

Антон Шаракшанэ | iva2000@gmail.com

# Нюансы полупроводникового освещения

**В** массовом сознании светодиоды прочно ассоциируются с яркими и экономичными фонариками, которые уже полностью вытеснили традиционные и в народе называются китайскими. Эти фонарики — не бог весть какое технологическое достижение, на подходе кое-что посерьезней — массовое внедрение светодиодного освещения. Поспее ли наша промышленность за китайской?

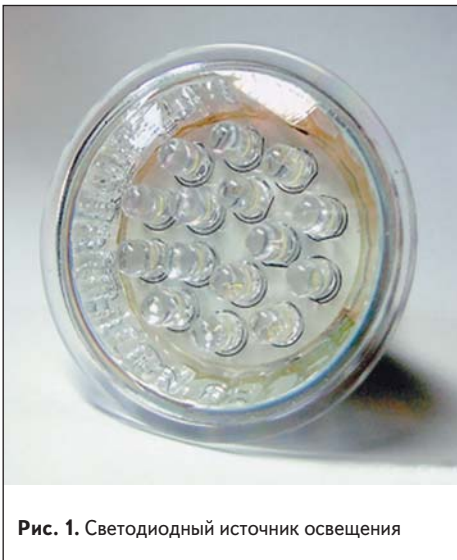


Рис. 1. Светодиодный источник освещения

Массовый переход на люминесцентные лампы совпал с моментом, когда появилась и альтернатива — полупроводниковый свет. Комиссия по модернизации и технологическому развитию экономики России под руководством Дмитрия Медведева 23 марта приняла решение в рамках программы энергосбережения «Новый свет» развивать производство и ускоренное распространение светодиодных источников освещения (рис. 1), а не ртутных люминесцентных ламп, как предполагалось ранее. Преимуществами светодиодов перед ртутными лампами называют энергетическую эффективность, долговечность, хорошую цветопередачу и экологическую чистоту. Бесспорен пока только последний пункт, но уже ясно, что через два-три года и по остальным параметрам полупроводниковое освещение обгонит газоразрядное, и к тому моменту хорошо бы иметь в стране все высокотехнологичные компоненты его производства.

## Производят ли светодиоды в России?

В настоящий момент в России растят экспериментальные гетероструктуры, получают научные результаты, но коммерчески доступные светодиоды на отечественной эпитаксии не собирают. Единственный полностью отече-

ственный светодиод С-О ИРС-50 производства ЗАО «Светлана-Оптоэлектроника» (рис. 2) стóит существенно дороже более эффективных азиатских диодов той же мощности: 150 руб. за 60 лм с 1 Вт против 50 руб. за 80 лм. Производитель обещает снижение стоимости, но при нынешних ценах остальные производители собирают свои светильники полностью на азиатских светодиодах.

Некоторые производители покупают уже разрезанные импортные кристаллы с нанесенными контактами и корпусируют их, создавая «почти отечественный» светодиод. Но он тоже почему-то дороже оригинала. Это значит, что продаж нет, образцы играют роль выставочных, реальная себестоимость может быть сколь угодно высокой и при этом не иметь значения. Уже можно рапортовать о существовании российских светодиодов, но масштабировать их производство нельзя.

Производящая светодиоды и светодиодную светотехнику германо-финская компания OptoGan планирует выпускать светоды и полупроводниковую светотехнику для России в Германии и ставить на ней надпись «Designed in Russia» рядом с «Made in Germany». И в течение двух лет локализовать производство для российского рынка в Петербурге и на Уральском оптико-механическом заводе, для чего создано ЗАО «Оптоган». Благодаря тому, что акции

**Справка STRF.ru:** Самая сложная, наукоемкая и дорогая часть современного белого светодиода — полупроводниковая гетероструктура — преобразует энергию электрического поля в синий свет с теоретически возможным максимальным КПД — 100%. Затем большая часть этого синего света люминофором преобразуется в остальные цвета видимого спектра. Уже сейчас возможно обходиться без люминофора, смешивая свет диодов разных цветов и добываясь постоянства цветовых характеристик, регулируя ток через эти диоды. Но это достаточно сложно и дорого. В перспективе ожидается появление сложных гетероструктур, излучающих сразу все цвета в нужной для белого цвета пропорции. И вот тогда мы получим нечто втрое более эффективное, чем современные трубчатые ртутные лампы. В настоящий момент эффективность светодиодного света примерно соответствует ртутным лампам. Цена же различается на порядок.

[www.strf.ru](http://www.strf.ru)

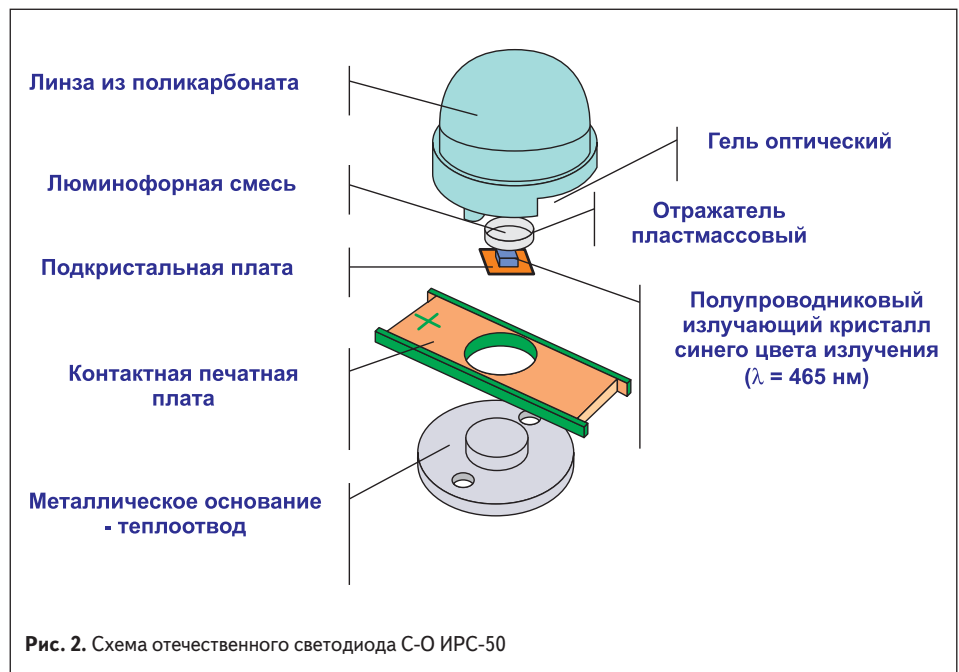


Рис. 2. Схема отечественного светодиода С-О ИРС-50

ЗАО «Оптоган» принадлежат «Роснано», ОАО «РИК» и группе «Онэксим», это будущее локализованное производство предлагается называть отечественным.

## Возможно ли в России разработать собственный светодиод?

Из всей цепочки по выпуску в России нет только технологии отделения сапфировых подложек от выращенных структур и их повторного использования. Кристалл приходится резать на чипы вместе с подложкой. Неотделенный сапфир не дает отводить тепло, если оставлять его снизу, и мешает выйти свету, если кристалл переворачивать. Чип оказывается не только дорогим, но и существенно менее эффективным.

Можно заказывать отделение подложек, но для этого тоже нужны большие объемы. Сотня подложек в год — цифра, кажущаяся внушительной любому российскому производителю, уже неинтересна тем, кому можно заказать этот процесс. Цену светодиода определяет в основном не стоимость рабочей силы (не столь уж дешевой и квалифицированной в России), а затраты на приобретение оборудования и материалов, процентный выход годных структур и масштабы производства. Чтобы конкурировать с азиатскими и европейскими производителями, нужно покупать такое же дорогостоящее новейшее оборудование на тех же условиях и для воспроизводимости параметров запускать массовый выпуск идентичных структур. Разработка собственной технологической цепочки невозможна по той же причине, по которой полностью своей технологии не имеет никто в мире. Даже Nichia (Япония), производящая белые светодиоды дольше всех, имеет кросс-лицензии с основными конкурентами. А чем позже на светодиодном рынке появляется новый производитель, тем большую часть технологий он покупает у других. Яркий пример — корейская Seoul Semiconductor, которая просто купила все технологии. Но про корейцев известно, что они не принимают неверных решений, трудятся как роботы и могут сколь угодно большие деньги полностью потратить на то, что планировалось. Можно ли применить корейский опыт в России? Вопрос, конечно же, риторический. Если говорить о научном наследии и инженерных кадрах, у нас и в этом нет преимуществ перед Кореей, с удовольствием массово приглашающей российских ученых и инженеров на рабочие места и зарплаты, существенно превышающие максимальные российские.

Но отечественный производитель надеется. Он уповает на бюджет программы «Новый свет». Выпускает экспериментальные чипы, диоды на импортных чипах, светильники на таких же диодах и составляет проспекты, в которых описывает полный цикл технологий как собственный, заявляя о готовности производить все что угодно.

Представление о том, что Россия тоже выпускает собственные светодиоды и почти не отстает в технологическом плане, имеет для нас

колоссальное вдохновляющее значение. Но пока их эффективность быстро растет, светодиоды для общего освещения, скорее всего, будут покупать в Азии. А смысл приобретать линии в расчете на собственное производство появиться с приближением к теоретическому пределу эффективности диодов, когда год технологического отставания не будет иметь столь большого значения. И этот момент близко: компания Cree уже продает светодиоды эффективностью 132 лм с 1 Вт и заявила о разработке чипа с параметрами 208 лм с ватта. Теоретический предел составляет около 300 лм.

Российские светодиоды на наших чипах дают 60 лм с Вт, и хорошо бы разработать или купить технологию, позволяющую увеличить этот параметр хотя бы до 100, но срок ее окупаемости явно превысит срок ее актуальности.

## Насколько сейчас оправдан переход на светодиодное освещение?

Практически любые конкретные цифры, если мы говорим о комплексном светодиодном светильнике, на поверку либо оказываются неверны, либо требуют настолько большого числа оговорок, что честнее вести речь лишь о порядках величин. Так вот эффективность современного светодиодного светильника по порядку величины соответствует эффективности светильника на люминесцентных лампах (50–100 лм/Вт). Оба этих типа светильников на порядок эффективнее лампы накаливания (10–15 лм/Вт) и немного уступают желтым натриевым лампам (150 лм/Вт). Поэтому об экономии электроэнергии говорить можно только в перспективе, с увеличением энергетической эффективности коммерчески доступных светодиодов.

Однако на практике светодиодные светильники чаще сравнивают не с ртутными лампами, а с лампами накаливания (как в рекламе, когда щелочные батарейки сопоставляют с обычными, умалчивая, что под последними понимаются уже забытые многими солевые). И в этот момент возникает словосочетание «экономия электроэнергии».

Стоимость же светодиодных решений для общего освещения на порядок превосходит традиционные светильники на ртутных лампах. Другое дело, что такие лампы нуждаются в обслуживании, замене и утилизации, а светодиод, которому обеспечен корректный режим работы, сможет непрерывно светить десять лет.

Полные расходы на правильно спроектированное светодиодное освещение примерно соответствуют тратам на освещение лампами накаливания за один-два года и на газоразрядное освещение за десять лет (в гипотетической ситуации, когда освещение потребуется все 24 часа в сутки). Это, только что достигнутое, примерное равенство и ставится во главу угла энтузиастами светильников на светодиодах. Однако если газоразрядное освещение уже смонтировано, заменять его светодиодным явно экономически нецелесообразно. Если учесть быстрое падение цены на светодиодные изделия, использование дешевых и эффектив-

ных люминесцентных ламп сейчас, и отложенная покупка более дешевых и более эффективных полупроводниковых светильников будет разумным решением.

На практике, возможно, стоит учесть и правду жизни, состоящую в том, что если дорогой светодиодный светильник быстро не перегорит, его украдут. Или он останется висеть на прежнем месте, но будет светить уже другим людям... Немного с большим оптимизмом можно говорить о зимнем уличном освещении и конкуренции с дорогими морозоустойчивыми люминесцентными лампами. Также оправдано специальное применение светодиодов в светофорах, декоративном освещении, архитектурной подсветке и т. д.

## Нравится ли нам светодиодное освещение?

По спектру и индексу цветопередачи светодиодный свет ближе к солнечному, чем люминесцентные лампы, но уступает свету лампы накаливания. Свет светодиодов, как и ртутных люминесцентных ламп, многим кажется неприятным, «слепым» или «мертвенным». Однако, жалуясь на свет, люди обычно показывают пальцем на лампы, спроектированные под максимальную светоотдачу, а не на максимальную цветопередачу и близость к солнечному спектру. Люминофор с улучшенной цветопередачей стоит дороже, света отдает меньше и поэтому существенно реже используется.

## Где используют светодиодный свет?

Цвет светодиодов также зависит от состава люминофора, но дилемма «больше света или лучше цветопередача» стоит острее, ведь драгоценный полупроводниковый свет очень хочется сэкономить. Но ее можно разрешить и в пользу хорошего цвета. Например, уже сегодня существуют светодиодные светильники для хирургии — области сверхважного различия цвета. Красиво, модно, и затылок хирургу не печет (рис. 3).



Рис. 3. Светодиодный светильник для хирургии

Даже слабый светодиод отличается высокой яркостью, то есть количеством света, отдаваемого с единицы площади. Яркость почти не изменяется с расстоянием, поэтому яркие объекты хорошо видны издали. И поэтому светодиоды уже первых поколений прекрасно справлялись с индикаторной функцией. В последние годы высокую яркость светодиодов на РЖД используют для выполнения индикаторной функции на расстоянии, в сложных погодных условиях (при возможном загрязнении плафона тепловоза и стекла кабины машиниста).

Уже несколько лет светодиодные сигнальные приборы используют в автомобильной оптике, но только в габаритных огнях и стоп-сигналах. Если присмотреться, светодиодный габаритный фонарь — это не единый светящийся объект, как традиционный фонарь с лампой накаливания, а массив ярких, независимых, хорошо заметных по отдельности светодиодов. Если подсветить тем же массивом светорассеиватель традиционной лампы, его будет видно значительно хуже. Всерьез говорить об использовании светодиодного головного света ведущие автопроизводители стали только в последнее время. И это притом, что стоимость автомобильной оптики по сравнению с бытовыми светильниками чрезвычайно высока, и в автомобилестроении как нигде важно внедрять новые и во всех смыслах яркие технологии.

Чрезвычайная яркость превращается в недостаток, если использовать светодиод для общего освещения. Стоит бросить взгляд на лампу с открытыми мощными светодиодами, и зайчики в глазах несколько минут не дадут видеть что-либо еще. А если лампа находится недалеко от рабочего места, то десятки ярких открытых светодиодов образуют большое количество теневых контуров от рук или инструмента. Эта особенность делает эксплуатацию открытого светодиодного света практически невозможной. Необходимо использовать отражатели и светорассеиватели, которые на десятки процентов уменьшат световой поток и поднимут цену устройства.

Несмотря на это, почти все отечественные светодиодные светильники представляют собой просто открытое полотно светодиодов. Футуристическим видом в выключенном состоянии достоинства такой конструкции заканчиваются. Во включенном виде на нее вообще смотреть нельзя.

## Все ли светодиодные светильники одинаковы?

Можно подумать, что распространение светодиодного декоративного света и таких же фонариков обещает скорую доступность общего светодиодного освещения. Легко поверить в то, во что поверить хочется. Однако с ростом потребности в валовом количестве света возникают достаточно сложные технические проблемы.

Одна горящая свеча в большой комнате дает освещенность поверхностей, достаточную для ориентировки, — около 0,1 люкса. Для современного общего освещения минимально достаточным уровнем считается 300 лк. Приемлемые условия для чтения под яркой настольной лампой — примерно 1000 лк. Но по-настоящему комфортно в солнечный день в тени, где освещенность составляет около 10 тыс. люкс. Такая нелинейность восприятия глаза означает колоссальную разницу в мощности источников, позволяющих просто ориентироваться в пространстве (карманные фонарики) и заливающих комфортным количеством света сколько-нибудь значительные площади. А мощным светодиодам нужен стабилизированный источник тока и очень хорошее охлаждение. В противном случае заметно упадет светоотдача, и начнется необратимая деградация гетероструктуры.

Правильно спроектированное светотехническое изделие, действительно обеспечивающее штатный режим работы диодов и гарантирующее полный срок их службы, разочаровывает потребителя своей громоздкостью и ценой. А российские производители, еще не научившись обеспечивать хороший теплоотвод, уже в массовом порядке форсируют светодиоды, используя токи вдвое больше номинала. И уже ясно, что часть первых произведенных светильников потускнеет если не сразу, то с летним повышением температуры воздуха.

## Быстро ли будет расти мощность светодиодов?

Расти будет эффективность, то есть светоотдача с одного ватта. Потребляемой мощности на единицу площади кристалла увеличиваться почти некуда, пропускать большие токи через гетероструктуру неоправданно — станет ниже эффективность. Интересен вопрос, будет ли раз-

витие идти в сторону кристаллов большей площади или многокристалльных сборок.

Основная продукция крупных предприятий — диоды на одном кристалле площадью около 1 мм<sup>2</sup>, но на то они и крупные производители, чтобы продавать полуфабрикаты — чипы в бобинах для поверхностного монтажа. А уже кто-то другой будет зарабатывать деньги, монтируя эти чипы на плате и собирая светильник. Все пилотные отечественные диоды также однокристалльные. Их предполагается поштучно припаивать на печатную плату. На первый взгляд кажется очевидным, что если конечный продукт — светильник, логично на одном куске меди смонтировать десятки кристаллов заодно со стабилизатором и поместить их в единый корпус. Маленькие китайские предприятия уже так и поступают, избавляя сборщика изделия от лишней головной боли, а заодно и части прибыли. Небольшие российские компании пока подражают гигантам.

## Ближайшие задачи и перспективы отечественного производителя светодиодного освещения

Даже не имея российского коммерчески успешного светодиода, заманчиво держать в руках самую простую, но и самую прибыльную часть технологической цепочки — производство конечного светотехнического изделия. Это реально и не очень обидно, поскольку доля цены светодиодов в общей стоимости светильника уже составляет небольшую часть и быстро уменьшается. Одна только схема питания стоит столько же, сколько светодиода. Так производство чего надо быстро осваивать — диодов или блоков питания? Громких заявлений отечественных производителей о готовности выпускать недорогие и простые драйвера или их компоненты пока не слышно. Возможно потому, что деньги выделяются под самую светодиодную идею, а не под что-то другое.

Торговая наценка удвоит стоимость лампы. Доля цены светодиодов в конечной сумме окажется совсем незначительной. И с экономической точки зрения уже не столь важно, кто диоды сделал, лишь бы они были эффективными.

Осталось набить первые шишки и научиться производить простые и дешевые конструкции, обеспечивающие диодам правильный режим работы и заявленные десятки тысяч часов жизни. Чем отечественный производитель и занимается. ●