

# Самые современные источники света



## Светодиоды изменяют всю светотехнику на «генном уровне»

Стремительное развитие технологии производства излучающих структур в последние годы привело к значительным успехам в области повышения качества приборов на их основе. Существенно увеличилось число различных конструкций и типов серийно производимых излучающих кристаллов, изготовленных на основе эпитаксиальных гетероструктур твердых растворов AlGaInP и AlGaInN, позволяющих создавать источники излучения с любыми необходимыми характеристиками для различных сфер применения. Большой выбор цветов свечения, комбинация мощного излучения с любой формой его пространственного распределения и с возможностью получения любого цветового оттенка в широком динамическом диапазоне интенсивностей излучения открывают огромные перспективы использования светоизлучающих диодов на основе этих структур в качестве источников света для различных устройств.

В последнее время светоизлучающие диоды все больше претендуют на использование их в освещении, художественной подсветке, ответственной сигнальной технике. Все это стало возможным благодаря достаточно быстрому росту энергетических показателей, надежности и долговечности этих

источников излучения. Малое потребление электрической энергии, легкость формирования диаграммы направленности излучения с помощью различной оптики, простота управления и самое важное — специфическое восприятие излучения человеческим глазом делают светодиоды незаменимыми для создания сигнальных источников света, полноцветных экранов, вывесок, других средств представления информации в виде динамического изображения и художественного освещения интерьера.

Рост эффективности и световой отдачи позволил формировать на основе светодиодов нового поколения мощные источники освещения, которые с успехом применяются в настоящее время для освещения помещений, подземных переходов, подъездов и лестниц. Очень малое по сравнению с люминесцентными лампами и лампами накаливания потребление электроэнергии (может быть меньше в несколько (до 10) раз), и такое уникальное качество, как отсутствие хрупких элементов, сделали незаменимым применение мощных светодиодов в устройствах аварийного, взрывобезопасного и дежурного освещения шахт, подводных лодок, специальных помещений и даже космических кораблей. Также стоит отметить применение этих твердотельных источников и в устройствах сигнализации: световоды, сигнальные и навигационные огни, переносные фонари для военных, милиции и служб МЧС теперь высоконадежны и долговечны, а использование их с батарейными элементами питания позволяет во много раз увеличить время работы.

Таким образом, применение светодиодов взамен традиционных источников света позволит существенно понизить энергозатраты на освещение, материальные ресурсы на обслуживание устройств освещения (замена ламп, ПРА, прочий ремонт), экологический риск применения традиционных ламп и в итоге сохранить здоровье и улучшить качество жизни людей.

## Что могут короли?

Область и цели применения диктуют параметры, конструкцию и режимы работы светодиодов. Светодиоды разделились на классы по функциональному назначению и перестали быть просто излучающими свет радиоэлементами. Однако самыми передовыми и находящимися на острие

внимания в настоящее время являются мощные белые светодиоды на основе синего кристалла и люминофора как потенциальные заменители традиционных ламп, на примере которых и стоит судить о достижениях производителей (таблица). При этом ничто не мешает прогрессу идти широким фронтом: совершенствуются классические конструктивы (например, 5-миллиметровые светодиоды) и создаются совсем новые, используемые в конкретных целях. Но везде борьба с помощью современных технологий идет за световую эффективность, вне зависимости от цвета и назначения. Ярким примером этого могут служить совсем недавние продукты от Seoul Semiconductors — светодиоды "Acrich". Их создатели не забыли, что светодиод — это тоже диод, и вернули первоначальное назначение диода, хотя и излучающего, — являться выпрямителем, вентилем, и теперь "Acrich" сам для себя и источник питания, и источник света. Особого типа кристалл, выращенный на подложке из сапфира, имеет топологию группы последовательно соединенных диодов, суммарное напряжение которой может достигать до сетевого, поэтому такой светодиод не требует ничего, кроме подсоединения прямо в розетку. Причем, световая отдача в случае белого цвета в дейст-

Отдельно стоят от всего описанного светодиоды компании CREE с кристаллами на карбидкремниевой подложке. С момента запуска серии "XLamp" световая эффективность стремительно выросла, и теперь самые современные светодиоды XR-E7090 имеют ее до 100 лм/Вт, хотя промышленные варианты таких приборов неведомы пока в нашем отечестве. Однако надо отдать должное тому, что технология эпитаксии нитрида галлия на SiC имеет гораздо больше потенциальных возможностей для совершенствования, чем на сапфире. Это касается как проблем деградации, так и реализации различных режимов работы светодиодов. Не отстает в успехах светодиодостроения и компания Osram, некогда использовавшая в своих светодиодах кристаллы CREE и являющаяся признанным эталоном чистоты белого цвета от светодиодов. Теперь Osram выпустила светодиод "Diamond Dragon" со световым потоком в 250 лм и током 1400 мА через кристалл площадью 2 мм<sup>2</sup>.

Нельзя не отметить также производителей мощных светодиодов Китая и Тайваня, которые стремятся приблизиться к техническим показателям ведущих фирм, имея в арсенале одно из важных преимуществ своего продукта — гораздо меньшую стоимость. Здесь стоит сказать о том, что цены

Таблица

Компания	Светодиод	Ф (350 мА), лм/(лм/Вт)	Ф (700 мА), лм/(лм/Вт)	Ф (1500 мА), лм/(лм/Вт)	Другой режим, лм/(лм/Вт)
Seoul Semiconductors	"Acrich"				(2 Вт) 96/48
Seoul Semiconductors	Z-Power, P-4	80/71			
Nichia	NS6W083A				(300 мА) 80/70
Philips-Lumileds	"LUXEON K2"	95/82	170/69	275/43	
CREE	XR-E7090	97/84	165/63		
Osram	"Golden Dragon"	100/90	178/70		(1000 мА) 190/48

вительности достигает 80 лм/Вт. Однако даже двухполупериодная схема включения групп диодов не исключает заметного глазом мерцания безынерционных приборов. Такие светодиоды, тем не менее, уже начали широко применяться непосредственно в существующих вариантах конструкций уличных светильников.

Другой известный производитель, использующий технологию эпитаксии на сапфире, — фирма Nichia — также декларирует в уже серийных вариантах белых светодиодов световую отдачу не менее 80–90 лм/Вт. Однако высокие значения эффективности достигнуты при меньшей плотности тока, что выгоднее с точки зрения работы структуры и гарантирует меньшую деградацию светового потока. Здесь стоит отметить и высокое качество преобразования светового потока люминофором со значительным индексом цветопередачи.

Поиск путей увеличения световой эффективности привел некоторых производителей светодиодов к освоению технологии посадки кристаллов методом "Flip-chip". Это существенно уменьшает тепловое сопротивление «p-n-переход — кристаллодержатель» одновременно с улучшением условий выхода излучения из кристалла. Такие обстоятельства незамедлительно начали использоваться для супермощных светодиодов путем увеличения плотности тока через кристалл. Так, например, специалистов компании Philips-Lumileds не смутило, что эффективность их нового "LUXEON K2" едва превышает 40 лм/Вт, через него успешно пропускают 1500 мА и имеют в одном корпусе 275 лм. Однако при такой плотности тока значительная деградация светового потока в 30% за 50 000 часов вызывает сильные сомнения. Возможно, такой вариант и окажется удобным: всего один светодиод, а не три, но меньшая эффективность при большой мощности рассеяния потребует значительной площади охлаждения светодиода, которая может оказаться существенно больше, чем в сумме от трех. Тем не менее технология "Flip-chip" в любом случае оправдывает себя полностью. Это показывает многолетний опыт ее применения компанией Toyota Gosei, которая выпускает одни из самых надежных и стабильных светодиодов в мире, доказывая, что за 25 000 часов наработки возможно полное отсутствие деградации светового потока.

на рынке светодиодов едва ли «раздуваются» умышленно и неоправданно, а прогресс в этой области столь стремителен, что зачастую выпущенный бренд не успевает завоевать свое место и своих потребителей, как его уже теснит новый, с лучшими характеристиками и другими ценами. Поэтому пресловутое соотношение \$/лм в отношении к белым светодиодам теперь неоднозначно и требует еще дополнительных условий и оговорок: указаний режимов работы светодиодов, понятий о деградации и имени фирмы-производителя. Усложнение анализа параметров, качества и стоимости мощных светодиодов становится причиной путаницы у потребителей, чем успешно пользуются продавцы. Интеллектуальный статус продукта «светодиод» с учетом его характеристик существенно вырос, поэтому большинство наименований требуют не только формального прочтения спецификаций и понимания: «китайское, не китайское», но и детального и дифференцированного подхода к нему. Так, например, тайваньская корпорация High Power Lighting представила свой продукт для SMD-монтажа «Rambo», задекларировав световой поток до 80 лм при 1 Вт потребления и размерах светодиода 4×4 мм. Однако совершенно понятно, что у потребителя возникнут большие проблемы с обеспечением теплоотвода, тем более что этот светодиод разрешается использовать до 3 Вт. Можно также упомянуть еще несколько довольно известных компаний этого региона, внимание к которым, как и ко всем другим на рынке мощных светодиодов, должно быть пристальным: Huey Jann, Prolight, Edison. Эти участники соревнования за высокие характеристики также указывают эффективность своих светодиодов в 50–70 лм/Вт.

## Некоторые тенденции развития технологии производства светодиодов и применения излучающих кристаллов

Несмотря на то, что достаточно удачные разработки в области технологии производства излучающих кристаллов применяются современными производителями светодиодов повсеместно и очень широко, однако часто еще полностью не освоенная и не доведенная до необходимого качественного уровня технология посадки и упаковки новых типов кристаллов в светодиод сменяется другой из-за появления еще более новых кристаллов или технологий их монтажа.

## ТЕНДЕНЦИИ



Одновременно сменяется и тематическое направление применения светодиодов, изменяя в свою очередь их вид и конструкцию. Чтобы идти в ногу с таким быстрым прогрессом в этой области при проектировании устройств, основой которых являются светодиоды, необходимо в некоторой степени прогнозировать развитие ситуации с появлением новаций. Тогда такой проект, сориентированный уже на следующий шаг в развитии полупроводниковых источников света к моменту его реализации и последующей эксплуатации, будет однозначно современным и обладающим всеми преимуществами примененного в нем новшества.

Основным направлением в развитии технологии производства кристаллов является повышение энергетики квантового выхода за счет применения совершенных материалов подложек и кристаллодержателей с очень малым тепловым сопротивлением. Развивается и методика производства кристаллов с применением эффекта Пельтье непосредственно под излучающим кристаллом. Необходимость этого возникла с появлением устойчивой тенденции использования кристаллов при больших плотностях тока (до 200 А/см<sup>2</sup>). Лишь такой подход сегодня позволяет увеличить квантовый выход кристаллов в несколько раз по сравнению с прежними показателями. Параллельно увеличению плотности тока развивается интеграция, одним видом которой является стойкое стремление увеличения размеров кристаллов. Это тоже оправдано, и скорее всего именно такой подход позволит наряду с развитием теплоотводящих материалов получить конструкции кристаллов и устройств на них с наибольшими энергетическими показателями выхода «люмен — ватт электрический». Сейчас этот показатель в промышленных вариантах светодиодов составляет около 80 лм/Вт на синем кристалле с люминофором. Поэтому все больше появляется сообщений о том, что в кристалле имеет место такой-то оптический выход с такой-то площади структуры. Именно с площади. То есть в дальнейшем, с развитием возможности варьировать площадь поверхности (размеры) кристалла в широких пределах, можно будет говорить о световом выходе, зная лишь размер кристалла или количество кристаллов в интегральной матрице. Основными проблемами, тормозящими прогресс в этой области, являются сложности формирования равномерной плотности тока по всей площади большого кристалла, иначе не имеет смысла делать его большим, и по-прежнему отвод тепла остается определяющим в выборе размера.

Положительным эффектом интеграции групп кристаллов в одну структуру с параллельным их включением внутри самой структуры (одного кристалла), существенно влияющим на перспективы развития этого пути, является уменьшение прямого напряжения и общего потребления электрической мощности, за счет чего в основном и наблюдается рост отношения «люмен — ватт электрический».

Особо стоит отметить тенденции развития технологий производства белых светодиодов.

Используя в качестве источника излучения синий кристалл с центральной длиной волны около 455–460 нм, нанесенный на него люминофор преобразует спектр исходного излучения в близкий к белому с коэффициентом передачи светового потока относительно исходного с указанной длиной волны синего — 4–6. Тенденция роста квантового выхода в этой системе может использовать все вышеописанные варианты плюс совершенствование материала люминофора. Однако, скорее всего, в очень скором будущем наступит предел размерам кристалла, плотности мощности, с которой может эффективно работать люминофор, и исчерпаются возможности комбинаций

состава люминофора. Поэтому создание широкополосной излучающей полупроводниковой структуры продолжается и ускоряется. Тут дело стоит за совершенствованием технологии роста кристаллов вообще и структур с неким набором запрещенных зон различной ширины в одной активной области в частности.

В производстве светодиодов или полупроводниковых излучающих матриц описанные проблемы конструкций кристаллов, совершенно очевидно, переносятся на конструктив светодиода. Посадка кристаллов на подложках SiC (CREE), безусловно, вскоре будет осуществляться исключительно на эвтектику. Клеевые и эпоксидные варианты крепления еще долго останутся у материалов GaAs/GaAs, AlInGaP/GaP и структур на подложке Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (EPSTAR, NICHIA, AXT, UEC). И здесь также будет увеличиваться интеграция. Важным будет не формирование светового потока, а его энергетика. Поэтому в приборах для освещения источники излучения обязательно будут матричными. Каким бы ни было совершенствование мощных единичных светодиодов на основе больших кристаллов, гораздо дешевле и мобильнее будет изготавливать светильники, устанавливая кристаллы непосредственно на текстолитовую плату или металлокерамику необходимой конфигурации и в нужном количестве. Исходя из этих задач, формирование вторичной оптики сведется к минимуму, сохраняя лишь ее свойства герметизации кристалла, если это не какая-либо специальная необходимость...

При таком групповом использовании кристаллов качественная оптика невозможна. Примером описанной тенденции является катастрофически растущая доля производства многокристалльных SMD-светодиодов как прообраза будущих матриц относительно производства единичных светодиодов. Однако для создания больших протяженных источников излучения, таких как табло и экраны, где практически достигнут необходимый предел их яркости с помощью существующих светодиодных кластеров и где направлением развития является повышение разрешающей способности и качество воспроизведения и передачи изображения, еще очень продолжительное время будут использоваться единичные монохромные светодиоды, как элементы, с помощью которых возможно мобильно, дешево и просто решить любую задачу в этой области, реализовав большинство необходимых параметров.

### Вторая сторона медали

В современных системах освещения и подсветки светодиоды применяются все чаще, и ни у кого не вызывает сомнения успешное будущее этого процесса. Кроме большой коммерческой перспективы у этого прогрессивного начинания есть сугубо техническая сторона, которая на данном этапе его развития играет первую и самую важную роль. Чем компетентнее окажутся разработчики полупроводниковых структур, тем качественнее и надежнее окажется производимый ими продукт. Чем лучше и яснее будут поняты проблемы и особенности твердотельных источников света инженерами, которые уже применяют светодиоды там, где до самого последнего времени это было трудно и представить, тем быстрее и увереннее мы сможем сказать, что достигли поставленной цели и с коммерческой точки зрения.

Использование на российском рынке светодиодов производства мировых лидеров открыло большие перспективы для их производителей, с одной стороны, и возможности использования для отечественных разработчиков — с другой. Опыт известных производителей светодиодов и качество их продукции известны и признаны во всем мире. Хотелось бы оценить их по достоинству и в России, где появление из-за рубежа новых разработок в области твердотельных источников излучения можно расценивать как возврат к их истинным корням. Потому как, родившись в России и будучи подростком (полупроводниковая светотехника популярна уже не менее 15 лет), этот ребенок, к сожалению, сейчас получает только исключительно заграничное воспитание. Родительское признание и опека станут для него новым этапом развития.

Сергей Никифоров, к.т.н.