 г. Эдисон получил патент на изобретение № 223898. Прошло более сотни лет, и человечество уже не мыслит себя

без электроэнергии и искусственного электрического света. В наши дни существует множество конкурирующих технологий его получения, но ни одна из них не является совершенной. И главная причина продолжающихся настойчивых поисков альтернатив – их низкая эффективность.

Почему же в наши дни так важна эффективность источников света?

По данным Министерства энергетики США, стоимость освещения складывается из составляющих, изображённых на рисунке 2.

Как видно, в стоимости освещения доминирует цена электроэнергии. По оценкам того же министерства,

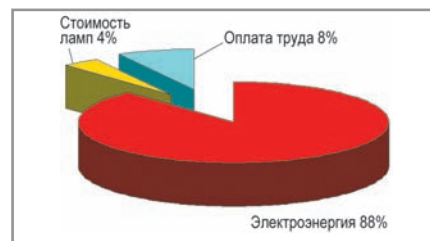


Рис. 2. Стоимость производства света

доля затрат энергии на освещение в крупных городах составляет 30%, а в целом от всей вырабатываемой в стране энергии она составляет 21%. В настоящее время лампы накаливания составляют приблизительно 42% всех используемых источников света; 41% составляют флуоресцентные лампы. Но именно лампы накаливания, вызывавшие такой заслуженный восторг более сотни лет назад, пожирают впустую львиную долю драгоценной электроэнергии. Каковы же наиболее интересные технологии, конкурирующие сегодня за право первенства? Для начала перечислим широко распространённые современные источники света:

- традиционные лампы на основе вольфрамовой спирали;
- вольфрамовые галогенные лампы;
- натриевые лампы низкого давления;
- натриевые лампы высокого давления;
- металлогалогидные лампы;
- ртутные лампы высокого давления;
- ртутные лампы низкого давления (флуоресцентные трубки);
- компактные флуоресцентные трубки;
- индукционные (ртутные, натриевые).

В таблице 1 перечислены основные достоинства и недостатки этих традиционных источников света. Как видно из таблицы, главный недостаток всех перечисленных типов ламп – их низкая эффективность.

Теперь посмотрим, насколько интересны перечисленные технологии получения света с точки зрения энергосбережения. По данным на конец 2004 года составлена сравнительная таблица эффективности разных источников света (см. табл. 2).

Более детальная картина преобразования энергии в лампах представлена в табл. 3. Лампы накаливания, не имеющие решительно никаких преимуществ перед другими источниками, кроме своей дешевизны, имеют КПД паровоза и в этом плане не могут кон-

Таблица 1. Преимущества и недостатки традиционных технологий получения света

Преимущества	Недостатки
Хорошая повторяемость характеристик Рентабельность производства Массовость производства Простые принципы работы Хорошо отлаженные технологии Развитая энергетическая инфраструктура Удобство для конечного пользователя Стандартизованность	Малая эффективность Большое выделение тепла Затруднённая настройка оптических параметров Небольшой срок службы Вышедшие из строя лампы загрязняют окружающую среду



Рис. 3. Металлогалоидная лампа мощностью 20 Вт

куруровать ни с одной из современных технологий. Практический интерес представляют газоразрядные и металлогалоидные источники света. Прежде чем мы несколько подробнее рассмотрим три наиболее интересные традиционные технологии, надо отметить, что вряд ли здесь можно ожидать качественного прорыва в их совершенствовании.

Керамические металлогалоидные лампы (CDM)

Внешний вид этих ламп показан на рисунке 3. Преимущества технологии:

- широкий диапазон мощностей – от 20 до 400 и более ватт;
- возможность создания колбы произвольной формы;
- импульсный режим запуска;
- высокая светоотдача – до 110 и выше лм/Вт;
- КПД почти в 6 раз выше, чем у традиционной лампы накаливания;
- компактная конструкция обеспечивает хорошие оптические характеристики.

При включении с электронным балластом (импульсный режим) время непрерывной работы таких ламп может достигать 20 тыс. ч.

Индукционные лампы

Внешний вид этих ламп показан на рисунке 4, а их преимущества перечислены ниже:

- до 100 тыс. ч непрерывной работы;
- светоотдача 12 клм при мощности 165 Вт;
- быстрый выход на рабочий режим;
- широкий диапазон рабочих температур;
- конструкция, практически не требующая обслуживания.

Принцип работы индукционной лампы (см. рис. 5) основан на идее Н. Тесла, выдвинутой им в конце XIX столетия. Индукционная лампа работает как обычная флюоресцентная, но при этом не имеет электродов. По сути она представляет собой трансформатор, в котором роль вторичной обмот-



Osram

Рис. 4. Индукционные лампы

ки играет колба лампы, заполненная газом. Магнитное поле, создаваемое двумя катушками, порождает электрическое поле в замкнутом витке (колбе лампы). Оно, в свою очередь, порождает электрический ток, который разогревает плазму, излучающую в ультрафиолетовом диапазоне.

Технологии на основе электронных балластов

Эти технологии в основном направлены на совершенствование управления газоразрядными лампами, что позволяет получить следующие преимущества:

- полностью электронное управление;
- возможность использования не только флюоресцентных ламп;
- улучшенная эффективность;
- повышенная светоотдача;
- существенное энергосбережение;
- управление яркостью свечения лампы.

Рисунок 6 иллюстрирует повышение эффективности работы флюоресцентной лампы при использовании в схеме её подключения элект-

Таблица 2. Сравнительная эффективность различных источников света

Тип	Светоотдача, лм/Вт
Обычные лампы накаливания	12
Вольфрамовые галогенные	20
Компактные флюоресцентные*	55
Индукционные	70
Металлогалоидные	90

*С индуктивным балластом

Таблица 3. Преобразование энергии в различных типах ламп

Тип лампы	% излучаемой энергии			% энергии на нагрев
	видимый свет	инфракрасное излучение	ультрафиолетовое излучение	
Традиционные лампы накаливания	9	84	<0,1	7
Галогенные с вольфрамовой спиралью	13	79	0,1	8
Флюоресцентные	25	35	0,4	40
Натриевые высокого давления	30	47	0,3	23
Натриевые низкого давления	26	44	0	30
Ртутные	14	49	2,0	35
Металлогалоидные	20	50	3	27
Лампы дневного света	53	42	5	0



GE

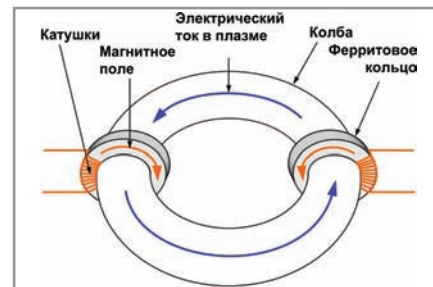


Рис. 5. Принцип действия индукционной лампы

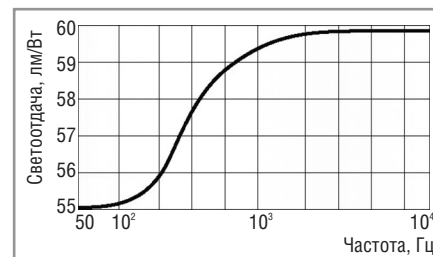


Рис. 6. Зависимость светоотдачи от частоты тока

ронного балласта. Светоотдача может достигать 110 лм/Вт.

В настоящее время электронные балласты активно вытесняют традиционные стартерно-дрессельные схемы включения люминесцентных ламп.

Что же дальше?

Развитие технологий Solid State Lightning (SSL) – твердотельных источников света

Когда мы говорим о SSL, то в первую очередь имеем в виду светодиодные (LED, СИД) источники (см. рис. 7). Они обладают рядом несомненных преимуществ, в числе которых экономичность, хорошая управляемость и опти-



Рис. 7. Один из первых коммерческих светодиодов

ческая совместимость, малые габариты, долговечность, высокая механическая прочность. Эти источники практически безынерционны и не боятся работы в режиме частых включений/отключений. Кроме того, низкое напряжение питания делает их незаменимыми в условиях высокой влажности, в агрессивных и взрывоопасных средах.

Электролюминесценция

Первые открытия в области электролюминесценции были сделаны в России и, как часто бывает, совершенно случайно. В 1923 г. российский физик О.В. Лосев обнаружил эффект слабого свечения кристаллов карборунда при пропускании через них электрического тока. Так был открыт эффект прямого преобразования энергии электрического тока в световую.

Однако КПД и световая мощность созданного источника света были настолько малы, что он представлял лишь научный интерес, хотя Лосев уже тогда наметил возможную область применения открытого им эффекта. Он писал: «...Светящийся дете-

ктор может быть пригоден в качестве светового реле как безынертный источник света».

Практическая же реализация твердотельных светоизлучающих приборов, представляющая коммерческий интерес, стала возможной лишь в 60 – 70 гг. после обнаружения эффективной люминесценции фосфида и арсенида галлия и их твёрдых растворов. На их основе были созданы первые светодиоды, и таким образом был заложен фундамент новой отрасли техники – оптоэлектроники.

Существенный вклад в развитие данной области внесли советские ученые. Ж.И. Алфёров (академик, директор Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе, лауреат Ленинской премии) получил золотую медаль Американского физического общества за исследования гетероструктур на основе Ga_{1-x}Al_xAs ещё в 70-х годах. В 2000 г., когда стало ясно, как велико значение этих работ для развития науки и техники, ему была присуждена Нобелевская премия.

В настоящее время одним из наиболее перспективных материалов для создания светодиодов считается нитрид галлия (GaN).

Технологии, базирующиеся на нитриде галлия, развиваются весьма бурными темпами. В 1989 г. Ш. Накамура (компания Nichia Chemical) начал первые исследования плёнок нитридов элементов III группы, выращенных методом газовой эпитаксии из металлоорганических соединений.

Уже в 1999 г. компании Nichia Chemical Corp., Hewlett-Packard, CREE выпускали по несколько десятков миллионов голубых и зелёных светодиодов в месяц. В июле 1999 г. Накамура сообщил, что светотдачу

этих приборов удалось довести до 60 лм/Вт, а мощность жёлтых СИД на основе InGaN – до 6 мВт.

Вообще же структуры на основе нитрида галлия (GaN) являются объектом пристальных исследований во всём мире на протяжении последних 12 лет. Сейчас количество компаний и исследовательских центров, занимающихся этой тематикой, перевалило за пять сотен. Для сравнения можно сказать, что в 2000 г. их насчитывалось около 350. Несомненных коммерческих успехов добились производители голубых, зелёных и белых светодиодов на основе GaN. В 2004 г. объёмы продаж превысили 3 млрд. долл., из них около 50% пришлось на СИД белого свечения. В 2005 г., по прогнозу Strategies Unlimited, объёмы продаж достигнут 3,95 млрд. долл. Оптимистичные прогнозы развития рынка СИД на основе GaN главным образом связаны со сверхъяркими светодиодными лампами, ультрафиолетовыми излучателями, а также лазерными диодами. Последние найдут себе применение в новых поколениях оптических устройств хранения информации.

Остановимся на SSL-источниках видимого излучения. Со времён изобретения первой электрической лампочки ни одна из технологий получения искусственного света не выдерживает конкуренции со светодиодной в плане перспектив сбережения энергии. Лучшие образцы белых СИД-ламп в настоящее время имеют эффективность более 200 лм/Вт (CREE Lighting). Для примера можно сказать, что весьма популярные ксеноновые газоразрядные лампы для автомобильных фар обеспечивают светотдачу порядка 90...120 лм/Вт. Таким образом, мы вплотную подошли к эре «холодного» света (см. рис. 8). По цене одного произведённого люмена SSL-технологии достигли рубежа единиц центов за люмен, и этот показатель стремительно улучшается (см. рис. 9).

Что же собой представляют современные светодиодные источники света?

Общее устройство светодиодной лампы на примере изделия Luxeon фирмы Lumileds Lighting показано на рисунке 10. Понятно, что показатели КПД определяются не только самой лампой, но также и её источником питания. Борьба за высокую экономич-

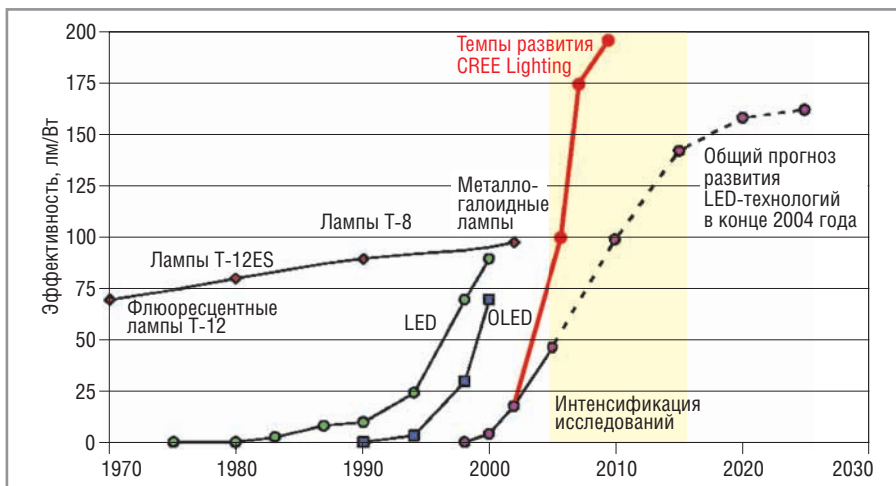


Рис. 8. Прогноз совершенствования SSL-технологий

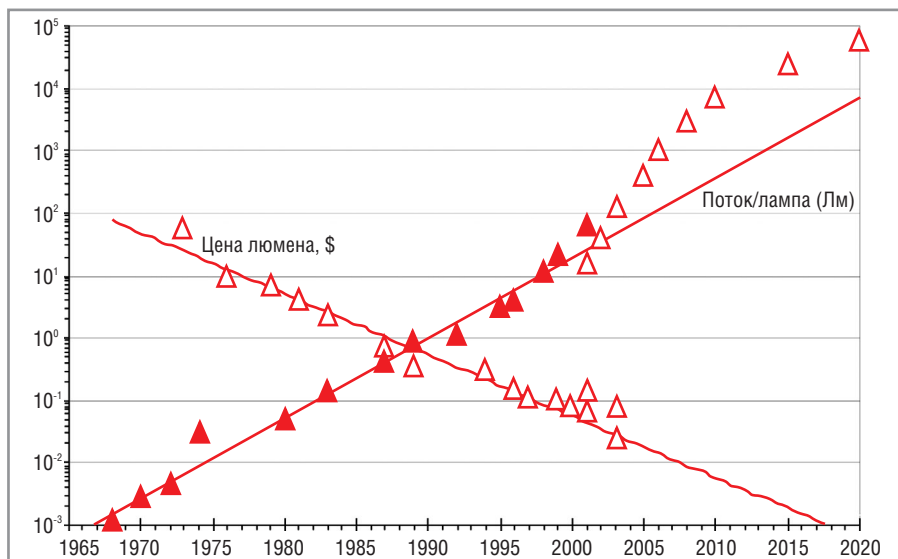


Рис. 9. Прогноз стоимости 1 лм для SSL-источников

Белые значки отражают динамику изменений для SSL-источников белого света, красные – соответственно красных

ность идёт и в сфере специализированных микросхем для источников питания SSL-устройств. В последнее время большое распространение получили так называемые драйверы светодиодов. По сути они являются источниками тока, обеспечивающими работу LED в точке его вольт-амперной характеристики, где достигается наибольший КПД. В большинстве случаев такие драйверы работают по принципу широтно-импульсного регулирования и способны поддерживать оптимальный режим работы диода в широком диапазоне питающих напряжений с КПД преобразования, достигающим 95 и более процентов, что весьма актуально для применений с автономными источниками питания.

Где мы находимся сейчас?

Большие надежды возлагаются сегодня на следующие направления совершенствования технологий SSL, позволяющих повысить КПД, продлить срок службы и снизить цену:

- повышение внутренней квантовой эффективности кристаллов;
- совершенствование технологий выращивания и формы кристаллов;

- повышение прямого рабочего напряжения;
- разработка более эффективных люминофоров;
- совершенствование технологий корпусирования;
- термостабилизация кристаллов для работы в более жёстких режимах;
- стандартизация корпусов.

Астрономические средства, вкладываемые в совершенствование технологий производства кристаллов, обеспечивают быстрый прогресс в этой области (см. рис. 11). Слабые места пока существуют на этапах производства из кристаллов готовых приборов, создания систем освещения на их основе и адаптации систем освещения к разным сферам применения. Проблема заключается в том, что перечисленными сферами ведают уже не производители кристаллов, а значит, здесь требуется согласованность действий всех участников цепочки, ведущей к потребителю.

Практические успехи и достижения

Значительным шагом на пути создания конкурентоспособного СИД-ис-



Рис. 11. Точки приложения усилий по внедрению СИД-технологий

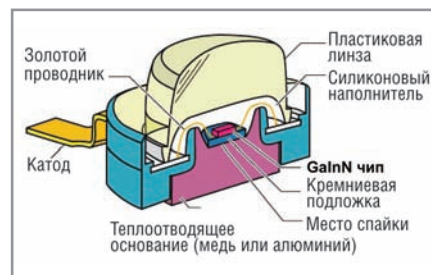


Рис. 10. Устройство светодиодной лампы

точника света стал выпуск компанией CREE светодиодных ламп серии XLamp™ 7090 (см. рис. 12). Эта компания является сейчас безусловным лидером в производстве кристаллов для сверхъярких светодиодов голубого и белого свечения. На сегодняшний день она производит самые яркие из коммерчески доступных однокристалльных светодиодных ламп. Серия этих ламп состоит из источников восьми основных цветов: белого, светло-голубого, голубого, бирюзового, зеленого, янтарного, красно-оранжевого и красного. Успехи компании CREE видны из приведённой диаграммы (см. рис. 8), отражающей прогнозы эффективности SSL-источников на конец 2004 г. Уже в 2005 г. показатель лм/Вт изделий фирмы доходит до 250. Технологии, предлагаемые компанией, значительно опережают самые смелые прогнозы специалистов фирмы Lumileds Lighting – одного из лидеров в производстве ярких и сверхъярких светодиодов. Лучшие образцы продукции этой компании уступают изделиям CREE по светоотдаче втрое.

Весьма важен, как уже упоминалось, вопрос корпусирования кристаллов СИД. Наиболее перспективной и прогрессивной считается технология поверхностного монтажа – Chip-On-Board (COB). При таком способе монтажа обеспечивается наилучший теплоотвод. Именно в таких корпусах (см. рис. 12) производятся СИД-лампы CREE. Для обеспечения

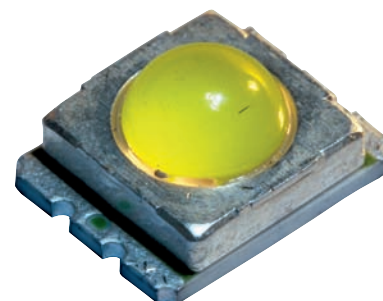


Рис. 12. Лампа серии XLamp™ 7090 производства компании CREE

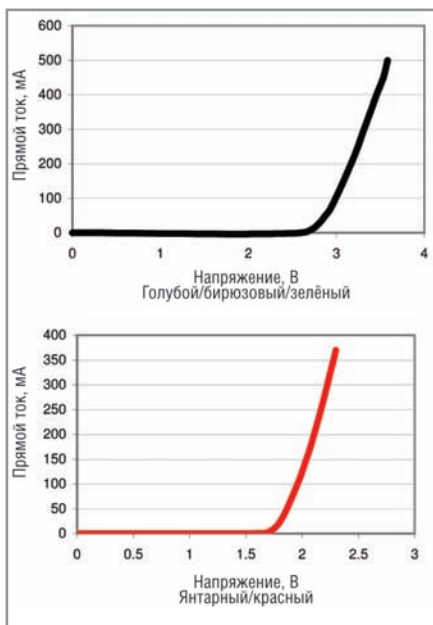


Рис. 13. Вольт-амперные характеристики XLamp™ 7090

гарантий заявленных характеристик полученные кристаллы делятся на группы в соответствии с преимущественной длиной волны излучения и яркостью. Каждой группе присвоен соответствующий код. В таблице 4 приведены диапазоны длин волн для светодиодных ламп разных цветов серии 7090, а в таблице 5 – величины светового потока, излучаемого лампами различных групп. Эти лампы рассчитаны на номинальный рабочий ток 350 мА при прямом напряжении до 3,5 В. Вольт-амперные характеристики приборов разного цвета свечения приведены на рисунке 13, а зависимости интенсивности свечения от прямого тока – на рисунке 14.

Специалистами компании ПРОСОФТ, официального дистрибьютора продукции CREE в России, разработаны оптимальные конструкции

Таблица 4. Диапазоны длин волн ламп CREE

Цвет	Код группы	Максимальная основная длина волны, нм	Минимальная основная длина волны, нм
Светло-голубой	4	455	460
	5	460	465
Голубой	3	465	470
	4	470	475
Бирюзовый	2	500	505
	3	505	510
Зелёный	2	520	525
	3	525	530
	4	530	535
Янтарный	2	585	590
	3	590	595
Красно-оранжевый	3	610	615
	4	615	620
Красный	2	620	625
	3	625	630
	4	630	635

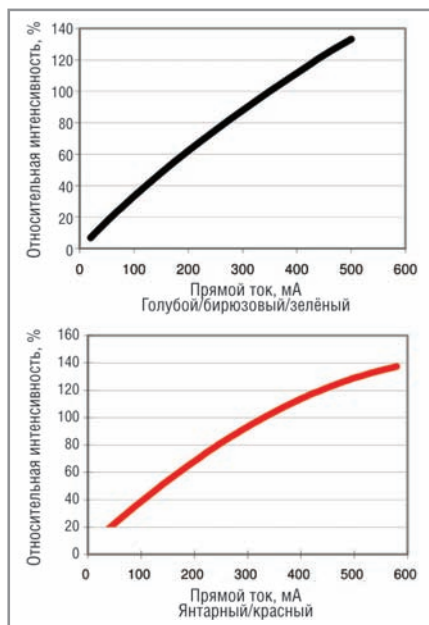


Рис. 14. Зависимость интенсивности излучения от тока для XLamp™ 7090

драйверов для питания этих светодиодных ламп. Ознакомиться с действующими образцами и получить исчерпывающие консультации можно приехав в московский офис компании.

Наиболее значимыми игроками рынка LED-ламп на сегодняшний день являются компании:

- Cree (США);
- Nichia Chemical Corp. (Япония);
- Kingbright Electronics (Тайвань);
- OSRAM Optosemiconductors (Германия);
- Lumileds Lighting (США);
- Agilent Technologies (США).

Направление развивается так динамично, а перспективы получения прибыли для производителей настолько привлекательны, что практически все серьёзные игроки рынка электронных компонентов уделяют внимание этой тематике. На рисунке 15 схематично показаны тенденции замещения LED-источниками осветительных приборов в разных сферах деятельности человека, таких как:

чески показаны тенденции замещения LED-источниками осветительных приборов в разных сферах деятельности человека, таких как:

- световые указатели и сигнализация;
- транспорт;
- мобильные устройства;
- различные виды подсветки;
- военно-космические применения;
- коммуникационные системы;
- бытовые применения.

Светодиодные лампы со стандартными цоколями, полностью взаимозаменяемые с галогенными, серийно выпускают фирмы Lumileds Lighting, OSRAM и многие другие. В настоящее время существуют даже экспериментальные лампы для автомобильных фар, не уступающие традиционным по излучаемому световому потоку. Вообще для автомобильной индустрии твердотельные источники света оказались весьма интересны. В подсветке приборных панелей и салона, габаритных и стоп-сигналах такие производители, как «Мерседес», БМВ, «Ауди», применяют сверхъяркие светодиоды. Светодиодная подсветка всё чаще используется в приборных панелях летательных аппаратов и локомотивов. Помимо большого времени наработки на отказ и хорошей экономичности, производителей привлекает механическая прочность и безынерционность твердотельных источников. Уже достаточно давно производятся и коммерчески доступны светодиодные источники света для специальных применений. Их используют шахтёры, спелеологи, спасатели, военные (см. рис. 16). Достоинства светодиодных фонарей оценили и туристы. Оборудование на основе СИД для

Таблица 5. Световые потоки ламп CREE

Группа	Минимальный световой поток, лм	Максимальный световой поток, лм
C	4,8	6,3
D	6,3	8,2
E	8,2	10,7
F	10,7	13,9
G	13,9	18,1
H	18,1	23,5
J	23,5	30,6
K	30,6	39,8
M	39,8	51,7
N	51,7	67,2
P	67,2	87,4
Q	87,4	113,6
R	113,6	147,7
S	147,7	192
T	192	249,6



Рис. 15. Тенденции замещения СИД-источниками традиционных осветительных приборов

подсветки фасадов зданий и офисов, витрин магазинов, архитектурных памятников, фонтанов не удивляет уже никого. Следующим шагом, видимо, будет использование этих источников для освещения производственных и общественных помещений, тоннелей, станций метро и других

аналогичных объектов. Судя по стремительной динамике развития и удешевления технологий, лет через пять, а может быть, и гораздо раньше, мы станем свидетелями массового прихода СИД-ламп в сферу бытового освещения. И это будет начало конца эры лампочки Эдисона.



Рис. 16. Примеры применения СИД-ламп

ЛИТЕРАТУРА

1. Отчёты корпорации Nichia Chemical Corp.
2. Forecast Strategies Unlimited, прогнозы развития направления.
3. Лосев О.В. У истоков полупроводниковой техники. Избранные труды. Л., 1972.
4. Сайт компании CREE: <http://www.cree.com>.
5. Техническая документация CREE на лампы серии XLamp™ 7090.
6. Лаврус В.С. Искусственное освещение.
7. Сайт компании ПРОСОФТ: www.prochip.ru.



Яркая идея для Вашего бизнеса

Самые яркие в мире светодиодные лампы XLamp™ 7090

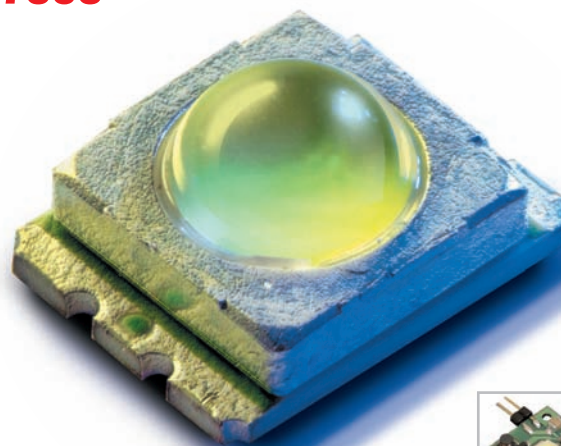


ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛАМП XLAMP™

- Яркость до 87 лм
- Потребляемый ток 350 мА
- Мощность 1 Вт

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

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



Для ламп XLamp™ разработаны и производятся контроллеры!



PROSOFT®

ПРОСОФТ — АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА

Телефон: (095) 234-0636 • E-mail: info@prochip.ru • Web: www.prochip.ru