

Окончание. Начало в № 5'2004

# Современные светодиоды

**Еще недавно светодиоды были всего лишь устройствами индикации, а сегодня это уже высокоэффективные источники света, которые в ближайшие 10–15 лет преобразят мир искусственного освещения и полностью заменят лампы накаливания.**

Юрий Давиденко

david@leasat.net

Несколько слов о том, какие на сегодняшний день существуют технологии изготовления светодиодов и светодиодных модулей. Как уже упоминалось, используют два технологических подхода: метод молекулярно-лучевой эпитаксии (MBE — Molecular Beam Epitaxy) в условиях сверхвысокого вакуума и метод осаждения пленок из металлоорганических соединений (MOCVD — Metalorganic Chemical Vapor Deposition). Что касается выращивания кристаллов, основная технология — металлоорганическая эпитаксия. Для этого процесса необходимы особо чистые газы. В современных установках предусмотрена автоматизация и контроль состава газов, их отдельные потоки, точная регулировка температуры газов и подложек. Толщины выращиваемых слоев измеряются и контролируются в пределах от десятков ангстрем до нескольких микрон. Разные слои необходимо легировать примесями, донорами или акцепторами, чтобы создать p-n-переход с большой концентрацией электронов в n-области и дырок — в p-области.

За один процесс, который длится несколько часов, можно вырастить структуры на 6–12 подложках диаметром 50–75 мм. Очень важно обеспечить и проконтролировать однородность структур на поверхности подложек. Стоимость установок для эпитаксиального роста полупроводниковых

нитридов, разработанных в Европе (фирмы Aixtron и Thomas Swan) и США (Emcore), достигает \$1,5–2 млн. Опыт разных фирм показал, что научиться получать на такой установке конкурентоспособные структуры с необходимыми параметрами можно за время от одного года до трех лет. Это — технология, требующая высокой культуры.

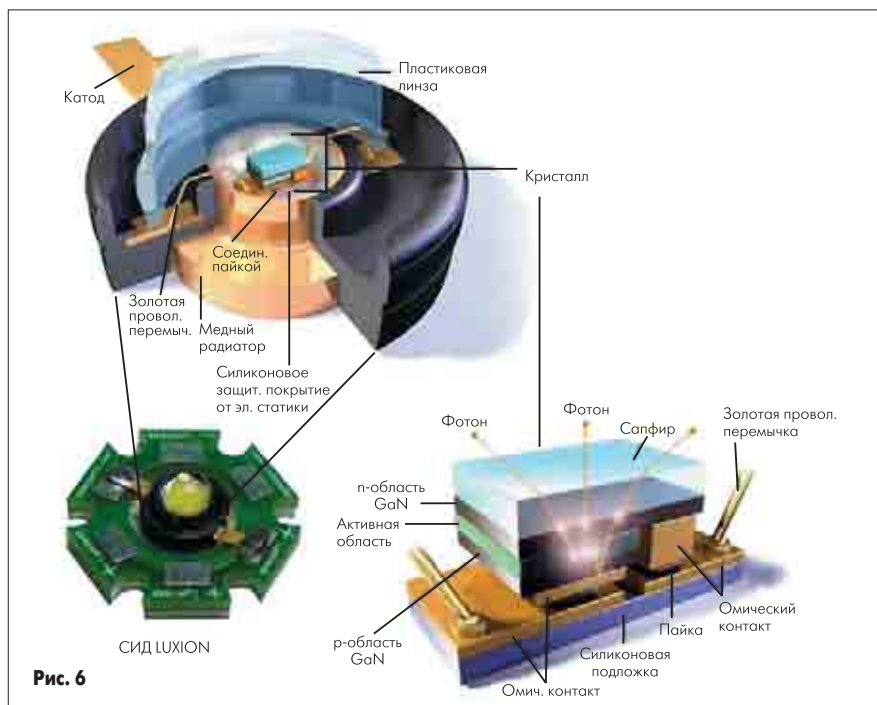
Важным этапом технологии является планарная обработка пленок: их травление, создание контактов к p- и n-слоям, покрытие металлическими пленками для контактных выводов. Пленку, выращенную на одной подложке, можно разрезать на несколько тысяч чипов размерами от 0,24×0,24 до 1×1 мм<sup>2</sup>.

Следующим шагом является создание светодиодов из этих чипов. Необходимо смонтировать кристалл в корпусе, сделать контактные выводы, изготовить оптические покрытия, просветляющие поверхность для вывода излучения или отражающие его. Если это белый светодиод, то нужно равномерно нанести люминофор. Надо обеспечить теплоотвод от кристалла и корпуса, сделать пластиковый купол, фокусирующий излучение в нужный телесный угол. Около половины стоимости светодиода определяется этими этапами высокой технологии.

Необходимость повышения мощности для увеличения светового потока привела к тому, что традиционная форма корпусного светодиода перестала удовлетворять производителей из-за недостаточно теплоотвода. Надо было максимально приблизить чип к теплопроводящей поверхности. В связи с этим на смену традиционной технологии и несколько более совершенной технологии SMT (поверхностный монтаж) приходит наиболее передовая технология COB (chip on board).

Светодиоды, выполненные по технологии SMT и COB, монтируются (приклеиваются) непосредственно на общую подложку, которая может исполнять роль радиатора — в этом случае она делается из металла. Так создаются светодиодные модули, которые могут иметь линейную, прямоугольную или круглую форму, быть жесткими или гибкими — то есть призваны удовлетворить любую прихоть дизайнера. Появляются и светодиодные лампы с таким же цоколем, как у низковольтных галогенных. А для мощных светильников и прожекторов изготавливаются светодиодные сборки на круглом массивном радиаторе.

Раньше в светодиодных сборках было очень много светодиодов. Сейчас, по мере увеличения мощности, светодиодов становится меньше, зато оптическая система, направляющая световой поток в нужный телесный угол, играет все большую роль.



На рис. 6 показано строение мощного 5-ваттного светодиода Luxeon III фирмы Lumileds Lighting (США).

Конструкция светодиода Luxeon III обеспечивает эффективный отвод тепла от кристалла. Значительное количество энергии, подводимой к светодиоду, все еще расходуется на нагрев кристалла. Световая отдача белого светодиода Luxeon III при номинальном прямом токе 0,7 А составляет 25 лм/Вт, световой поток при этом равен 65 лм.

Светоотдача Luxeon III уже превосходит светоотдачу классических и галогенных ламп накаливания, и в ближайшее время Lumileds Lighting планирует вплотную подойти к светоотдаче люминесцентных ламп — 80–100 лм/Вт.

Lumileds Lighting ([www.lumileds.com](http://www.lumileds.com)) является лидером в производстве сверхъярких мощных светодиодов всех цветов, включая и белый.

Мощные светодиоды Lumileds Lighting разделяются по световому потоку на следующие серии:

- Luxeon — 25 лм;
- Luxeon III — 65–80 лм;
- Luxeon V — 120 лм.

По исполнению эти серии делятся так: Emitter; Star; Star/C; Star/O; Star/IDC; модули — Line, Ring, Flood; подсветка — DCC; Custom.

На рис. 7 показан внешний вид белого светодиода Luxeon III Star (хорошо видно, что кристалл и рефлектор покрыты слоем желтого люминофора).

На рис. 8 — слева направо Luxeon Star/O (с оптической системой), Luxeon Star и Luxeon Emitter.

На рис. 9 показан Luxeon Side Emitting на основании Star.



Рис. 7



Рис. 8

Таблица 1

Тип изделия	Исполнение	Световой поток, Лм	Прямой ток, (номинальный), А	Прямое напряжение, (номинальное), В	Угол излучения, градус	Цветовая температура ССТ (номинальная), К
Luxeon 5-Watt Emitter						
LXHL-PW02	Lambertian	120	0,7	6,84	120	5500
LXHL-DW02	Side Emitting	110	0,7	6,84	80	5500
Luxeon V Portable						
LXHL-PW03	Emitter	120	0,7	6,84	120	5500
LXHL-LW6C	Star	120	0,7	6,84	120	5500

Таблица 2

Тип изделия	Исполнение	Световой поток, Лм	Прямой ток, (номинальный), А	Прямое напряжение, (номинальное), В	Угол излучения, градус	Цветовая температура излучения ССТ (номинальная), К
LXHL-PW09	Emitter	65	0,7	3,7	140	5500
		80	1	3,9		
LXHL-LW3C	Star	80	1	3,9	140	5500
		65	0,7	3,7		

Светодиоды Luxeon Star удобно соединять между собой и монтировать на дополнительный радиатор (рис. 10).

В таблице 1 приведены технические характеристики некоторых светодиодов белого света серий Luxeon V, Luxeon V Portable и Luxeon 5-Watt Emitter.

В таблице 2 — технические характеристики светодиодов белого света серии Luxeon III.

Дополнительную информацию о светодиодной продукции фирмы Lumileds Lighting можно получить на сайтах [www.luxeon.com](http://www.luxeon.com) и [www.lumileds.com](http://www.lumileds.com).

Преимущества светодиодов, кроме высокой световой отдачи, малого энергопотребления и возможности получения любого цвета излучения, заключаются в целом ряде замечательных свойств.

Отсутствие нити накала благодаря нетепловой природе излучения светодиодов обуславливает длительный срок службы. Производители светодиодов декларируют срок службы до 100 000 часов или 11 лет непрерывной работы, — срок, сравнимый с жизненным циклом многих осветительных установок.

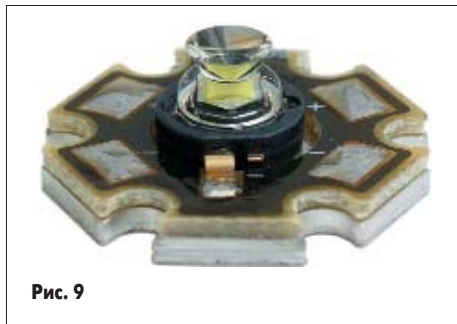


Рис. 9

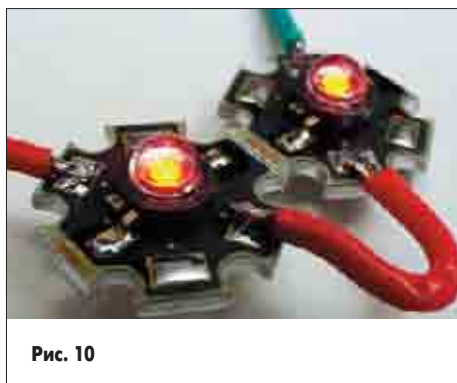


Рис. 10

Напомним, что у ламп накаливания средний срок службы составляет 1 000 часов, у люминесцентных в большинстве случаев срок службы ограничивается 10–15 тысячами часов, хотя имеются и долгожители, так называемые безэлектродные индукционные лампы (QL у Philips Lighting, GENURA у GE Lighting и ENDURA у OSRAM). Отсутствие стеклянной колбы у светодиодов определяет очень высокую механическую прочность и надежность.

Малое тепловыделение и низкое питающее напряжение гарантируют высокий уровень безопасности, а безынерционность делает светодиоды незаменимыми, когда нужно высокое быстродействие (например, для светодорожек, стоп-сигналов и пр.).

Сверхминиатюрность и встроенное светораспределение определяют другие, не менее важные достоинства. Световые приборы на основе светодиодов оказываются неожиданно компактными, плоскими и удобными в установке. Не следует забывать и об экологичности светодиодов (отсутствие в них ртутисодержащих компонентов по сравнению с люминесцентными лампами), а также об отсутствии электромагнитных излучений и помех, что крайне важно в современных условиях ужесточения экологических норм.

Единственным недостатком на сегодняшний день у светодиодов является цена. Пока что один люмен, излученный светодиодом, стоит в 100 раз выше, чем у галогенной лампы. Но производители светодиодов утверждают, что в ближайшие 2–3 года этот показатель будет снижен в 10 раз.

### Производители светодиодов

Рынок светодиодов расценивается как исключительно важный всеми производителями электронных компонентов, включая «китов» светотехнической индустрии. В течение последних пяти лет светодиодный рынок устойчиво развивается, достигая величины прироста товарной массы до 60%. По оценкам аналитиков ожидается, что к 2005 году ежегодный объем рынка составит более \$3 млрд.

Чтобы изготавливать качественные светодиоды в нужном количестве, понадобилось слияние двух отраслей — электронной и све-



Рис. 11

тотехнической. Все западные гиганты, производящие светодиоды для светотехники по полному циклу, начиная с производства чипов и заканчивая различными светодиодными модулями и сборками, а также светильниками на их основе, идут по этому пути. Количество заключенных стратегических альянсов, а также возникновение новых компаний, особенно тайваньских, специализирующихся на выпуске светодиодов, явно рекордное в последние годы, косвенно свидетельствует о серьезном движении капиталов:

- General Electric заключила союз с производителем полупроводниковых приборов Emcore, создав компанию GEL Core.
- Philips Lighting совместно с Agilent, дочерней компанией Hewlett-Packard, создали предприятие LumiLeds.
- Osram объединяет усилия с полупроводниковыми предприятиями своей материнской компании Siemens.

Как заметил Макаранд Чипалкати, менеджер по маркетингу подразделения Opto Semiconductors компании Osram Sylvania, специализирующегося на устройствах LED, производители светотехники (выпускающие лампы накаливания и люминесцентные лампы) сами уничтожают свой бизнес. Но если

сегодня не «наступить на горло собственной песне», то завтра придут другие и сделают это куда более жестко.

Впрочем, существуют компании, специализирующиеся только на производстве чипов. Это предприятия радиоэлектронной промышленности, и они не занимаются светотехникой. К их числу относится Nichia Chemical.

Итак, перечислим основных производителей.

**Nichia Chemical**, Япония ([www.nichia.com](http://www.nichia.com)) Компания, впервые разработавшая LED синего и белого свечения на основе структур InGaN, сохраняет лидирующие позиции в производстве сверхъярких синих, зеленых и белых светодиодов.

**Lumileds Lighting**, США ([www.lumileds.com](http://www.lumileds.com)) Совместное предприятие Agilent Technologies и Philips Lighting. Производство сверхъярких светодиодов с повышенным током накачки, светодиодных сборок и модулей (Barracuda, Luxeon) очень высокой яркости.

**Agilent Technologies**, США ([www.agilent.com](http://www.agilent.com)) Отделение электронных компонентов компании Hewlett-Packard, с 1999 года — самостоятельная компания. Признанный лидер в разработке сверхъярких LED.

**OSRAM Optosemiconductors**, штаб-квартира компании находится в Германии, производственные мощности — в США и Малайзии ([www.osram-os.com](http://www.osram-os.com))

Бывшее совместное предприятие OSRAM и Infineon Technologies, которое сейчас полностью принадлежит OSRAM. Производство сверхъярких светодиодов, в том числе для поверхностного монтажа. Очень широкая линейка светодиодных модулей (линейные, гибкие, круглые и др.). В конце 2003 года приступили к выпуску новой серии мощных светодиодов Golden Dragon (рис. 11).

Чипы и отдельные светодиоды производят компании:

- Cree ([www.cree.com](http://www.cree.com));
- Opto Technology ([www.optotech.com](http://www.optotech.com));
- GEL Core ([www.gelcore.com](http://www.gelcore.com));
- Vishay Semiconductors ([www.vishay.com](http://www.vishay.com)).

На российском рынке и в СНГ хорошо известны также тайваньские производители:

Kingbright Electronics ([www.kingbright.com](http://www.kingbright.com), [www.kingbright-led.com](http://www.kingbright-led.com)), Ligitek Electronics ([www.ligitek.com](http://www.ligitek.com)), Para Light Electronics ([www.para.com.tw](http://www.para.com.tw)).

Полный список фирм-производителей оптоэлектронных компонентов можно посмотреть (и попасть на их сайты) по ссылке [http://www.w.itis.spb.ru/win/link\\_opt.htm](http://www.w.itis.spb.ru/win/link_opt.htm), а здесь можно найти всех тайвано-китайских производителей: [http://www.manufacturers.com.tw/search\\_keyword.php?st=1&sk=LED+lamp](http://www.manufacturers.com.tw/search_keyword.php?st=1&sk=LED+lamp).

В России светодиоды, в том числе белого света, выпускаются следующими компаниями:

- «Корвет-лайтс» ([www.corvette-lights.ru](http://www.corvette-lights.ru));
- АО «ПРОТОН» ([www.proton.orel.ru](http://www.proton.orel.ru));
- ООО «ТрансЛед» ([www.transled.ru](http://www.transled.ru));
- НПЦ ОЭП ОПТЭЛ ([www.optelcenter.com](http://www.optelcenter.com));
- «Светлана Оптоэлектроника» ([www.svetlana-o.spb.ru](http://www.svetlana-o.spb.ru)).

По конструкции и технологическому исполнению наши светодиоды не уступают зарубежным, специалисты перечисленных компаний имеют соответствующие патенты. В Москве и Санкт-Петербурге есть возможность выращивать собственные чипы — например, эпитаксиальная установка имеется в Санкт-Петербургском Физтехе, — но для промышленного производства необходимо целевое финансирование и пока наши компании используют зарубежные чипы.

Характеристики светодиодов белого света представлены в таблице 3 (стандартный корпус диаметром 5 мм и прямым током 20 мА).

В таблице 4 представлены более мощные светодиоды с прямым током от 150 до 350 мА.

Несколько слов об отличии основных показателей качества белых светодиодов, характерных для дешевых и более дорогих, как правило, высококачественных, поставляемых на светодиодный рынок российскими компаниями и зарубежными — Nichia, Lumileds и др.

Обычно более дешевым типам светодиодов присущи следующие особенности. В течение первых 4000 часов наработки даже в нормальных климатических условиях происходит падение яркости на 35% из-за пожелтения светодиодной колбы из эпоксидного материала, потемнения металлического покрытия лунки

Таблица 3

Тип изделия	Прямое напряжение номин., В	Сила света, при Iпр = 20 мА, мкд	Угол излучения, градус	Производитель
L-513NWC-30D	3,5	3500-5900	30	PARA LIGHT ELECTRONICS
L-513LWC	3,5	5000	15	
L-5T3VW5C-D1	3,5	8500	18	
L-5T3VW5C-D2	3,5	7500	25	
NSPL500S	3,6	6400	15	Nichia
NSPL510S NSPW510BS	3,6	1800	50	
NEPW500BS	3,6	6400	20	
NSPW515BS	3,6	480	70	
L-7524PWC-H	3,7	7500	18	Kingbright Electronics
W7114PWC/H	3,7	4000	20	
L-7083PWW-H	3,7	1000	60	
LWK3333-30	3,5	1500	30	LIGITEK Electronics
LWK3333	3,5	3000	16	
LWK3833	3,5	4000	12	
TLCW5100	3,9	4000 при Iпр = 30 мА	18	Vishay Semiconductors
LC503PWH1-15G	3,6	5000	15	Cotco
КИПД80Б	3,5	3000	23	АО Протон
КИПД 21 СЗ-Б	3,5	4000	20	ТрансЛед

Таблица 4

Тип изделия	Световой поток, Лм (Сила света, Кд)	Прямой ток номин., мА	Прямое напряжение номин., В	Угол излучения, градус	Производитель
Golden DRAGON™ LWW5SG	25	350	3,8	120	OSRAM Optosemiconductors
Luxeon Emitter LXHL-BW01 LXHL-PW01	18	350	3,42	110	Lumileds Lighting
Luxeon™ Warm White LXHL-BW03 LXHL-MWGC	20	350	3,42	110	
LXHL-BW02 LXHL-MWEC LXHL-MW1D	25	350	3,42	110	
NICHIA JUPITER™ NCCW022	23	350	3,8	70	NICHIA
NCCW0	23			35	
Enhanced Power LED EP2012-150BW1	3 (20)	150	3,4	10	PARA LIGHT ELECTRONICS
EP2032-150BW1	3 (15)	150	3,4	10	
EP2034-150BW1	3 (6)	150	3,4	20	
EP2036-150BW1	3 (5)	150	3,4	30	
EP204K-150BW1	3 (3)	150	3,4	100	

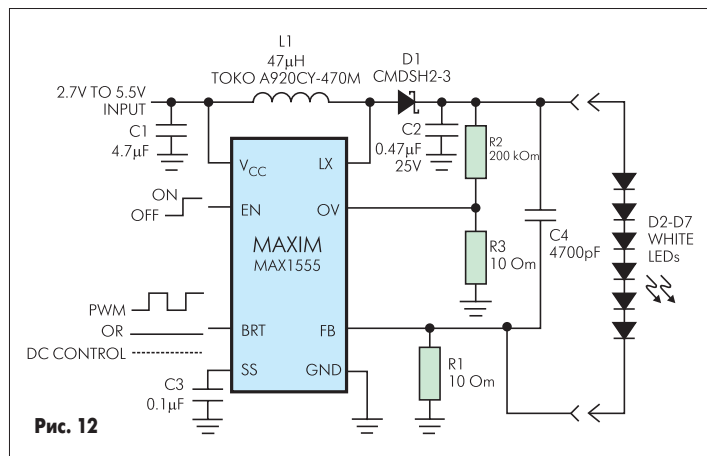


Рис. 12

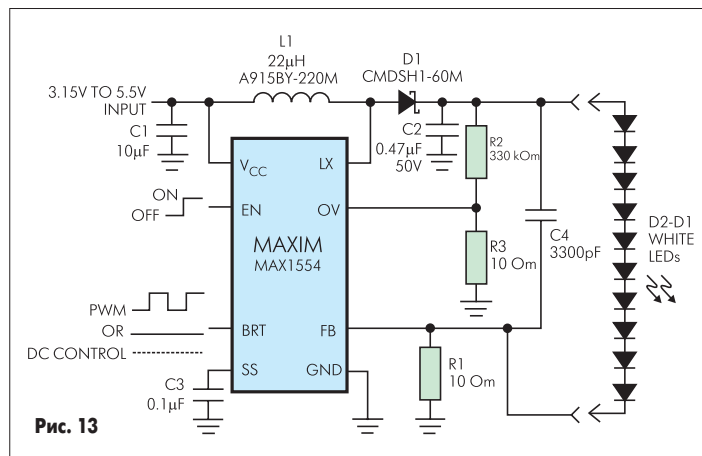


Рис. 13

отражателя, в которую помещен светодиодный чип, а также деградации излучательной способности как синего светодиодного чипа, так и нанесенного слоя люминофора. В качественных приборах эти проблемы сведены к минимуму, и деградация яркости светодиода за 50 000 часов не превышает 20%.

Большое значение имеют такие параметры светодиода, как сила света, угол и диаграмма направленности излучения.

Сила света светодиода представляет собой количество светового потока, излучаемого вдоль выбранного направления в пространстве. Как правило, сила света излучателя зависит от направления излучения. Единица силы света — кандела (кд). Упрощенно можно считать, что сила света показывает, какую долю светового потока отдает источник в рассматриваемом направлении.

Для каждой конструкции СИД, а также типа кристалла, характерна определенная диаграмма излучения. Поэтому некорректно говорить о силе света, не определяя угол излучения, и наоборот. Следует обращать внимание, на каком уровне от максимума прямого тока светодиода фиксируется полный угол излучения. Угол, который получается при освещении светодиодом листа бумаги, лишь приблизительно позволяет сравнивать отдельные СИД по принципу «меньше — больше».

Недобросовестные изготовители (Юго-Восточной Азии) часто пользуются отсутствием у потребителя средств измерений (кроме их собственных глаз), предлагая «слабую» группу вместо «сильной» по демпинговой цене. Так рождаются легенды о низких ценах. На самом деле цена соответствует качеству и действительным параметрам.

### Осветительные приборы

Идея прямой замены ламп накаливания на светодиодные «аналоги» уже давно не воспринимается как фантастическая. «Прямые заменители» на базе светодиодов созданы как для низковольтных «галогенок» MR-11 и MR-16 ([www.optotech.com/MR16.htm](http://www.optotech.com/MR16.htm)), так и для ламп с другими стандартными цоколями ([www.ledpower.com](http://www.ledpower.com), [www.g-nor.com](http://www.g-nor.com)). Процесс «замены» быстрее всего протекает в «мобильных» приложениях:

- подсветка всевозможных ЖК-дисплеев, начиная с мобильных телефонов и заканчивая ЖК-мониторами;

- фонари для разного рода работ, карманные фонарики, велосипедные фары и т. д.

Пожалуй, самое интересное — это процесс вторжения светодиодных технологий в «традиционное» освещение. Начался он с установок, где не требуется высокий уровень освещенности: дежурное и аварийное освещение, ночное интерьерное освещение, знаки и таблички, «маркировочное» освещение — светодиодных светильников для освещения лифтовых кабин и лестничных клеток (площадки, пролеты, марши).

С ростом световой отдачи и удешевлением приборов светодиодная «экспансия» распространяется не только на локальное, но и на общее освещение, в котором лидирующее положение пока занимают традиционные и галогенные лампы накаливания, а также люминесцентные лампы. По прогнозам это время не за горами, к 2010–2015 году производители обещают довести световую отдачу белых светодиодов до 150–200 лм/Вт, а цену на них снизить до стоимости нынешних ламп накаливания.

### Драйверы питания светодиодов

Для продвижения светодиодного освещения в перечень традиционных источников света помимо увеличения световой отдачи необходимо решить еще одну проблему. Это проблема специализированного электрического питания светодиодных модулей. Вести разговоры о том, что светодиодный светильник будет работать 100 000 часов или хотя бы 10 000 часов без качественного электрического питания, нереально.

Во-первых, модуль электропитания должен сохранять работоспособность в течение назначенного временного ресурса порядка 50 000 часов и более, обеспечивая при этом требуемые характеристики. Во-вторых, питание должно быть стабилизированным по току (идеальный вариант — величина тока должна стабилизироваться по заданной температурной зависимости), иметь защиту от импульсов перенапряжения и обратной полярности. В-третьих, цена всего вышеуказанного не должна существенно превышать стоимость светодиодного модуля.

Еще одна проблема, касающаяся электрического питания, всплыла на этом фоне. Это величина напряжения питания белых светодиодов, повышенная по сравнению

со средним значением (около 2 В), необходимым для светодиодов красного и желтого цветов свечения. Для синих, изумрудно-зеленых и белых светодиодов требуется около 3,5 В, а традиционные элементы питания имеют величину напряжения от 1,2 до 1,5 В. Это привело к тому, что на рынке стали востребованы преобразователи напряжения (DC/DC-преобразователи) для питания белых светодиодов, так называемые White LED Drivers.

Драйверы для белых светодиодов выпускают многие производители электронных компонентов, перечислим некоторых из них:

- Maxim Integrated Products [8, 9, 10] MAX1570, MAX1573, MAX1575, MAX1759, MAX1910, MAX1912, MAX1916, MAX1984, MAX1985, MAX1986, MAX1553, MAX1554, MAX1561, MAX1599, MAX1582, MAX1605, MAX1698, MAX1848.
- Zetex Semiconductor [11] ZXLD1100, ZXLD1101, ZXSC300, ZXSC310, ZXSC400.
- National Semiconductor [12] LM2703, LM2704, LM2705, LM2750, LM2791/92/93/94, LM3354, LM3590, LM3595, LP3933.
- Fairchild Semiconductor [13] FAN5606, FAN5608, FAN5609, FAN5610, FAN5611, FAN5612, FAN5613, FAN5614.
- ON Semiconductor NCP5008, NCP5009, NCP1403.
- Macroblock, Inc [14] MBI1008, MBI6001N2N, MBI6001B2N.

Рассмотрим способы питания светодиодов. Существуют следующие способы группового включения светодиодов: параллельный, последовательный и смешанный.

При последовательном включении светодиодов величина тока через каждый будет гарантированно одинаковой. Но такое включение требует более высокого напряжения, чем при параллельном включении. Каждый светодиод требует как минимум 3,5 В, и при последовательном включении это напряжение суммируется.

На рис. 12 показана схема включения MAX1553/MAX1554 для питания белых светодиодов стабилизированным током 20 мА, при этом MAX1553 обеспечивает КПД до 88% при питании шести светодиодов.

На рис. 13 показана схема включения MAX1554 — КПД до 82 % при питании десяти светодиодов.

Подробно микросхемы MAX1561, MAX1599, MAX1582, MAX1570 и MAX1848 рассмотрены в статье Юрия Ермакова «Микросхемы

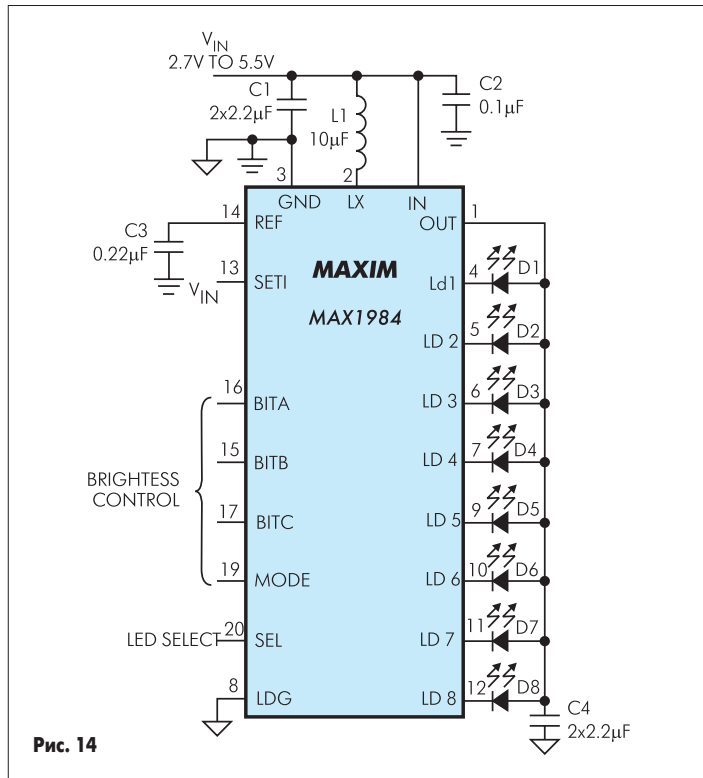


Рис. 14

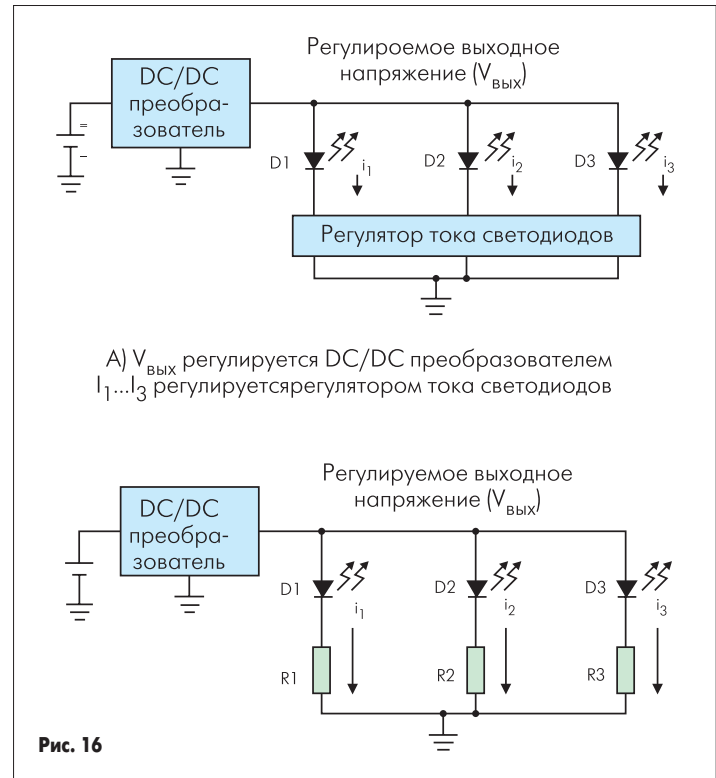


Рис. 16

А)  $V_{\text{Вых}}$  регулируется DC/DC преобразователем  
 $I_1...I_3$  регулируется регулятором тока светодиодов

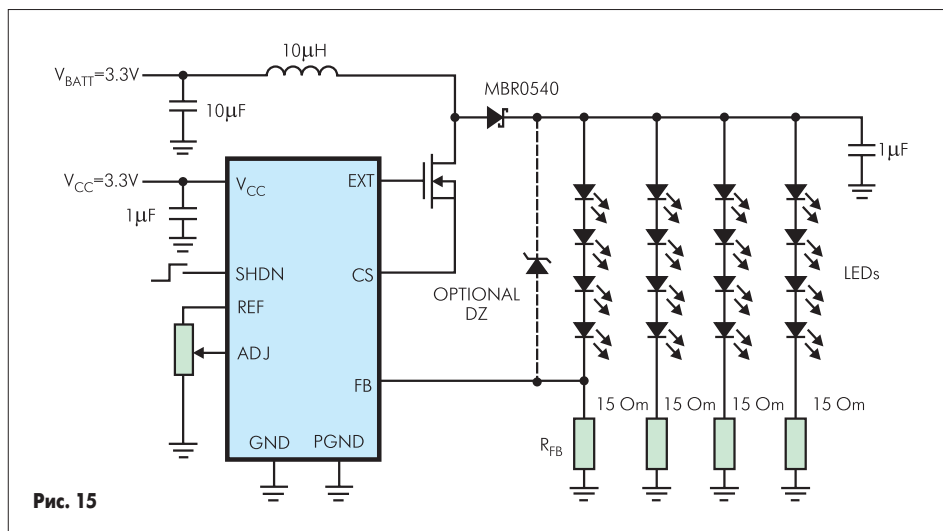


Рис. 15

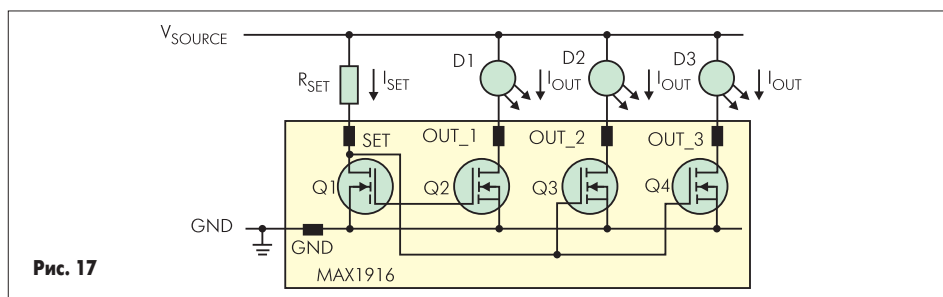


Рис. 17

преобразователей фирмы MAXIM/DALLAS для питания светодиодной подсветки экранов» в этом же номере журнала.

При параллельном включении напряжений, требуемое для питания светодиодов, примерно равно прямому падению напряжения на одном светодиоде вместо падения напряжения на всем ряде светодиодов. Однако яркость светодиодов может быть различной из-за протекания через них токов различной величины вследствие разброса параметров светодиодов. Поэтому приходится стабилизировать ток каждого светодиода.

На рис. 14 показана схема питания параллельно включенных светодиодов с использованием микросхемы MAX1984 (индуктивный повышающий преобразователь).

На рис. 15 показана схема питания белых светодиодов с использованием микросхемы MAX1698.

При питании белых светодиодов от низковольтного источника питания 1,25–1,5 В применяют схемы параллельного включения, показанные на рис. 16.

В качестве низковольтных (работающих от напряжения 1 В) DC/DC-преобразователей

используют микросхемы MAX856–MAX859, MAX1642/MAX1643, MAX1674/MAX1675/MAX1676, MAX1678, ADP1110, ADP1073, LT1073, LT1307, LT1610 и т. п.

Регуляторами тока светодиодов могут быть специализированные микросхемы, такие как MAX1916.

На рис. 17 показана ИС MAX1916 (четыре полевых транзистора, включенных по схеме токового зеркала).

Абсолютная точность тока составляет 10%, а токи, протекающие через светодиоды, отличаются не более 0,3%. При полной яркости свечения ток через светодиод равен 20 мА. В этом случае достаточно 225 мВ, превышающие падение напряжения на светодиодах, чтобы микросхема поддерживала установленное значение тока. Установка тока через светодиоды производится с помощью резистора  $R_{\text{set}}$ . Уравнение для расчета тока имеет следующий вид:

$$I_{\text{led}} = 230 (U_{\text{out}} - U_{\text{set}}) / R_{\text{set}}$$

где:  $I_{\text{led}}$  — ток, протекающий через светодиод, мА; 230 — коэффициент преобразования микросхемы;  $U_{\text{out}}$  — выходное напряжение регулятора;  $U_{\text{set}} = 1,215$  В;  $R_{\text{set}}$  — резистор, устанавливаемый между выходом регулятора и входом SET MAX1916 (в кОм); В качестве регуляторов тока используют также FAN5610, FAN5611, FAN5612, FAN5613, FAN5614 либо MBI1008.

На рис. 18 показана схема включения регулятора тока MBI1008 компании Microblock.

Регулятор тока можно заменить на балластные резисторы, которые будут ограничивать ток до требуемой величины. Потери, связанные с использованием регуляторов тока или балластных резисторов, можно минимизировать, исключив их из схемы. Но при этом придется подобрать светодиоды с одинаковым падением напряжения.

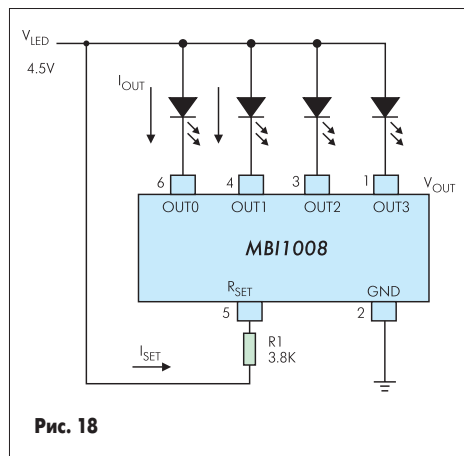


Рис. 18

На рис. 19 показан вариант питания параллельно соединенных светодиодов от преобразователя ADP1110. С помощью делителя R1, R2 изменяют выходное напряжение преобразователя до величины, при которой ток, протекающий через каждый светодиод, будет равен 20 мА (номинальный прямой ток светодиода).

Надо отметить, что фирма Macroblock Inc. [14] помимо регулятора тока MBI1008 выпускает также серию микросхем MBI6001N2N, MBI6001B2N — бестрансформаторных AC/DC-преобразователей, подключаемых непосредственно к сети переменного тока 200...260 В. При этом MBI6001 обеспечивает питание до 35 последовательно соединенных белых светодиодов постоянным током 16 мА при выходном напряжении 140 В.

На рис. 20 показана схема включения MBI6001.

Особое внимание следует уделить питанию мощных светодиодов с прямым током от 0,35 до 1 А. (Luxeon, Golden Dragon и др.). Данные светодиоды являются довольно дорогими изделиями. Для этих целей фирма

Zetex Semiconductor [11] выпускает линейку своих преобразователей: ZXSC300, ZXSC310, ZXSC400.

Более подробную информацию о микросхемах, предназначенных для питания светодиодов, можно получить на сайтах производителей. А количество самих производителей, специализирующихся на выпуске данной продукции, значительно шире и не ограничивается перечисленными в данной статье.

**Литература**

1. Лосев О. В. У истоков полупроводниковой техники: Избранные труды. Л. 1972.
2. Коган Л. М. Полупроводниковые светоизлучающие диоды. М. 1983.
3. Алферов Ж. И. Физика и Жизнь. СПб. 2000.
4. Копаев Ю. В. Лауреаты Нобелевской премии 2000 г. по физике — Ж. И. Алферов, Г. Кремер, Дж. Килби // Природа. 2001. № 1.
5. Берг А., Дин П. Светодиоды / Пер. с англ. под ред. А. Э. Юновича. М. 1979.
6. Алферов Ж. И. // Физика и техника полупроводников. 1998. Т. 32. № 1.
7. Nakamura S., Fasol G. The blue Laser Diode; GaN based Light Emitters and Lasers. Heidelberg. 1997.
8. [http://www.maxim-ic.com/solutions.cfm/cpk/75/scpk/0/pl\\_pk/0/ln/en](http://www.maxim-ic.com/solutions.cfm/cpk/75/scpk/0/pl_pk/0/ln/en).
9. [http://www.maxim-ic.com/solutions.cfm/cpk/75/scpk/1135/pl\\_pk/0/ln/en](http://www.maxim-ic.com/solutions.cfm/cpk/75/scpk/1135/pl_pk/0/ln/en).
10. [http://www.maxim-ic.com/solutions.cfm/cpk/75/scpk/1136/pl\\_pk/0/ln/en](http://www.maxim-ic.com/solutions.cfm/cpk/75/scpk/1136/pl_pk/0/ln/en).
11. <http://www.zetex.com/frame.asp?page=http://www.zetex.com/3.0/a1-7b.asp?link=spotlight>.
12. <http://www.national.com/parametric/0,4824,00.html>.
13. [http://www.fairchildsemi.com/whats\\_new/led\\_drivers.html](http://www.fairchildsemi.com/whats_new/led_drivers.html).
14. <http://www.mblock.com.tw>.

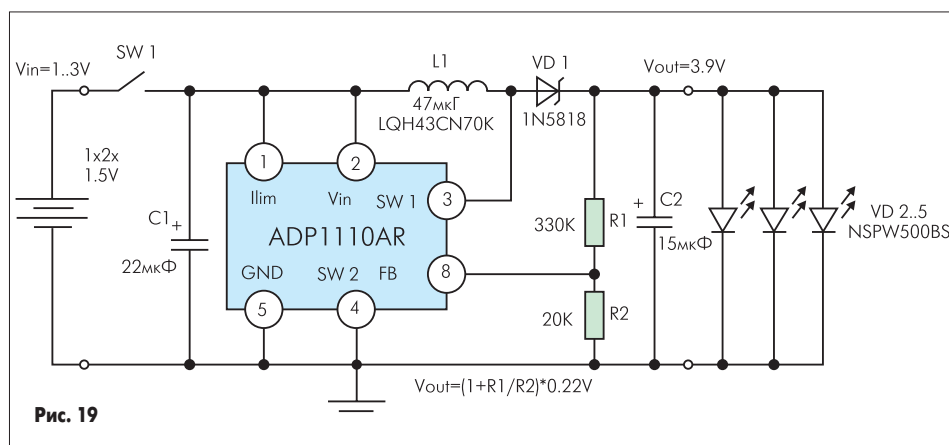


Рис. 19

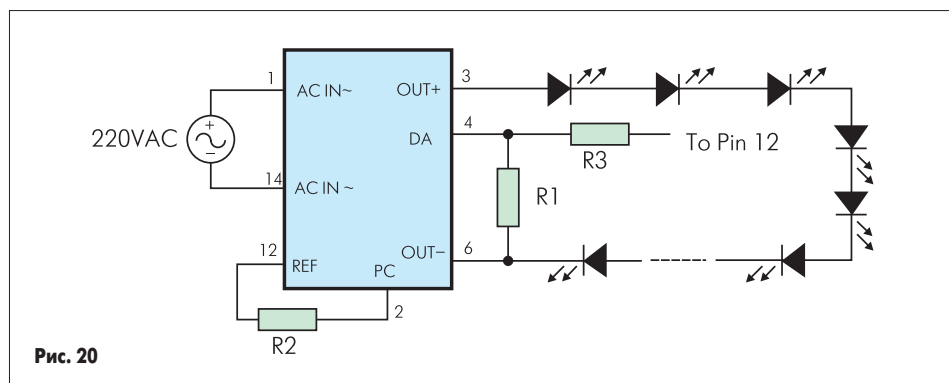


Рис. 20