

Игорь Матешев | Андрей Туркин

Светодиоды SemiLEDs:

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

В статье приводится обзор светодиодных изделий тайваньской компании SemiLEDs, а также примеры их применения в приборах и системах на основе светодиодов. За последние несколько лет эта компания сумела выйти в лидеры рынка светодиодной продукции во многом благодаря освоению новой технологии производства светодиодных кристаллов.

Введение

Современный рынок систем освещения продолжает развиваться, и, пожалуй, одним из основных направлений развития является переход на светодиодные источники света. Сегодня светодиоды сильно отличаются от тех монохромных источников излучения, появившихся в 60–70-е годы XX века, которые были пригодны в основном лишь для цветовой индикации. Нынешние сверхъяркие и мощные светодиоды и светодиодные модули имеют такие характеристики, что вполне могут считаться источниками излучения не только для индикаторов, но и для различных других областей: в светосигнальной аппаратуре, в освещении. Можно сказать, сейчас светодиоды стали применяться повсюду — от светофоров до систем освещения.

Следует отметить, что лидерами данного рынка являются компании, которые не жалеют средств и сил на собственные разработки и исследования. Специалисты фирмы Nichia первыми показали миру возможность получения белого светодиода путем комбинирования синего свечения кристалла и желто-зеленого свечения люминофора, возбуждаемого светом указанного кристалла [1–4]. Компания Philips Lumileds, выпустившая в 2003 году первый мощный светодиод Luxeon I [1–5], успешно развивает свою светодиодную линейку в настоящее время [4–7]. Светодиоды Luxeon I почти вдвое сразу превосходили по световой отдаче лампы накаливания [1–7], что позволило говорить о светодиодах как о новых и эффективных источниках света.

Компания Cree, использующая собственную технологию выращивания гетероструктур нитрида галлия на подложках из карбида кремния при производстве светодиодных кристаллов, во второй половине 2006 года выпустила серию эффективных мощных светодиодов XLamp XR-E. Это стало своеобразным прорывом в области

полупроводниковых источников света, поскольку световой поток достиг значения 100 лм, а световая отдача — 90 лм/Вт [2–4, 8–12]. Так был преодолен первый психологический рубеж — 100 лм.

Тайваньская компания SemiLEDs, основанная в 2004 году, в настоящее время тоже выходит в лидеры среди производителей светодиодного рынка, имея в своем активе и собственную технологию производства кристаллов.

Светодиодные кристаллы компании SemiLEDs

Компания SemiLEDs была создана, когда о светодиодах начали всерьез говорить как о потенциальных источниках света ближайшего будущего. На рынке в то время уже работало достаточное количество компаний, многие из которых представляли страны Юго-Восточной Азии. Правда, рынок еще зарождался, технологии только осваивались, что сказывалось на качестве продукции. Лидерами, как уже отмечалось, становились компании, использовавшие собственные технологические решения.

Специалистам SemiLEDs впервые удалось реализовать достаточно сложную технологию подготовки гетероструктур на основе нитрида галлия (GaN) и его твердых растворов, которые предназначены для производства кристаллов синих, зеленых и соответственно белых светодиодов. При изготовлении кристаллов многие компании применяли технологию выращивания GaN-гетероструктур на сапфировых (Al_2O_3) подложках [1–4]. Технология была достаточно отработана, но имела определенные недостатки, связанные, например, с рассогласованием постоянной кристаллической решетки материала подложки и базового слоя структуры, составлявшим порядка 15%. Как следствие, в базовом слое GaN возникают дислокации и дефекты структуры, приводящие к снижению квантового выхода излучения и росту внутреннего сопротивления [4,13].

Указанные ограничения удалось преодолеть специалистам компании SemiLEDs, сумевшим разработать способ отсоединения структуры GaN от подложки Al_2O_3 . Эта технология получила название «lift-off» [4, 13]. Заключается она в том, что структуру GaN на подложке Al_2O_3 подвергают воздействию лазерного импульса с определенными значениями длины волны и мощности [4, 13], который активирует имеющийся в структуре в качестве примеси кислород, его основная концентрация находится в буферном слое около границы с подложкой, где сосредоточены основные дефекты и дислокации. В результате в данной области образуется повышенная концентрация оксида галлия, что позволяет под действием небольшого усилия отделить подложку от гетероструктуры GaN [4, 13].

С помощью такой технологии специалисты SemiLEDs добились существенных результатов. Во-первых, им удалось существенно снизить концентрацию дефектов в структуре GaN, как следствие, уменьшить безызлучательную рекомбинацию, а значит, увеличить квантовый выход излучения [4]. Во-вторых, при монтаже структуры на проводящую подложку стало возможным делать кристаллы с контактами на противоположных гранях, тем самым обеспечивая вертикальное протекание тока, что способствует снижению внутреннего сопротивления структуры и уменьшению прямого напряжения и потребляемой мощности при номинальном токе [4]. В-третьих, благодаря данной технологии можно было использовать подложки Al_2O_3 несколько раз в процессе роста, то есть в итоге снизить себестоимость кристаллов [4].

Такие технологические достижения и собственные разработки позволили SemiLEDs в достаточно короткие сроки выйти в лидеры светодиодного рынка. Светодиоды и светодиодные модули компании внедряются на различных направлениях.

Одним из перспективных направлений стала автомобильная промышленность, весьма требовательная к качеству светодиодной продукции. По словам представителей компании SemiLEDs, самое главное — создать продукцию, удовлетворяющую жестким международным стандартам, и с этой задачей они успешно справились.

Другой нишей светодиодного рынка является рынок архитектурного и сценического освещения, где благодаря широкому ассортименту своих изделий компания SemiLEDs добилась значительных успехов, поскольку спектр ее продукции позволяет создать системы освещения любого цвета и интенсивности.

Примером использования светодиодов SemiLEDs для архитектурного освещения может служить гостиничный комплекс «Альфа», чья подсветка создана в сотрудничестве с компанией «Двадцать Первый Век».

Светодиодные изделия компании SemiLEDs

Светодиодные изделия компании SemiLEDs можно условно разделить на три основные группы:

1. Мощные светодиоды.

В данную группу входят светодиоды в керамическом корпусе с первичной оптикой. В корпусе светодиода данного типа установлен как один, так и несколько кристаллов, в зависимости от чего различаются значения их потребляемой мощности. В случае нескольких кристаллов они могут быть соединены как последовательно, так и последовательно-параллельно. Потребляемая мощность данных светодиодов находится в диапазоне от 1 до 55 Вт [4]. Благодаря наличию первичной оптики, а также корпуса, имеющего стандартный для данного типа светодиодов форм-фактор, эти светодиоды могут применяться с линзами и рефлекторами, что позволяет использовать их в системах освещения, где требуется определенная кривая силы света (КСС): в прожекторах направленного света, светильниках уличного освещения и т. д.

2. Светодиодные модули.

Данные изделия собираются по технологии chip-on-board (COB), заключающейся в том, что соединенные последовательно-параллельные цепочки кристаллов монтируются на плате и покрываются геллюминофорным составом для получения белого цвета свечения [1–4, 13]. Значения потребляемой мощности модулей лежат в пределах от 10 до 120 Вт [4]. Плата, которая находится в основании такого изделия, является хорошим первичным теплоотводом (что увеличивает их рабочую мощность), а также имеет площадки для пайки (что упрощает их соединение) и специальные отверстия для крепления, что существенно облегчает монтаж [1–4, 13].

3. Сверхъяркие светодиоды.

В эту группу входят светодиоды относительно небольшой потребляемой мощности, значения которой лежат в пределах от 0,1 до 1 Вт [4]. Светодиоды выполнены в корпусах для поверхностного монтажа стандартных форм-факторов, соответствующих определенной номинальной мощности — 3014 (0,1 Вт), 3022 (0,2 Вт), 5630 (0,5 Вт), 3030 (1 Вт) [4]. В основном такие светодиоды предназначены для систем внутреннего освещения и светосигнальной аппаратуры.

Рассмотрим подробнее описанные выше типы светодиодов и светодиодных модулей компании SemiLEDs.

Мощные светодиоды компании SemiLEDs

В линейке мощных светодиодов компании SemiLEDs можно выделить четыре основные серии: C35, N5, M63 и M90.

Мощные светодиоды серии C35 (рис. 1) выпускаются во всем диапазоне белого цвета, а также всех основных цветов видимого спектра — красного, желтого, зеленого, изумрудного (сине-зеленого), голубого и синего. Значения их светового потока при токе 350 мА для холодного белого цвета превышают 139 лм, для естественного белого цвета — 122 лм, для теплого белого цвета — 107 лм [4]. Типичное значение индекса цветопередачи (CRI) мощных светодиодов серии C35 холодного и естественного белого цвета составляет соответственно 70 и 75, у светодиодов теплого белого цвета минимальный CRI равен 80 [4].



Рис. 1. Мощные светодиоды серии C35 компании SemiLEDs

Значение светового потока при токе 350 мА у красных и желтых светодиодов превышает 56 лм, у зеленого и изумрудного — 87 лм, у голубого — 30 лм [4].

Светодиоды серии C35 изготавливаются на основании размером 3,45×3,45 мм, могут быть использованы разработчиками в уже существующих изделиях, где применяются указанные СД, без каких-либо изменений и доработок, на тех же печатных платах и оптике [4]. Это позволит производителям светотехнических изделий на основе светодиодов легко внести изменения в имеющуюся продукцию и таким образом сократить цикл разработки светодиодных приборов, а также оптимизировать время вывода нового изделия на рынок.

Мощные светодиоды серии N5 (рис. 2) выпускаются в холодном и теплом диапазонах белого цвета. В корпусе светодиодов данной серии четыре кристалла. В зависимости от их коммутации возможны два режима рабочего тока и потребляемой мощности. Значения их светового потока при токе 700 мА для холодного белого цвета превышают 560 лм, для теплого белого цвета — 380 лм [4]. Потребляемая мощность в данном режиме составляет 5 Вт.



Рис. 2. Мощные светодиоды серии N5 компании SemiLEDs

Значения светового потока при токе 1400 мА для холодного белого цвета превышают 955 лм, для теплого белого цвета — 645 лм [4]. Типичное значение CRI мощных светодиодов серии N5 холодного белого цвета составляет 70, у светодиодов теплого белого цвета минимальный CRI равен 80 [4].

Размеры основания корпуса светодиодов серии N5 составляют 5,0×5,0 мм, что также соответствует аналогу известных производителей, например, светодиодам серии XM-L компании Cree. Следует сказать, что аналогичные изделия многих компаний превосходят по размерам серию N5 SemiLEDs [4]. Уменьшение размера корпуса позволяет снизить себестоимость данного типа светодиодов и, следовательно, сократить себестоимость люмена.

Мощные СД серии M63 (рис. 3) — это полноцветные светодиоды. В корпусе светодиода находятся четыре кристалла: красный, зеленый, синий и белый, который представляет собой также синий кристалл, покрытый люминофором. Минимальные значения светового потока кристаллов при токе 350 мА через каждый кристалл составляют для красного цвета 45 лм, для зеленого 87 лм, для синего 18 лм и для белого 100 лм [4]. Максимальный рабочий ток светодиода достигает 700 мА через каждый кристалл [4].

Светодиоды серии M63 имеют корпус с размерами основания 6,3×6,3 мм [4]. Эти светодиоды в основном предназначены для систем архитектурно-художественного и декоративного освещения, а также для мощных компактных прожекторов, предназначенных для создания световых спецэффектов.



Рис. 3. Мощные светодиоды серии M63 компании SemiLEDs



Рис. 4. Мощные светодиоды серии M90 компании SemiLEDs

Мощные СД серии M90 (рис. 4) выпускаются в холодном и теплом диапазонах белого цвета. В корпусе светодиодов данной серии есть несколько кристаллов — 12, 16 и 20. В зависимости от их количества и коммутации возможны разные рабочие режимы, соответствующие разной потребляемой мощности. Типовые значения их светового потока при токе 350 мА для холодного белого цвета составляют 1300 лм для 12 кристаллов внутри корпуса и 1700 лм для 16 кристаллов внутри корпуса; для теплого белого цвета типовые значения светового потока при токе 350 мА составляют 1000 лм для 12 кристаллов внутри корпуса и 1300 лм для 16 кристаллов внутри корпуса [4]. Данный режим отвечает потребляемой мощности 12 и 16 Вт соответственно [4]. Максимальный рабочий ток для данных светодиодов равен 1000 мА, что соответствует потребляемой мощности 40 и 55 Вт [4]. Светодиоды серии M90 с 20 светодиодами в корпусе выпускаются в холодном белом диапазоне, максимальный рабочий ток равен 840 мА, типовое значение светового потока при этом превышает 1700 лм. Потребляемая мощность в данном режиме — 20 Вт. Типичное значение CRI мощных светодиодов серии M90 холодного белого цвета составляет 70, у светодиодов теплого белого цвета минимальный CRI равен 80. Тепловое сопротивление светодиодов данной серии не превосходит 0,5 °C/Вт [4].

Светодиоды серии M90 имеют корпус с размерами основания 9,0×9,0 мм [4]. Возможность варьировать рабочие токи, а значит, и потребляемую мощность и световой поток светодиодов данной серии при сохранении одинакового форм-фактора позволяют разработчикам получать на одинаковых платах источники света разной яркости.

Светодиодные модули компании SemiLEDs

В линейке светодиодных модулей компании SemiLEDs можно выделить три основные серии: C1919 (рис. 5а, б), C2828 (рис. 6а, б) и C4246 (рис. 7).

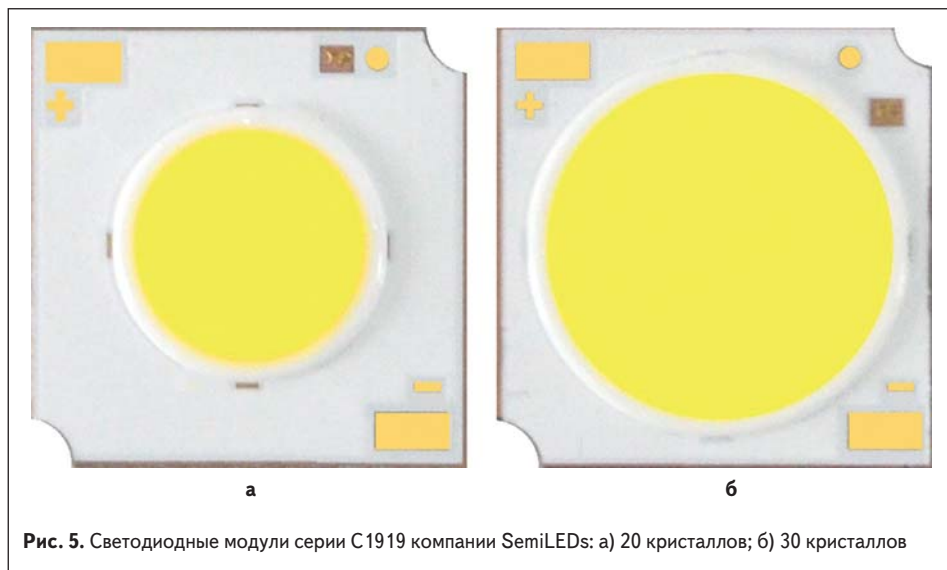


Рис. 5. Светодиодные модули серии C1919 компании SemiLEDs: а) 20 кристаллов; б) 30 кристаллов

Светодиодные модули серии C1919 (рис. 5а, б) выпускаются в холодном и теплом диапазонах белого цвета. На основании модулей данной серии может располагаться либо 20 (рис. 5а), либо 30 (рис. 5б) кристаллов, соединенных в последовательно-параллельные цепочки 10×2 и 10×3 соответственно. Номинальное значение прямого напряжения в рабочем режиме равно для всех моделей 33 В, а ток в зависимости от коммутации составляет либо 300, либо 450 мА [4]. Данные режимы соответствуют потребляемой мощности 10 и 15 Вт соответственно [4]. Типичное значение CRI светодиодных модулей серии C1919 холодного белого цвета составляет 70, у модулей теплого белого цвета минимальный CRI равен 80 [4].

Размеры основания светодиодных модулей серии C1919 равны 19,0×19,0 мм. Источник света, представляющий последовательно-параллельные цепочки синих кристаллов, покрытых гель-люминофорной пленкой для получения белого цвета [1–4, 13], имеет круглую форму. Диаметр источника света, в зависимости от количества кристаллов, равен

9,8 и 14,5 мм соответственно. Это позволяет разработчикам получать различную яркость источника света при одинаковом форм-факторе и таким образом расширять линейку светотехнических изделий, одновременно снижая себестоимость разработок.

Светодиодные модули серии C2828 (рис. 6а, б) выпускаются в холодном и теплом диапазонах белого цвета. На основании модулей данной серии может располагаться 30 (рис. 6а), 40 (рис. 6а) и 60 (рис. 6б) кристаллов, соединенных в последовательно-параллельные цепочки 10×3, 10×4 и 10×6 соответственно. Номинальное значение прямого напряжения в рабочем режиме для всех моделей равно 33 В, а ток в зависимости от коммутации составляет 450, 600 и 900 мА соответственно [4]. Данные режимы отвечают потребляемой мощности 15, 20 и 30 Вт [4]. Типичное значение CRI светодиодных модулей серии C2828 холодного белого цвета составляет 70, у модулей теплого белого цвета минимальный CRI равен 80 [4].

Светодиодные модули серии C2828 выпускаются с основанием размером 28,0×28,0 мм.

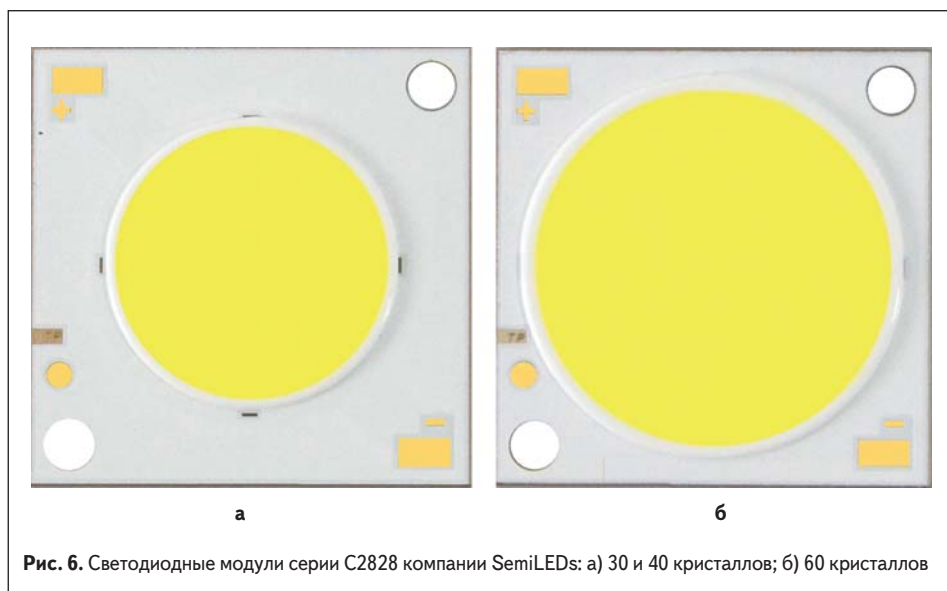


Рис. 6. Светодиодные модули серии C2828 компании SemiLEDs: а) 30 и 40 кристаллов; б) 60 кристаллов

Источник света, представляющий, как и в случае серии S1919, последовательно-параллельные цепочки синих кристаллов, покрытых геллюминофорной пленкой для получения белого цвета [1–4, 13], также имеет круглую форму. Диаметр источника света в случае 30 и 40 кристаллов равен 17 мм, в случае 60 кристаллов — 22,5 мм.

В отличие от предыдущих серий светодиодные модули серии C4246 (рис. 7) выпускаются только в холодном диапазоне белого цвета. На основании модулей может располагаться 100 и 120 кристаллов, соединенных в последовательно-параллельные цепочки 10×10 и 10×12 соответственно. Номинальное значение прямого напряжения в рабочем режиме для всех моделей равно 33 В, а ток в случае 100 кристаллов может составлять 1500 и 3000 мА, а в случае 120 — 3600 мА [4]. Данные режимы соответствуют потребляемой мощности 50 Вт, 100 Вт и 120 Вт [4]. Типичное значение CRI светодиодных модулей серии C4246 составляет 70 [4].



Рис. 7. Светодиодные модули серии C4246 компании SemiLEDs

Светодиодные модули серии C4246 имеют размеры основания 42,0×46,0 мм. Источник света у данных модулей, в отличие от модулей предыдущих серий, имеет форму квадрата, размеры которого 24,4×24,4 мм [4].

Сверхъяркие СД компании SemiLEDs

В линейке сверхъярких светодиодов компании SemiLEDs, как и у мощных светодиодов, можно выделить четыре основные серии: PBC-3014, PAC-3022, PAC-5630 и PAC-3030.

Светодиоды серии PBC-3014 (рис. 8) являются наименее мощными. Их рабочий ток равен 30 мА, а среднее значение потребляемой мощности примерно 0,1 Вт [4]. Они выпускаются во всем диапазоне белого цвета — холодном, естественном и теплом. Типовое значение их светового потока при токе 30 мА для холодного и естественного белого цвета равно 11,5 лм, для теплого белого цвета — 10,4 лм [4]. Минимальное



Рис. 8. Сверхъяркие светодиоды серии PBC-3014 компании SemiLEDs

значение CRI светодиодов серии PBC-3014 равно 80 [4].

Светодиоды серии PAC-3022 (рис. 9) выпускаются во всем диапазоне белого цвета — холодном, естественном и теплом. Их рабочий ток равен 60 мА, а среднее значение потребляемой мощности — примерно 0,1 Вт, что в два раза превышает аналогичные характеристики предыдущей серии [4]. Типовое значение их светового потока при токе 60 мА для холодного белого цвета равно 22,8 лм, для естественного белого цвета — 22,0 лм, для теплого белого цвета — 20,8 лм [4]. Минимальное значение CRI светодиодов серии PAC-3022 соответствует 80 [4].



Рис. 9. Сверхъяркие светодиоды серии PAC-3022 компании SemiLEDs

СД серии PAC-5630 (рис. 10), как и аналогичные двух предыдущих серий, выпускаются во всем диапазоне белого цвета — холодном, естественном и теплом. Их номинальный рабочий ток равен 150 мА, среднее значение потребляемой мощности составляет пример-



Рис. 10. Сверхъяркие светодиоды серии PAC-5630 компании SemiLEDs

но 0,5 Вт [4]. Типовое значение их светового потока при номинальном токе для холодного белого цвета равно 50 лм, для естественного белого цвета — 46 лм, для теплого белого цвета — от 44 до 46 лм [4]. Минимальное значение CRI светодиодов серии PAC-5630 равно 80 [4].

Светодиоды серии PAC-3030 (рис. 11) наиболее мощные из сверхъярких светодиодов. Их потребляемая мощность в рабочем режиме составляет примерно 1 Вт, а номинальный ток равен 150 мА [4]. Они выпускаются во всем диапазоне белого цвета — холодном, естественном и теплом. Типовое значение их светового потока при номинальном токе для холодного и естественного белого цвета равно 95 лм, для теплого белого цвета — от 82 до 85 лм [4]. Минимальное значение CRI светодиодов серии PAC-3030 равно 80 [4].



Рис. 11. Сверхъяркие светодиоды серии PAC-3030 компании SemiLEDs

Все серии сверхъярких светодиодов компании SemiLEDs предлагаются в достаточно распространенных типах корпусов, применяемых многими производителями. Это позволит разработчикам использовать светодиоды в уже существующих изделиях на разработанных платах без каких-либо изменений схемы и дизайна, что может снизить себестоимость изделий.

Применение светодиодов SemiLEDs в светотехнике

Описанные технологические достижения и собственные разработки позволили компании SemiLEDs в достаточно короткие сроки стать одним из лидеров на светодиодном рынке. Светодиоды и светодиодные модули компании нашли применение во многих проектах в различных областях светотехники.

Одним из перспективных направлений стала автомобильная промышленность, весьма требовательная к качеству светотехнической продукции. Несмотря на то, что этот рынок достаточно сложный, предполагающий значительные вложения в начальный период, связанные, например, с долгим процессом сертификации изделий, а также сложными



Рис. 12. Макет фары автомобиля с источником света на основе светодиодной продукции SemiLEDs

светотехническими нормами, в последнее время светодиодные изделия вполне успешно начали применяться и здесь. По словам специалистов, главная задача — разработать изделие, удовлетворяющее жестким международным стандартам. И в последнее время с этой задачей им удается справиться. Многие из них применяют в своих решениях светодиоды SemiLEDs (рис. 12) [14].

Например, одним из новых изделий стал светодиодный модуль для головного света автомобиля мощностью 10 Вт (рис. 13), обеспечивающий световой поток 800 лм. Сложность разработки обусловлена, как уже было отмечено выше, непростыми требованиями к светотехническим характеристикам, в частности, к кривой силы света (КСС), которая должна обеспечиваться согласно техническим стандартам. Долгое время практически никому не удавалось создать соответствующее светодиодное устройство для головного света автомобиля. В последние несколько лет проблему удалось решить,



Рис. 13. Светодиодный модуль для фары головного света автомобиля на основе светодиодной продукции SemiLEDs

в частности, с применением светодиодов SemiLEDs [14].

Другой нишей для успешного применения светодиодов компании SemiLEDs является декоративное освещение, в том числе архитектурное, сценическое и т. д. Здесь благодаря широкому ассортименту продукции производителя разработчикам удалось добиться значительных успехов, поскольку спектр выпускаемых светодиодов позволяет создать системы освещения любого цвета и интенсивности.

Примером использования светодиодов SemiLEDs для архитектурного освещения может служить гостиничный комплекс «Альфа» в Москве (рис. 14а, б), подсветка

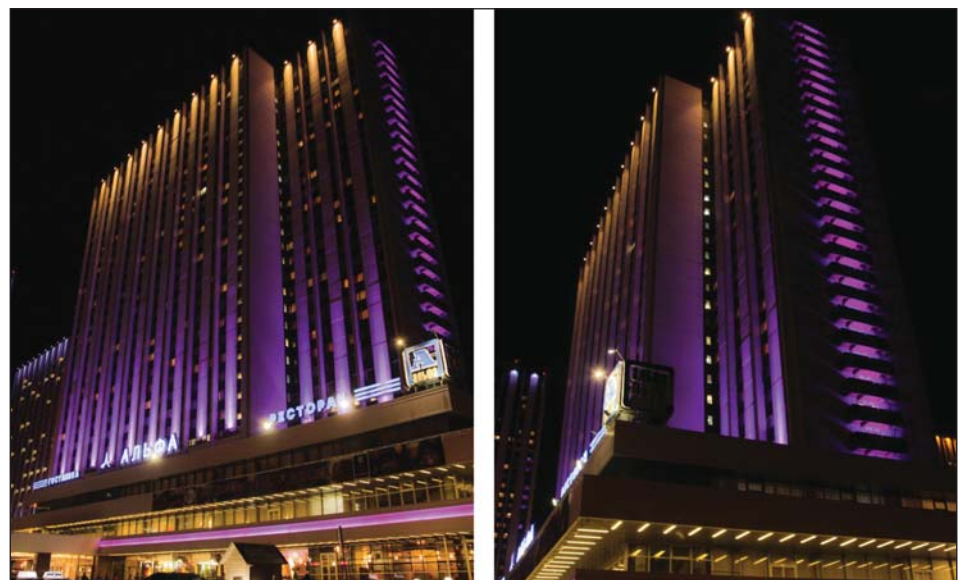


Рис. 14. Освещение гостиничного комплекса «Альфа» в Москве с применением светодиодов SemiLEDs: а) фасад здания; б) балконы

которого была создана в сотрудничестве с компанией «Двадцать Первый Век».

Комплекс «Альфа» представляет собой достаточно заметное сооружение, что потребовало особого подхода к его освещению как от разработчика решений, так и от поставщика светодиодов — компании SemiLEDs. Проект архитектурной подсветки здания включил разработку трех отдельных типов светильников: светильников мощностью 40 Вт насыщенного пурпурного цвета для установки на балконах, пурпурных светильников мощностью 100 Вт с узкой КСС и светильников теплого белого цвета мощностью 70 Вт для освещения фасада здания. Светильники были сделаны на основе светодиодов серии C35 компании SemiLEDs. Кроме того, на их основе изготовлены образцы светильников мощностью 150 Вт с возможностью динамического изменения цвета свечения. Эти светильники позволяли производить подбор требуемых оттенков цвета непосредственно на объекте.

Светодиоды были установлены на единую алюминиевую плату и снабжены вторичной оптикой для получения угла 10° . Данные светодиодные светильники заменили светильники с натриевыми лампами мощностью 400 и 250 Вт, что позволило сократить на 70% затраты электроэнергии на освещаемом объекте.

Заключение

Успехи, достигнутые компанией SemiLEDs за последнее время, позволяют надеяться, что новые разработки, планируемые для вывода на рынок в 2014 году, существенно укрепят ее позиции. Также стоит рассчитывать, что это увеличит долю светодиодных изделий в современных светотехнических решениях.

Следует отметить, что описанные в статье СД компании SemiLEDs имеют высокую све-

товую отдачу и на их основе можно получать достаточно выгодные светотехнические изделия для различных светотехнических проектов. Кроме того, применение данных светодиодов, имеющих при высокой световой отдаче достаточно хорошую цену люмена, способно сократить срок окупаемости изделий. ●

Литература

1. Ф. Е. Шуберт. Светодиоды. М.: ФизМатЛит, 2008.
2. А. Н. Туркин. Полупроводниковые светодиоды: история, факты, перспективы // Полупроводниковая светотехника. 2011. № 5.
3. А. Н. Туркин. Применение светодиодов в светотехнических решениях: история, реальность и перспективы // СТА. 2011. № 2.
4. А. Туркин. Характеристики и особенности светодиодов компании SemiLEDs // Современная электроника. 2014. № 3.
5. А. Н. Туркин. Светодиоды Lumileds: прошлое, настоящее, будущее // Полупроводниковая светотехника. 2012. № 2.
6. И. Матешев, А. Муленкова, А. Туркин, К. Шамков. Мощные светодиоды Philips Lumileds — от истоков до новинок рынка // Современная электроника. 2013. № 6.
7. И. Матешев, А. Муленкова, А. Туркин, К. Шамков. Обзор новых светодиодных продуктов компании Philips Lumileds // Полупроводниковая светотехника. 2013. № 5.
8. А. Г. Полищук. Новая серия светодиодов XR-E7090 компании Cree для общего освещения // Светотехника. 2007. № 3.
9. А. Г. Полищук, А. Н. Туркин. Новое поколение светодиодов компании Cree для освещения // Автоматизация в промышленности. 2008. № 7.
10. А. Н. Туркин. Мощные светодиоды Cree для освещения: основные преимущества и перспективы применения // Полупроводниковая светотехника. 2009. № 2.
11. А. Н. Туркин, Ю. Б. Дорожкин. Новое поколение мощных светодиодов Cree: особенности, преимущества, перспективы // Полупроводниковая светотехника. 2012. № 5.
12. А. Туркин, Ю. Дорожкин, А. Щерба, И. Матешев. Характеристики и особенности применения светодиодов Cree нового поколения // Современная электроника. 2013. № 1.
13. Светодиоды и их применение для освещения. Под общей редакцией академика АЭН РФ Ю. Б. Айзенберга. Московский Дом Света. 2012. 280 с. М.: Знак, 2012.
14. www.ledinside.com/interview/2014/1/tslc_new_factory_targets_automotive_lighting_and_other_niche_market_developments