

# Характеристики и особенности светодиодов компании SemiLEDs

Андрей Туркин (Москва)

В статье приведён обзор светодиодов и светодиодных модулей тайваньской компании SemiLEDs. Разработав новую технологию производства светодиодных кристаллов, компания сумела стремительно выйти в лидеры рынка светодиодной продукции.

## ВВЕДЕНИЕ

В последнее время происходит бурный рост производства и применения светодиодных осветительных приборов. Этому способствует развитие технологии производства светодиодов всех типов, в том числе сверхъярких, мощных, а также светодиодных модулей. Лидерами рынка остаются компании, разработавшие основополагающие технологии производства светодиодов. Так, специалисты компании Nichia первыми в мире получили белый светодиод путём возбуждения жёлто-зелёного люминофора свечением синего кристалла [1–3]. Компания Philips Lumileds, в 2003 году представившая первый мощный светодиод Luxeon I [1–4], сегодня успешно развивает свою светодиодную линейку [4–6]. Светодиоды Luxeon I по световой отдаче почти в два раза превзошли лампы накаливания [1–6], что позволило говорить о светодиодах как о новых и эффективных источниках света.

Компания Cree, использующая собственную технологию выращивания гетероструктур нитрида галлия (GaN) на подложках из карбида кремния (SiC), во второй половине 2006 года выпустила серию эффективных мощных светодиодов XLamp XR-E. Это стало своеобразным прорывом в области полупроводниковых источников света, так как световой поток достиг значения 100 лм, а световая отдача – 90 лм/Вт [2, 3, 7–11]. Так был преодолен первый «психологический» рубеж – 100 лм.

Тайваньская компания SemiLEDs, основанная в 2004 году, разработала

собственную технологию производства светодиодных кристаллов и в настоящее время выходит в лидеры рынка светодиодов.

## СВЕТОДИОДНЫЕ КРИСТАЛЛЫ КОМПАНИИ SEMILEDs

Многие компании при производстве кристаллов использовали технологию выращивания гетероструктур GaN на сапфировых ( $Al_2O_3$ ) подложках [1–3]. Технология была достаточно отработана, но имела определённые недостатки, связанные, например, с 15%-ным расогласованием постоянной кристаллической решётки материала подложки и базового слоя структуры. Как следствие этого расогласования, в базовом слое GaN возникали дислокации и дефекты, которые приводили к снижению квантового выхода излучения и росту внутреннего сопротивления, и, как следствие, к увеличению прямого напряжения и потребляемой мощности [12]. Указанные ограничения удалось преодолеть специалистам компании SemiLEDs, которые разработали промышленный способ отсоединения структуры GaN от сапфировой подложки. Эта технология получила название «lift-off» [12]. Она состоит в том, что структуру GaN на сапфировой подложке подвергают воздействию лазерного импульса с определёнными значениями длины волны и мощности [12]. Излучение лазера активирует имеющийся в структуре примесный кислород, сконцентрированный в буферном слое у границы с подложкой, где сосредоточены основные дефекты и дислокации. В результате в данной области

образуется повышенная концентрация оксида галлия, что позволяет небольшим усилием отделить подложку от гетероструктуры GaN [12].

С помощью такой технологии специалисты компании SemiLEDs добились существенных результатов. Во-первых, им удалось значительно снизить концентрацию дефектов в структуре GaN, и, как следствие, уменьшить безызлучательную рекомбинацию и повысить квантовый выход излучения. Во-вторых, стало возможным изготавливать кристаллы с контактами на противоположных гранях проводящей подложки, обеспечивая вертикальное протекание тока. Это позволило снизить внутреннее сопротивление структуры и, как следствие, уменьшить потребляемую мощность при номинальном токе. В-третьих, данная технология позволяла многократно использовать сапфировые подложки в процессе роста и снизить себестоимость кристаллов.

Описанные технологические достижения позволили компании SemiLEDs выйти в лидеры светодиодного рынка. Далее будут рассмотрены основные виды светодиодов, производимых компанией.

## 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 линзовым куполом. В корпусе светодиода данного типа может быть один или несколько кристаллов, соединённых как последовательно, так и последовательно и параллельно. Потребляемая мощность данных светодиодов составляет от 1 до 55 Вт (см. табл. 1). Благодаря наличию первичной линзы, а также корпуса, имеющего стандартный для данного типа светодиодов форм-фактор, светодиоды могут применяться со вторичной оптикой – линзами и рефлекторами, что позволяет использовать их в системах освещения, там, где требуется определённая кривая силы света (КСС), – прожекторах направленного

Таблица 1. Основные типы и серии светодиодов и светодиодных модулей

Мощные светодиоды	Светодиодные модули	Сверхъяркие светодиоды
C35: 1...3 Вт	C1919: 10...15 Вт	PBC-3014: 0,1 Вт
N5: 5...10 Вт	C2828: 15...30 Вт	PAC-3022: 0,2 Вт
M63: 5...10 Вт	C4246: 50...120 Вт	PAC-5630: 0,5 Вт
M90: 12...40 Вт, 16...55 Вт		PAC-3030: 1 Вт

света, светильниках уличного освещения и т.д.

2. *Светодиодные модули.* Данные изделия собираются по технологии «Chip-on-Board» (COB): соединённые последовательно-параллельные цепочки кристаллов монтируются на плате и покрываются гель-люминофорной композицией для получения белого цвета свечения [1–3, 12]. Потребляемая мощность данных модулей составляет от 10 до 120 Вт (см. табл. 1). Плата – основание модуля является первичным теплоотводом, что снижает температуру кристаллов и обеспечивает более высокую мощность. Основание имеет специальные крепёжные отверстия для монтажа и площадки для пайки, что упрощает коммутацию [1–3, 12].

3. *Сверхъяркие светодиоды.* В данную группу входят светодиоды относительно небольшой потребляемой мощности (0,1...1,0 Вт). Светодиоды выполнены в корпусах для поверхностного монтажа стандартных форм-факторов, соответствующих определённой номинальной мощности: 3014 – 0,1 Вт, 3022 – 0,2 Вт, 5630 – 0,5 Вт, 3030 – 1 Вт. В основном такие светодиоды могут использовать-

ся в системах внутреннего освещения, а также в светосигнальной аппаратуре.

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** (см. рис. 1) выпускаются во всём диапазоне белого цвета, а также всех основных цветов видимого спектра – красного, жёлтого, зелёного, изумрудного (сине-зелёного), голубого и синего. Значения светового потока при токе 350 мА для холодного белого цвета превышает 139 лм, для естественного белого цвета – 122 лм, для тёплого белого цвета – 107 лм. Типичное значение индекса цветопередачи (CRI) мощных светодиодов серии C35 холодного и естественного белого цвета составляет, соответственно, 70 и 75; у светодиодов тёплого белого цвета минимальный CRI равен 80. Максимальный рабочий ток светодиодов всех оттенков белого

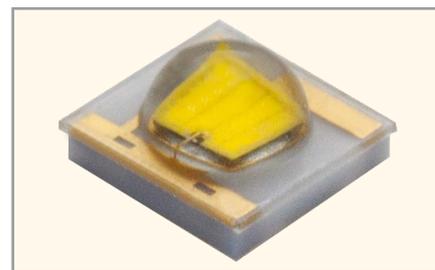


Рис. 1. Мощные светодиоды серии C35

цвета равен 1000 мА, а тепловое сопротивление не превышает 8°/Вт.

Цветные светодиоды серии C35 выпускаются в красном, жёлтом, зелёном, изумрудном, голубом и синем диапазонах видимого спектра. Значение светового потока при токе 350 мА для красных и жёлтых светодиодов превосходит 56 лм, для зелёных и изумрудных – 87 лм, для голубых – 30 лм. Значение мощности оптического излучения синего светодиода серии C35 свыше 480 мВт. Максимальный рабочий ток красных, жёлтых и зелёных светодиодов составляет 700 мА, изумрудных, голубых и синих – 1000 мА.

Основные характеристики светодиодов серии C35 приведены в таблице 2.

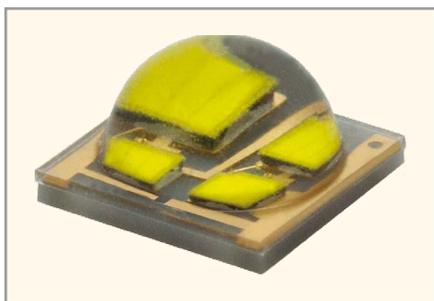


Рис. 2. Мощные светодиоды серии N5

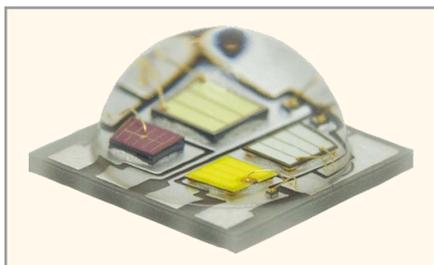


Рис. 3. Мощные светодиоды серии M63

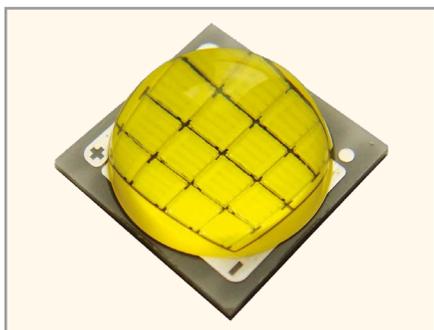


Рис. 4. Мощные светодиоды серии M90

Приборы серии C35 изготавливаются на основании размером 3,45 × 3,45 мм. Основания такого же размера используются многими известными производителями, например в светодиодах серий XP и XT компании Cree. Кривая светораспределения приборов серии C35 также аналогична светодиодам XP и XT. Поэтому светодиоды серии C35 компании SemiLEDs могут быть использованы производителями осветительных приборов в уже существующих изделиях.

Мощные светодиоды серии **N5** (см. рис. 2) выпускаются в холодном и тёплом диапазонах белого цвета. В корпусе светодиодов данной серии находятся четыре кристалла. В зависимости от схемы коммутации возможны два режима рабочего тока и, соответственно, потребляемой мощности. Значение светового потока при токе 700 мА для холодного белого цвета превышает 560 лм, для тёплого белого цвета – 380 лм. Потребляемая мощность в данном режиме составляет 5 Вт. Значения светового потока при токе 1400 мА для холодного белого цвета превышает 955 лм, для тёплого белого цвета – 645 лм. Типичное значение CRI мощных светодиодов серии N5 холодного белого цвета составляет 70, для светодиодов тёплого белого цвета минимальный CRI равен 80.

Основные характеристики светодиодов серии N5 приведены в таблице 3. Приборы серии N5 имеют корпус с основанием 5,0 × 5,0 мм, что также соответствует аналогам известных производителей, например светодиодам серии XM-L компании Cree. Следует отметить, что аналогичные по световым параметрам приборы многих фирм превосходят по размерам светодиоды серии N5 компании SemiLEDs, поэтому себестоимость люмена данного типа светодиодов ниже.

Мощные приборы серии **M63** (см. рис. 3) – это полноцветные светодиоды. В корпусе установлены четыре кристалла: красный, зелёный, синий и белый (фактически, синий кристалл, покрытый люминофором). Минимальные значения светового потока кристаллов при токе 350 мА через каждый кристалл составляют 45 лм для красного цвета, для зелёного – 87 лм, для синего – 18 лм и для белого – 100 лм. Максимальный рабочий ток равен 700 мА через каждый кристалл. Тепловое сопротивление светодиодов серии C35 не превосходит 7°/Вт. Основные характеристики светодиодов серии M63 приведены в таблице 4.

Светодиоды серии M63 имеют корпус с основанием 6,3 × 6,3 мм. Данные приборы в основном предназначены для систем архитектурно-художественного и декоративного освещения, а также для мощных компактных прожекторов, использующихся для создания световых спецэффектов.

Мощные светодиоды серии **M90** (см. рис. 4) выпускаются в диапазонах холодного и тёплого белого цвета. В корпусе светодиодов данной серии находятся 12, 16 или 20 кристаллов. В зависимости от их количества и схемы коммутации возможны разные рабочие режимы с различной потребляемой мощностью. Типовые значения светового потока при токе 350 мА для холодного белого цвета составляют 1300 лм для 12-кристального корпуса и 1700 лм для 16-кристального корпуса. Для тёплого белого цвета типовые значения светового потока при токе 350 мА составляют 1000 лм для 12-кристального корпуса и 1300 лм для 16-кристального корпуса. Это соответствует потребляемой мощности 12 Вт (12 кристаллов) и 16 Вт (16 кристаллов). Максимальный рабочий ток равен 1000 мА, что соответствует потребляемой мощности 40 и 55 Вт, соответственно.

Таблица 2. Основные характеристики светодиодов серии C35

Светодиод	Цвет	Номинальный ток, мА	Максимальный рабочий ток, мА	Минимальный световой поток, лм	CRI	
C35x-W0-x	Холодный белый	350	1000	139	70 (тип.)	
C35x-W1-x	Естественный белый			122	75 (тип.)	
C35x-W7-x	Тёплый белый			107	80 (мин.)	
C35x-RN	Красный		700	56,8	–	
C35x-AN	Жёлтый				–	
C35x-GN-x	Зелёный				–	
C35x-CN-x	Изумрудный		1000	1000	87,4	–
C35x-BN-x	Голубой				30,6	–
C35x-DN-x	Синий				(480 мВт)	–

Таблица 3. Основные характеристики светодиодов серии N5

Светодиод	Номинальный ток, мА	Номинальная мощность, Вт	Цветовая температура, К	Минимальный световой поток, лм	CRI
N5xx-W0-x	700	5	4750...7000 (холодный белый)	560	70 (тип.)
	1400	10		955	
N5xx-W7-x	700	5	2600...3700 (тёплый белый)	380	80 (мин.)
	1400	10		645	

Таблица 4. Основные характеристики светодиодов серии M63

Светодиод	Цвет	Минимальный световой поток, лм	Номинальный ток, мА	Максимальный ток, мА	Тепловое сопротивление, °C/Вт
M6363-005-0000-4X	R: 620...630 нм G: 520...530 нм B: 460...470 нм W: 6000...8000 К	R: 45 G: 87 B: 18 W: 100	350	700	7

Светодиоды серии M90 с 20 кристаллами в корпусе выпускаются в диапазоне холодного белого цвета, максимальный рабочий ток составляет 840 мА, типовое значение светового потока при этом превышает 1700 лм. Потребляемая мощность в данном режиме составляет 20 Вт. Тепловое сопротивление приборов данной серии не превышает 0,5°/Вт. Основные характеристики светодиодов серии M90 приведены в таблице 5.

Светодиоды серии M90 имеют корпус с основанием 9,0×9,0 мм. Возможность изменять рабочие токи и, как следствие, потребляемую мощность и световой поток приборов данной серии при сохранении форм-фактора, позволяет реализовывать на одинаковых платах источники света различной яркости и применять их в широкой номенклатуре осветительных приборов практически без изменения конструкции.

### Светодиодные модули компании SemiLEDs

В линейке светодиодных модулей компании SemiLEDs можно выделить три основные серии: C1919, C2828 и C4246.

Светодиодные модули серии **C1919** (см. рис. 5а и 5б) выпускаются в холодном и тёплом диапазонах белого цвета. На основании модулей данной серии могут располагаться либо 20 (см. рис. 5а), либо 30 (см. рис. 5б) кристаллов, соединённых в последовательно-параллельные цепочки 10×2 или 10×3. Номинальное значение прямого напряжения в рабочем режиме для всех моделей равно 33 В, а ток, в зависимости от схемы коммутации, составляет 300 или 450 мА. Данные режимы соответствуют потребляемой мощности 10 и 15 Вт. Основные характеристики светодиодов серии C1919 приведены в таблице 6.

Светодиодные модули серии C1919 имеют размеры основания 19,0×19,0 мм. Источник света круглой формы состоит из последовательно-параллельных цепочек синих кристаллов, покрытых плёнкой люминофорного геля для получения белого цвета [1–3, 12]. Диаметр источника света, в зависимости от количества кристаллов, равен 9,8 или 14,5 мм. Это позволяет разработчикам получать различную яркость при одинаковом форм-факторе и, таким образом, расширять линейку светотехнических изделий, снижая при этом себестоимость разработки.

Светодиодные модули серии **C2828** (см. рис. 6а и 6б) выпускаются в холодном и тёплом диапазонах белого цве-

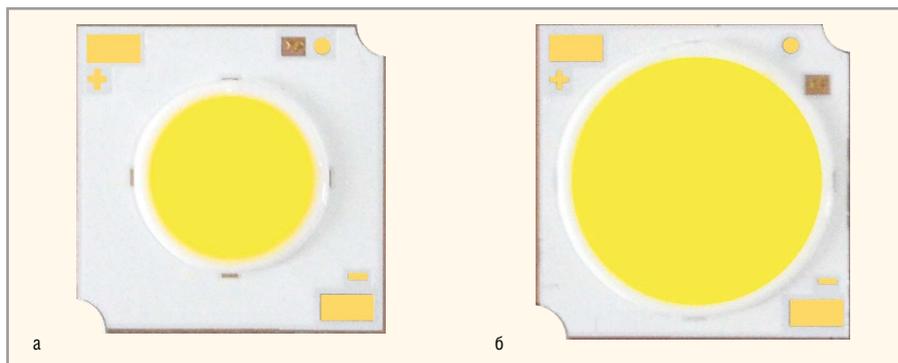


Рис. 5. Светодиодные модули серии C1919: а – 20 кристаллов; б – 30 кристаллов

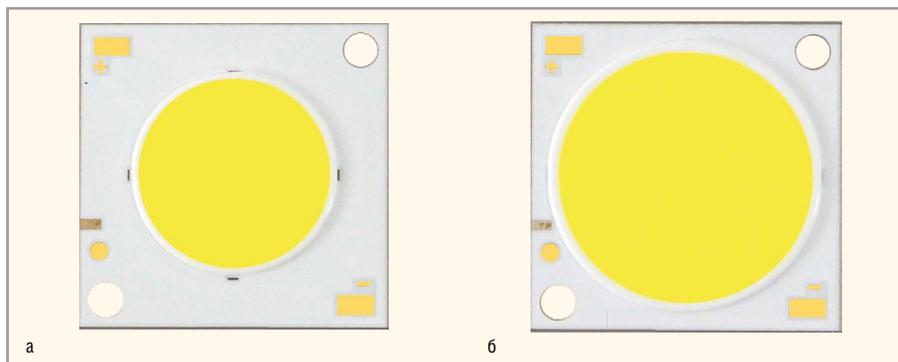


Рис. 6. Светодиодные модули серии C2828: а – 30 и 40 кристаллов; б – 60 кристаллов

та. На основании модулей данной серии могут быть установлены 30, 40 (см. рис. 6а) и 60 (см. рис. 6б) кристаллов, соединённых в последовательно-параллельные цепочки 10×3, 10×4 и 10×6. Номинальное значение прямого напряжения в рабочем режиме для всех модулей равно 33 В, а ток, в зависимости от схемы коммутации, составляет 450, 600 или 900 мА. Данные режимы соответствуют потребляемой мощности 15, 20 или 30 Вт. Основные характе-

ристики светодиодов серии C2828 приведены в таблице 7.

Светодиодные модули серии C2828 выполнены на основании размером 28×28 мм. Источник света круглой формы образуется, как и в серии C1919, последовательно-параллельными цепочками синих кристаллов, покрытых плёнкой люминофорного геля для получения белого цвета [1–3, 12]. Диаметр источника света равен 17 мм (30 и 40 кристаллов) или 22,5 мм (60 кри-

Таблица 5. Основные характеристики светодиодов серии M90

Светодиод	Цветовая температура, К	Типичный световой поток, лм	Номинальный ток, мА	Максимальный рабочий ток, мА	CRI
M9090-012-1201-CE	5310...6020 (холодный белый)	1300	350	1000	70 (тип.)
M9090-012-1201-WF	2870...3220 (тёплый белый)	1000			80 (мин.)
M9090-016-1601-CE	5310...6020 (холодный белый)	1700			70 (тип.)
M9090-016-1601-WF	2870...3220 (тёплый белый)	1300			80 (мин.)
M9090-020-0707-CE	5310...6020 (холодный белый)	1700	840	840	70 (тип.)

Таблица 6. Основные характеристики светодиодных модулей серии C1919

Светодиодный модуль	Цветовая температура, К	Потребляемая мощность, Вт	Номинальный ток, мА	Прямое напряжение, В	CRI
C1919-010-1002-CE	5700 (холодный белый)	10	300	33	70 (тип.)
C1919-010-1002-WF	3000 (тёплый белый)				80 (мин.)
C1919-015-1003-CE	5700 (холодный белый)	15	450		70 (тип.)
C1919-015-1003-WF	3000 (тёплый белый)				80 (мин.)

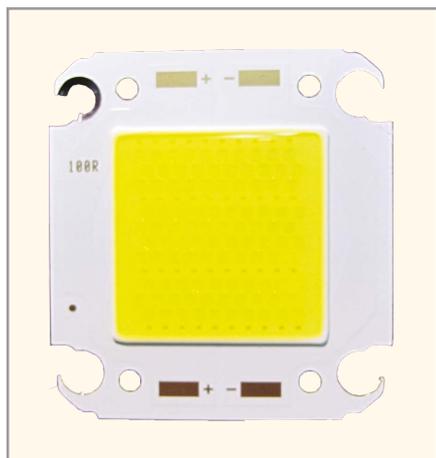


Рис. 7. Светодиодные модули серии C4246



Рис. 8. Сверхъяркие светодиоды серии PBC-3014

сталлов). Это означает, что применение светодиодных модулей C2828 позволяет разработчикам получать различную яркость источника света при одинаковом форм-факторе.

В отличие от двух предыдущих серий, светодиодные модули серии **C4246** (см. рис. 7) выпускаются только в холодном диапазоне белого цвета. На основании модулей устанавливаются 100 или 120 кристаллов, соединённых в последовательно-параллельные цепочки 10×10 или 10×12. Номинальное значение прямого напряжения в рабочем режиме для всех модулей равно 33 В, а ток может быть равным 1500 мА или 3000 мА (100 кристаллов) и 3600 мА (120 кристаллов). Данные режимы соответствуют потребляемой мощности 50, 100 и 120 Вт. Основные характеристики светодиодов серии C2828 приведены в таблице 8.

Светодиодные модули серии C4246 имеют размеры основания 42,0×46,0 мм. Источник света, в отличие от двух других серий, имеет форму квад-

рата 24,4×24,4 мм. Применение изделий серии C4246 также позволяет разработчикам получать различную яркость источника света в одном форм-факторе.

### СВЕРХЪЯРКИЕ СВЕТОДИОДЫ КОМПАНИИ SEMILEDs

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

Светодиоды серии **PBC-3014** (см. рис. 8) являются наименее мощными. Их рабочий ток равен 30 мА при среднем значении потребляемой мощности около 0,1 Вт. Приборы выпускаются во всём диапазоне белого цвета – холодном, естественном и тёплом. Типовое значение светового потока при токе 30 мА для холодного и естественного белого цвета равно 11,5 лм, для тёплого белого цвета – 10,4 лм. Основные характеристики светодиодов серии PBC-3014 приведены в таблице 9. Светодиоды данной серии устанавливаются в стандартные корпуса 3014 для поверхностного монтажа.

Светодиоды серии **PAC-3022** (см. рис. 9) выпускаются во всём диапазоне белого цвета – холодном, естественном и тёплом. Типовое значение светового потока при рабочем токе 60 мА для холодного белого цвета равно 22,8 лм, для естественного белого цвета – 22,0 лм, для тёплого белого цвета – 20,8 лм. Основные характеристики светодиодов серии PBC-3022 приведены в таблице 10. Светодиоды данной серии собирают в стандартных корпусах 3022 для поверхностного монтажа.

Светодиоды серии **PAC-5630** (см. рис. 10), как и аналоги двух предыдущих серий, выпускаются во всём диапазоне белого цвета – холодном, естественном и тёплом. Их номинальный рабочий ток равен 150 мА, а среднее значение потребляемой мощности при этом составляет около 0,5 Вт. Типовое значение светового потока при номинальном токе для холодного белого цвета равно 50 лм, для естественного белого цвета – 46 лм, для тёплого белого цвета – 44...46 лм. Основные характеристики приборов серии PBC-5630 приведены в таблице 11. Светодиоды данной серии собирают в стандартных корпусах 5630 для поверхностного монтажа.

Приборы серии **PAC-3030** (см. рис. 11) являются наиболее мощными из сверхъярких дискретных светодиодов. Их потребляемая мощность

Таблица 7. Основные характеристики светодиодных модулей серии C2828

Светодиодный модуль	Цветовая температура, К	Потребляемая мощность, Вт	Номинальный ток, мА	Прямое напряжение, В	CRI
C2828-015-1003-CE	5700 (холодный белый)	15	450	33	70 (тип.)
C2828-015-1003-WF	3000 (тёплый белый)				80 (мин.)
C2828-020-1004-CE	5700 (холодный белый)	20	600		70 (тип.)
C2828-020-1004-WF	3000 (тёплый белый)				80 (мин.)
C2828-030-1006-CE	5700 (холодный белый)	30	900		70 (тип.)
C2828-030-1006-WF	3000 (тёплый белый)				80 (мин.)

Таблица 8. Основные характеристики светодиодных модулей серии C4246

Светодиодный модуль	Цветовая температура, К	Потребляемая мощность, Вт	Номинальный ток, мА	Прямое напряжение, В	CRI
C4246-050-1010-CE	5700 (холодный белый)	50	1500	33	70 (тип.)
C4246-100-1010-CE	3000 (тёплый белый)	100	3000		
C4246-120-1012-CE	5700 (холодный белый)	120	3600		

Таблица 9. Основные характеристики сверхъярких светодиодов серии PBC-3014

Светодиод	Цветовая температура, К	Прямое напряжение, В	Номинальный ток, мА	Типичный световой поток, лм	CRI
PBC-3014-BC	5300...6500 (холодный белый)	2,9...3,5	30	11,5	80 (мин.)
PBC-3014-BD	4750...5600 (холодный белый)				
PBC-3014-BN	3750...4250 (естественный белый)				
PBC-3014-BW	2850...3250 (тёплый белый)			10,4	
PBC-3014-BM	2550...2850 (тёплый белый)				



Рис. 9. Сверхъяркие светодиоды серии PAC-3022



Рис. 10. Сверхъяркие светодиоды серии PAC-5630

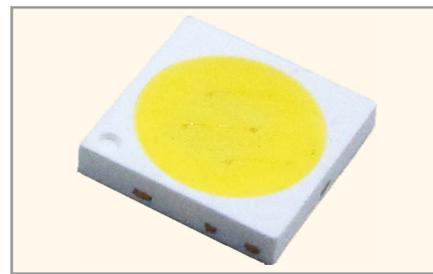


Рис. 11. Сверхъяркие светодиоды серии PAC-3030

в рабочем режиме составляет примерно 1 Вт, а номинальный ток равен 150 мА. Они выпускаются во всём диапазоне белого цвета – холодном, естественном и тёплом. Типовое значение светового потока при номинальном токе для холодного и естественного белого цвета равно 95 лм, для тёплого – 82...85 лм. Основные характеристики светодиодов серии PAC-3030 приведены в таблице 12. Приборы данной серии собирают в стандартных корпусах 3030 для поверхностного монтажа.

Все серии сверхъярких светодиодов компании SemiLEDs выпускаются в достаточно распространённых типах корпусов, используемых многими производителями. Это позволяет разработчикам применять данные светодиоды в уже существующих изделиях без каких-либо изменений схемы и дизайна.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Светодиоды компании SemiLEDs имеют высокую световую отдачу, умеренную стоимость люмена и позволяют реализовывать эффективные светотехнические изделия. Успехи, достигнутые компанией SemiLEDs, позволяют предположить, что новые разработки, которые планируется вывести на рынок в 2014 году, существенно укрепят её позиции, а также увеличат долю светодиодных изделий в выпускаемой светотехнике.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Шуберт Ф.Е. Светодиоды. Москва. ФизМатЛит. 2008.
2. Туркин А.Н. Полупроводниковые светодиоды: история, факты, перспективы. Полупроводниковая светотехника. № 5. 2011.
3. Туркин А.Н. Применение светодиодов в светотехнических решениях: история, реальность и перспективы. СТА. № 2. 2011.
4. Туркин А.Н. Светодиоды Lumileds: прошлое, настоящее, будущее. Полупроводниковая светотехника. №2. 2012.
5. Матешев И., Муленкова А., Туркин А., Шамков К. Мощные светодиоды Philips Lumileds – от истоков до новинок рынка. Современная электроника. № 6. 2013.

6. Матешев И., Муленкова А., Туркин А., Шамков К. Обзор новых светодиодных продуктов компании Philips Lumileds. Полупроводниковая светотехника. № 5. 2013.
7. Полищук А.Г. Новая серия светодиодов XR-E7090 компании Cree для общего освещения. Светотехника. № 3. 2007.
8. Полищук А.Г., Туркин А.Н. Новое поколение светодиодов компании Cree для освещения. Автоматизация в промышленности. Июль 2008.
9. Туркин А.Н. Мощные светодиоды Cree для освещения: основные преимущества

и перспективы применения. Полупроводниковая светотехника. № 2. 2009.

10. Туркин А.Н., Дорожжкин Ю.Б. Новое поколение мощных светодиодов Cree: особенности, преимущества, перспективы. Полупроводниковая светотехника. № 5. 2012.
11. Туркин А., Дорожжкин Ю., Щерба А., Матешев И. Характеристики и особенности применения светодиодов Cree нового поколения. Современная электроника. № 1. 2013.
12. Светодиоды и их применение для освещения. Под общей редакцией Ю.Б. Айзенберга. Московский Дом Света. 2012. ©

Таблица 10. Основные характеристики сверхъярких светодиодов серии PBC-3022

Светодиод	Цветовая температура, К	Прямое напряжение, В	Номинальный ток, мА	Типичный световой поток, лм	CRI
PBC-3022-CC	5300...6500 (холодный белый)	2,9...3,5	60	22,8	80 (мин.)
PBC-3022-CD	4750...5600 (холодный белый)				
PBC-3022-CN	3750...4250 (естественный белый)				
PBC-3022-CW	2850...3250 (тёплый белый)			20,8	
PBC-3022-CM	2550...2850 (тёплый белый)				

Таблица 11. Основные характеристики сверхъярких светодиодов серии PBC-5630

Светодиод	Цветовая температура, К	Прямое напряжение, В	Номинальный ток, мА	Типичный световой поток, лм	CRI
PBC-5630-DC	5300...6500 (холодный белый)	2,8...3,5	150	50	80 (мин.)
PBC-5630-DD	4750...5600 (холодный белый)				
PBC-5630-DN	3750...4250 (естественный белый)			46	
PBC-5630-DW	2850...3250 (тёплый белый)				
PBC-5630-DM	2550...2850 (тёплый белый)				

Таблица 12. Основные характеристики сверхъярких светодиодов серии PAC-3014

Светодиод	Цветовая температура, К	Прямое напряжение, В	Номинальный ток, мА	Типичный световой поток, лм	CRI
PAC-3030-DE	6000...7000 (холодный белый)	6,0...7,0	150	95	80 (мин.)
PAC-3030-DC	5300...6500 (холодный белый)				
PAC-3030-DN	3750...4250 (естественный белый)			85	
PAC-3030-DW	2850...3250 (тёплый белый)				
PAC-3030-DM	2550...2850 (тёплый белый)				