

Лев Коган | Нина Гальчина | Алексей Гофштейн-Гардт | prсoptel@mail.ru  
Александр Колесников | om@optron.ru

# Излучающие диоды инфракрасного диапазона

с мощностью излучения до 3,3 Вт и силой излучения до 8,5 Вт/ср

**Разработаны излучающие диоды инфракрасного диапазона с мощностью излучения до 3,3 Вт и силой излучения до 8,5 Вт/ср. Угол излучения в диапазоне  $2\theta_{0,5} = 9-120$  град. Приборы имеют высокое быстродействие: время нарастания и спада импульса излучения по уровням 0,1–0,9 не более 20 нс. Внешний квантовый выход излучения — до 40%.**

Излучающие диоды инфракрасного диапазона (ИК-диоды) с момента их создания постоянно исследуются и разрабатываются с целью повышения мощности излучения и силы излучения (например, в работе [1]). В работе [2] описываются ИК-диоды с мощностью излучения до 1 Вт и силой излучения до 4 Вт/ср. В данной статье представлены результаты разработки новых ИК-диодов с мощностью излучения до 3,3 Вт, силой излучения до 8,5 Вт/ср и внешним квантовым выходом излучения до 40%.

Для создания ИК-диодов использовались кристаллы фирмы Tynтек размером  $1,5 \times 1,5$  мм с длиной волны излучения  $\lambda_{\max} = 850 \pm 10$  нм. Конструкция ИК-диода (типы У-246Б и У-246Б-1) содержала печатную плату на медной основе, на которой устанавливались шесть кристаллов, соединенных последовательно-параллельно. На плате размещался также керамический отражатель и создавалась полимерная линза с показателем преломления полимера  $n = 1,56$  [3]. Устройство ИК-диода показано на рис. 1. Прибор У-246Б-1 отличается от прибора У-246Б более высокой линзой, создающей меньший угол излучения. Тепловое сопротивление конструкции — не более  $5^\circ\text{C}/\text{Вт}$ .

Диаграммы направленности излучения приборов приведены на рис. 2. Полуширина диаграммы направленности излучения ИК-диода типа У-246Б составляет  $2\theta_{0,5} = 95$  град., ИК-диода типа У-246Б-1 —  $2\theta_{0,5} = 45-55$  град.

Спектр излучения ИК-диодов представлен на рис. 3. Полуширина спектральной полосы излучения составляет  $\Delta\lambda_{0,5} \approx 28$  нм.

Мощность излучения ИК-диодов измерялась с помощью сферического интегратора диаметром

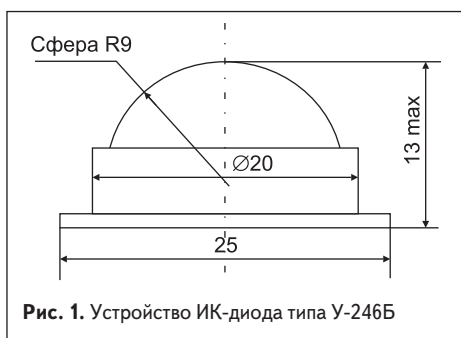


Рис. 1. Устройство ИК-диода типа У-246Б

30 см, содержащего фотометрическую головку (калибровка ФГУП ВНИИОФИ).

Зависимость мощности излучения ИК-диодов типа У-246Б и У-246Б-1 от прямого

тока приведена на рис. 4. Как видим, зависимость мощности излучения от прямого тока близка к линейной, мощность излучения при токе 2 А составляет 3,3 Вт. Это соответствует внешнему квантовому выходу излучения 38%. Внешний квантовый выход излучения мало зависит от прямого тока и при меньших токах приближается к 40%. Сила излучения измерялась с расстоянием фотометрирования, равным 4 м.

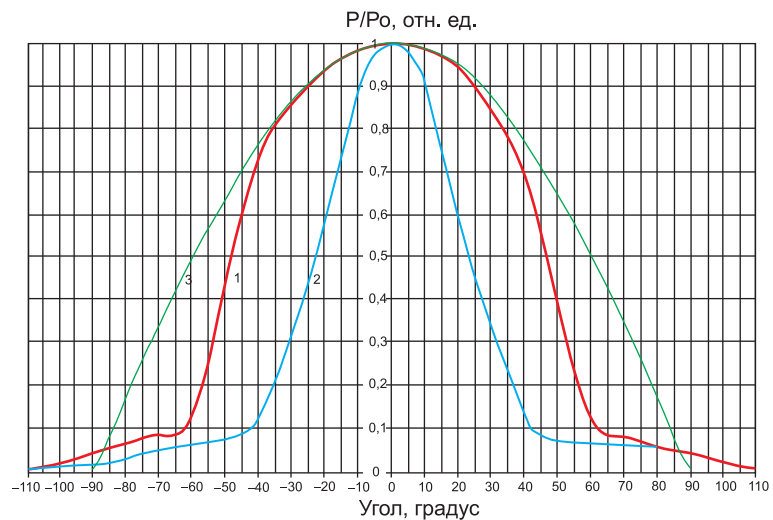


Рис. 2. Диаграммы направленности излучения ИК-диодов типа У-246Б (кривая 1) и У-246Б-1 (кривая 2). Кривая 3 — расчетная диаграмма с углом излучения  $2\theta_{0,5} = 120$  град.

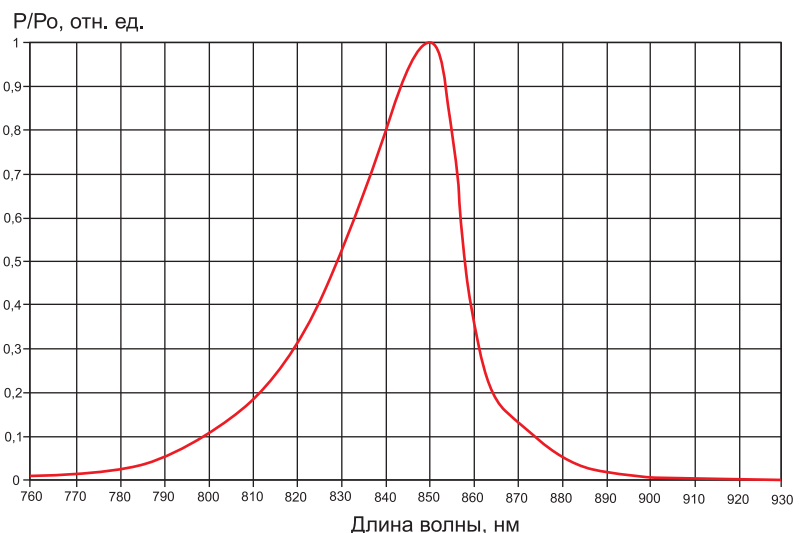


Рис. 3. Спектр излучения ИК-диодов типа У-246Б

Сила излучения ИК-диода типа У-246Б при токе 2А составляет 1,5 Вт/ср, а ИК-диода типа У-246Б-1 — 3,0 Вт/ср.

В импульсном режиме работы мощность излучения в импульсе может достигать 30 Вт, а сила излучения — 30 Вт/ср (при прямом импульсном токе 20 А). В аналогичных конструкциях разработаны также ИК-диоды, содержащие четыре кристалла, соединенные последовательно (типы У-242Б и У-242Б-1), и три кристалла (типы У-236Б и У-236Б-1). Фотометрические и электрические параметры приборов приведены в таблице.

Как следует из таблицы, ИК-диоды типа У-246 обеспечивают максимальную мощность излучения 2,8–3,3 Вт, а ИК-диоды типов У-242 и У-236 при значительной мощности излучения (2,0 и 1,5 Вт) позволяют получить высокую силу излучения 4,0 и 5,0 Вт/ср при углах излучения соответственно 30 и 17 град.

Разработан также узконаправленный ИК-диод повышенной мощности излучения типа У-181Б, конструкция которого аналогична конструкции прибора У-176 (с эллиптическим полимерным куполом, кристалл расположен во втором фокусе эллипса от вершины купола) [3]. В приборе У-181Б также использован кристалл размером 1,5×1,5 мм.

Зависимости мощности излучения и внешнего квантового выхода излучения от прямого тока приведены на рис. 5. Как видим, мощность излучения при токе 1,5 А достигает 825 мВт, что соответствует внешнему квантовому выходу

Таблица. Фотометрические и электрические параметры приборов

Тип диода	Входные электрические параметры			Фотометрические параметры					
	J <sub>пр</sub> , А	U <sub>пр</sub> , В (не более)	P <sub>эл</sub> , Вт	Мощность излучения, P <sub>е</sub> , Вт			Сила излучения J <sub>с</sub> , Вт/ср (типичное значение)	Угол излучения 2θ <sub>0,5</sub> , град. (типичное значение)	
				Мин.	Типовое значение	Макс.			
У-236Б	1,0	5,2	5,0	1,3	1,5	1,7	0,5	120	
У-236Б-1	1,0	5,2	5,0	1,3	1,5	1,7	5,0	17	
У-242Б	1,0	6,3	6,3	1,7	2,0	2,2	0,6	120	
У-242Б-1	1,0	6,3	6,3	1,7	2,0	2,2	4,0	30	
У-246Б	2,0	5,0	9,0	2,8	3,0	3,3	1,5	95	
У-246Б-1	2,0	5,0	9,0	2,8	3,0	3,3	3,0	50	

излучения η<sub>вн</sub> = 38%. При прямом токе менее 1,2 А величина η<sub>вн</sub> превышает 40%, достигая при меньших токах 43,5%.

Сила излучения при токе 1,5 А достигает 8,5 Вт/ср; это значение превышает данные, полученные ранее на ИК-диодах. В импульсном режиме работы сила излучения может достичь 150–170 Вт/ср (при импульсном токе 20 А).

Угол излучения 2θ<sub>0,5</sub> равен 9 град. Прямое напряжение при прямом токе 1,5 А составляет 1,8–1,9 В.

Описанные в статье ИК-диоды обладают высоким быстродействием: время нарастания и спада импульса излучения по уровням 0,1–0,9 не более 20 нс.

ИК-диоды обладают также высокой стабильностью параметров в процессе работы. Например, приборы типа У-246 после испытания на безотказность при прямом токе 2 А и окружающей температуре +70 °С в течение 100 ч не изменили фотометрические параметры.

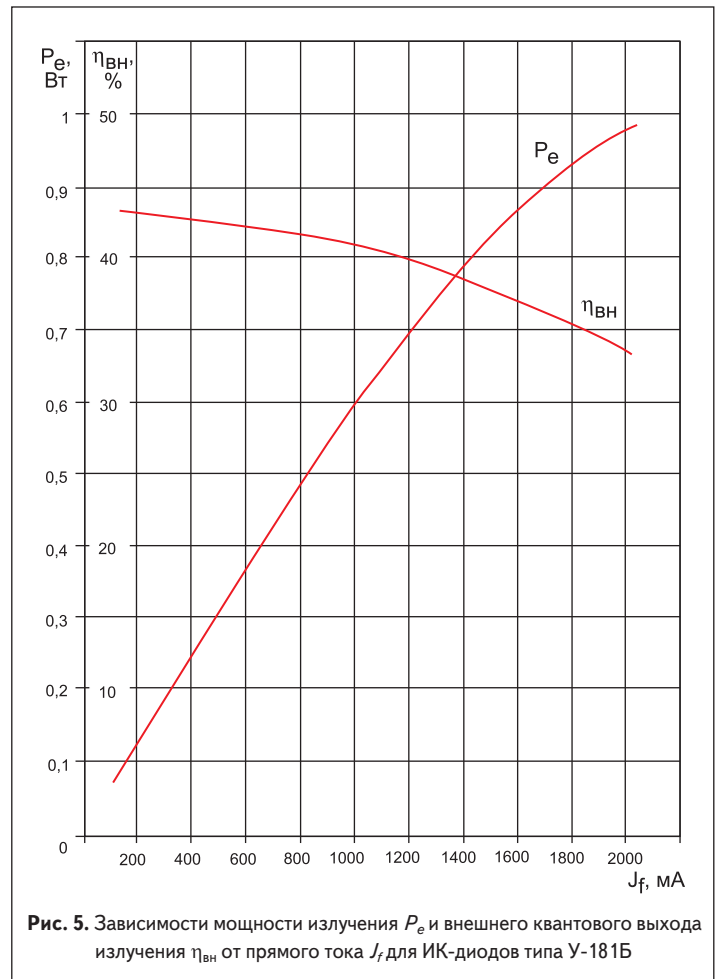
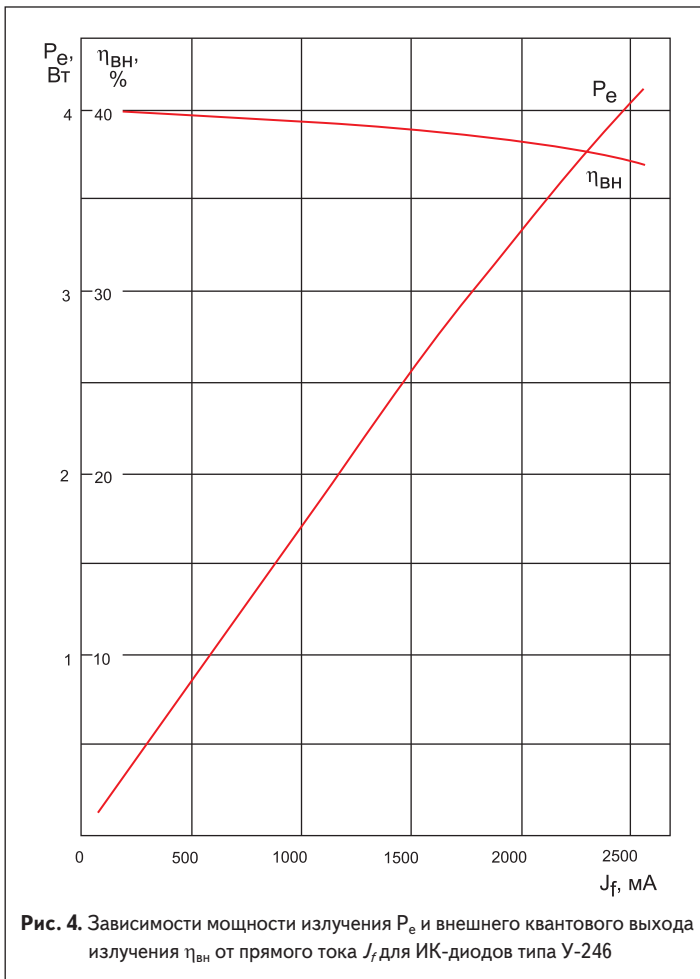
Срок службы ИК-диодов (25 000 ч) значительно превышает срок службы лазерных диодов.

Могут быть изготовлены также аналогичные ИК-диоды в диапазоне длин волн 800–950 нм.

Авторы выражают благодарность И. Т. Рассохину за помощь в работе.

### Литература

1. Диодные источники инфракрасного излучения из арсенида галлия / Л. М. Коган, М. Л. Водовозова, Ю. М. Деготь и др. В сб.: Микроэлектроника и полупроводниковые приборы. — М.: Советское радио. 1977., Вып. 2.
2. Коган Л. М. Мощные излучающие диоды инфракрасного диапазона // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 2012. № 1.
3. Патент РФ на полезную модель № 48673 от 25.10.2004. Мощный светодиод / Л. М. Коган, И. Т. Рассохин, Н. А. Гальчина.



Андрей Туркин

# Новые продукты в светодиодной линейке компании Philips Lumileds

**В статье приводится обзор новых светодиодных изделий компании Philips Lumileds, в начале 2000-х годов первой разработавшей мощные светодиоды, ставшие в последнее время самыми перспективными источниками света для светотехнических изделий. Компания Philips Lumileds продолжает успешно развивать свою линейку продукции, выпуская на рынок новые серии и типы изделий.**

## Введение

Прорыв в физике и технологии полупроводников, произошедший в середине 90-х годов XX века благодаря созданию гетероструктур на основе нитрида галлия и его твердых растворов [1–6] и отмеченный в октябре 2014-го Нобелевской премией, врученной японским ученым Исаму Акасаки, Хироши Амано и Шуджи Накамуре [6], позволил светодиодам проникнуть в коротковолновую область и тем самым перекрыть весь видимый диапазон оптического спектра [1–7]. Также у данных светодиодов обнаружены высокие значения квантового выхода и КПД [1–8], раньше никогда не наблюдавшиеся. Таким образом, удалось сделать светодиоды перспективными источниками света, прежде всего для оптической индикации и отображения информации [9]. Создание же в конце 1990-х светодиодов белого свечения и особенно разработка в самом начале 2000-х принципиально нового класса светодиодов — мощных светодиодов — позволили говорить о светодиодах как о новых источниках света, имеющих самые широкие перспективы [4, 10]. Основная роль в этом принадлежит разработчикам компании Philips Lumileds, явившим миру первый мощный светодиод [11–14]. В результате то, что еще несколько лет назад казалось мечтой, превратилось в реальность.

В настоящее время рынок светотехнических изделий поступательно развивается благодаря постоянному появлению новых светодиодных

продуктов. Хотя круг основных типов светодиодных изделий, можно сказать, практически сформировался, новые приборы продолжают появляться. Связано это как с новыми поколениями существующих серий светодиодов и изделий на их основе, предлагаемых компаниями-производителями, так и с освоением ими новых типов продукции, до настоящего времени не присутствовавшей в их линейке. Примером может служить выпуск компанией Cree в 2011 году серии светодиодных модулей CXA2011 [15], а затем последовательное пополнение серии CXA новыми устройствами [15, 16]. В последние годы аналогичным путем пошли и специалисты компании Philips Lumileds, выпустив на рынок серию светодиодных модулей chip-on-board (CoB). Обзор данных изделий, а также новинок существующих серий будет предложен в данной статье.

## Светодиоды Luxeon серии TX

Одной из новинок компании стали светодиоды серии TX (рис. 1). Особенности новинки следует назвать высокую плотность светового потока, невысокое типовое значение напряжения, равное 2,8 В, а также низкое тепловое сопротивление, составляющее 3 °С/Вт. Корпус светодиода имеет достаточно компактные размеры, которые составляют 3,7×3,7 мм. Характеристики светодиодов серии TX даются при температуре *p-n*-перехода 85 °С. Это значение рекомендуется для рабочего режима светодиода. Светодиоды Luxeon TX выпускаются с определенным значением цветовой температуры, специфицирующей в пределах трех- или пятишагового эллипса МакАдама.

Минимальный световой поток светодиодов серии TX в номинальном режиме (ток 700 мА) при минимальном значении индекса цветопередачи CRI = 70 в холодном белом диапазоне (значения цветовой температуры 5000, 5700 и 6500 К) составляет 260 лм, в естественном белом диапазоне (значение цветовой температуры 4000 К) — 250 лм, в теплом белом диапазоне (значение цветовой температуры 3000 К) — 230 лм [11–14].

При минимальном значении CRI = 80 в холодном (значение цветовой температуры 5000 К) и естественном (значение цветовой температуры

4000 К) белом диапазоне минимальное значение светового потока в номинальном режиме составляет 230 лм, в теплом белом диапазоне (значение цветовой температуры 2700, 3000 и 3500 К) — 200–220 лм [11–14].

При минимальном значении CRI = 85, соответственно, в холодном (5000 К) и естественном (4000 К) белом диапазоне минимальное значение светового потока в номинальном режиме составляет 200 лм, а в теплом белом диапазоне (2700, 3000 и 3500 К) — 170–190 лм [11–14].

С минимальным CRI = 90 светодиоды серии TX выпускаются только в теплом белом диапазоне (2700 и 3000 К), минимальные значения светового потока в номинальном режиме равны соответственно 160 и 170 лм [11–14].

Светодиоды серии TX оптимизированы для использования в промышленных системах освещения, требующих высокой световой поток, высокую энергоэффективность и отличную цветовую однородность [11–14].

## Светодиоды Luxeon Q

Другой новинкой компании Philips Lumileds стала серия светодиодов Luxeon Q (рис. 2), которая изготавливается на основе кристаллов синего цвета свечения, разработанных компанией в феврале 2014 года. Конструкция корпуса светодиодов Luxeon Q создает лучший вывод света из кристалла, а сам кристалл имеет высокий квантовый выход, обеспечиваемый более эффективным преобразованием потребляемой электрической энергии в излучение. Иначе говоря, данные светодиоды имеют более высокий КПД и, как следствие, высокую световую отдачу, значение которой является одним из самых высоких в отрасли [14]. Особенно важно, что это проявляется не только в номинальном режиме, но и на повышенных токах.



Рис. 1. Мощный светодиод Luxeon TX

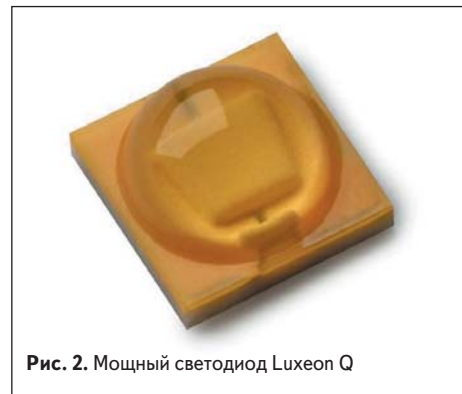


Рис. 2. Мощный светодиод Luxeon Q

Светодиоды Luxeon Q выпускаются в диапазоне цветовой температуры 2700–5700 К, точность координат цветности этих светодиодов при производстве соответствует трех- и пятишаговому эллипсу МакАдама. У белых светодиодов с более теплым свечением минимальный индекс цветопередачи CRI = 80, у светодиодов с температурой свечения 4000 К и выше минимальное значение CRI = 70. Минимальные значения светового потока в номинальном режиме (ток 350 мА) в холодном (значение цветовой температуры 5700 К) и естественном (значение цветовой температуры 4000 К) белых диапазонах составляют 110 лм, в теплом белом диапазоне (значения цветовой температуры 2700, 3000 и 3500 К) соответственно 80, 90 и 90 лм [14]. Характеристики светодиодов Luxeon Q даются при температуре *p-n*-перехода 85 °С, что примерно соответствует их рекомендуемому рабочему режиму.

Светодиоды Luxeon Q имеют размеры корпуса 3,45×3,45 мм, что соответствует формам корпусов основных производителей светодиодов. Это позволяет разработчикам светотехнических изделий использовать данные светодиоды вместо аналогов конкурентов путем прямой замены, то есть без затрат на изменение дизайна печатной платы, новую оптику (линзы, рефлекторы) и т. д.

Основное назначение Luxeon Q — обеспечить большой световой поток при высокой световой отдаче, что в результате должно помочь разработчикам снизить себестоимость люмена [14]. Как следствие, это позволит либо при сохранении себестоимости конечного изделия увеличить его световой поток, либо сохранить световой поток изделия, снизив его себестоимость, а вероятнее всего, в итоге и цену.

### Светодиоды Luxeon Z серии ES

Еще одна новинка компании Philips Lumileds — светодиоды серии ES, пополнившие семейство Luxeon Z (рис. 3) и предназначенные для ламп направленного света, разрабатываемых на основе светодиодов. В первую очередь такие светильники предполагается использовать для освещения гостиных и торговых площадей, где уже сейчас необходимо осуществлять управление цветом сечения [11–14].

Светодиоды данной серии имеют компактные размеры корпуса 1,6×2,0 мм и выпускаются в модификациях с кристаллом синего свечения и комбинации такого кристалла с люминофором, преобразующим излучение в белый цвет. В последнем случае однородность цвета обеспечивается в пределах одно-, трех- и пятишагового эллипса МакАдама.



Рис. 3. Мощный светодиод Luxeon Z ES

Оценки специалистов компании показывают, что отсутствие первичной линзы у корпуса обеспечивает лучшую однородность цветовых характеристик в зависимости от угла обзора примерно на 10–15% [14].

В холодном белом диапазоне (значение цветовой температуры 5000 и 5700 К) светодиоды Luxeon Z ES выпускаются с минимальным значением CRI = 70, минимальное значение светового потока в номинальном режиме (ток 700 мА) составляет 200 лм [14]. В естественном белом диапазоне (значение цветовой температуры 4000 К) светодиоды Luxeon Z ES изготавливаются с минимальными значениями CRI = 70 и CRI = 80, значения светового потока в номинальном режиме составляют соответственно 190 лм и 180 лм [14]. В теплом белом диапазоне светодиоды Luxeon Z ES производятся с минимальными значениями CRI = 80 (значения цветовой температуры 2700, 3000, 3500 К) и CRI = 90 (значения цветовой температуры 2700, 3000 К). Минимальные значения светового потока в номинальном режиме соответственно равны 160, 170 и 110, 120 лм [14]. Характеристики светодиодов Luxeon Z ES даются при температуре *p-n*-перехода 85 °С, что примерно отвечает их рекомендуемому рабочему режиму.

### Светодиоды Luxeon серии Flip-Chip

К числу самых оригинальных новинок компании Philips Lumileds принадлежит серия светодиодов Flip-Chip (рис. 4). Это новый тип светодиодов, основное преимущество которого состоит в отказе от использования проволоки для термокомпрессионной разварки контактов кристалла на выводы корпуса. Такая проволока не только может стать причиной отказа светодиода, но и ограничить значение плотности тока, протекающего через светодиод [14].

Для данного светодиода компания Philips Lumileds разработала новый тип — CSP-корпус, который защищает кристалл, придавая конструкции механическую прочность. Его размеры составляют примерно 1×1 мм, что почти не отличается от габаритов кристалла. Площадь основания светодиода Luxeon Flip-Chip практически совпадает с площадью кристалла. Единственное различие состоит в присутствии контактных площадок на основании светодиода, оптимизированных под стандартный процесс поверхностного монтажа светодиода. Квантовый выход излучения кристалла такой



Рис. 4. Мощный светодиод Luxeon Flip-Chip

конструкции достигает 56–61%, в зависимости от длины волны [12–14].

До появления новой конструкции корпуса такого светодиода, предложенной компанией Philips Lumileds, компоненты на основе кристаллов, смонтированных по технологии Flip-Chip (перевернутого монтажа), не были механически прочными, что весьма ограничивало возможность их применения.

Данные светодиоды выпускаются синего цвета — длина волны их излучения лежит в диапазоне 440–460 нм. По длине волны разбиновка светодиодов производится с шагом 5 нм. Типичное значение оптической мощности в номинальном режиме (ток 350 мА) составляет 450–500 мВт, в соответствии с длиной волны [14]. Следует также отметить стабильность длины волны данных светодиодов в зависимости от температуры, значение температурного коэффициента составляет 0,05 нм/°С.

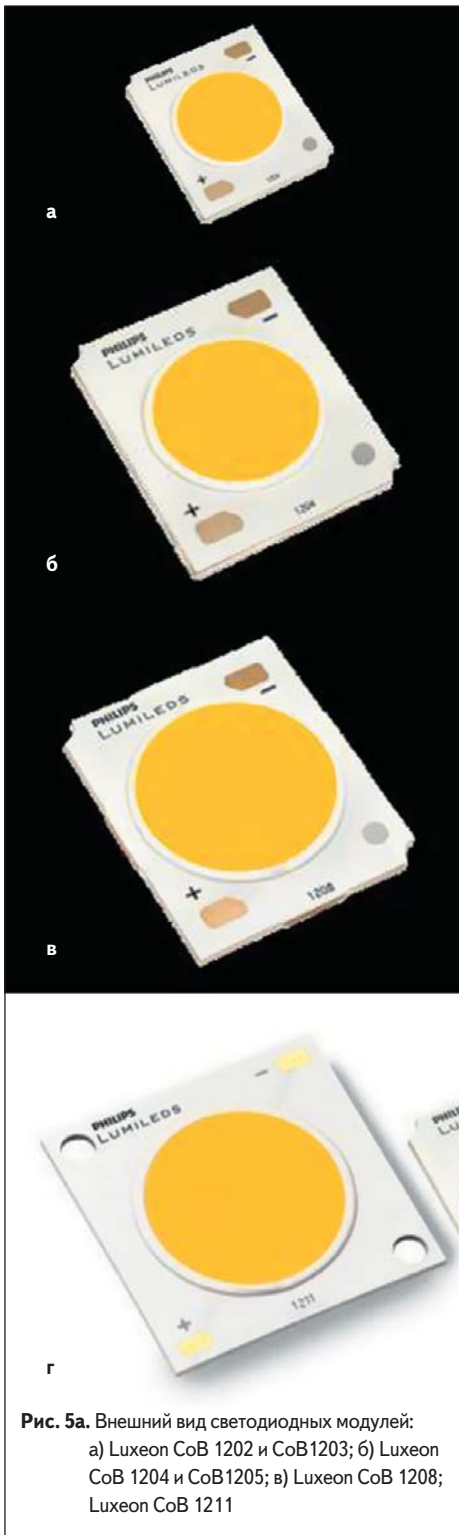
Светодиоды Luxeon Flip-Chip предназначены, главным образом, для светотехнических изделий, разрабатываемых на основе технологии удаленного люминофора.

### Светодиодные модули Luxeon CoB

Особо нужно отметить новый тип изделий, который создала компания Philips Lumileds, — серию светодиодных модулей Luxeon CoB, выполненных по технологии chip-on-board (рис. 5а–г). Но вскоре, спустя лишь три месяца после анонса этих модулей, компания Philips Lumileds заявила о повышении их эффективности на 10%. А значит, данные продукты являются самыми эффективными светодиодными модулями на сегодня, изготовленными по технологии chip-on-board [14]. Световая отдача Luxeon CoB может достигать значения 130 лм/Вт в холодном белом диапазоне [14] и 115 лм/Вт в теплом белом диапазоне.

Существует несколько серий светодиодных модулей Luxeon CoB, отличающихся размерами основания. Серии CoB 1202 и CoB 1203 (рис. 5а) имеют размеры основания 9×9 мм. Модули серии CoB 1202 выпускаются в теплом белом диапазоне, типичное значение их светового потока в номинальном режиме (ток 200 мА) составляет 800 лм, а световой отдачи — 115 лм/Вт. Модули серии CoB 1203 предлагаются в холодном и теплом белом диапазоне, типичное значение светового потока в номинальном режиме (ток 300 мА) составляет в холодном белом цвете 1375 лм, в теплом белом цвете 1225 лм. Типичные значения световой отдачи составляют соответственно 130 и 115 лм/Вт. Минимальные значения индекса цветопередачи модулей холодного белого цвета CRI = 70, у модулей теплого белого цвета минимальное значение CRI = 80. Также есть модели, имеющие минимальный CRI = 80 в холодном белом диапазоне и минимальный CRI = 90 в теплом белом диапазоне.

У серий CoB 1204 и CoB 1205 (рис. 5б) размеры основания составляют 13×13 мм. Модули выпускаются в холодном и теплом белом диапазонах. Типичное значение светового потока модулей CoB 1204 холодного белого цвета в номинальном режиме (ток 450 мА) достигает 2050 лм, аналогичное значение для теплых белых модулей — 1825 лм.



**Рис. 5а.** Внешний вид светодиодных модулей:  
а) Luxeon CoB 1202 и CoB1203; б) Luxeon CoB 1204 и CoB1205; в) Luxeon CoB 1208; Luxeon CoB 1211

Модули серии CoB 1205 имеют типичное значение светового потока в номинальном режиме (ток 600 мА) в холодном белом цвете 2750 лм, в теплом белом цвете — 2450 лм. Типичные значения световой отдачи модулей обеих серий в холодном и теплом диапазонах белого цвета составляют соответственно 130 и 115 лм/Вт. Минимальные значения индекса цветопередачи модулей холодного белого цвета CRI = 70, у модулей теплого белого цвета минимальное значение CRI = 80. Также есть модели с минимальным CRI = 80 в холодном белом диапазоне и минимальным CRI = 90 в теплом белом диапазоне.

Размеры основания модулей серии CoB 1208 (рис. 5в) равны 13×13 мм. Устройства выпускаются в холодном и теплом белом диапазонах. Типичное значение светового потока модулей CoB 1208 холодного белого цвета в номинальном режиме (ток 900 мА) составляет 4100 лм, аналогичное значение для теплых белых модулей достигает 3650 лм. Типичные значения световой отдачи составляют соответственно 130 и 115 лм/Вт. Минимальные значения индекса цветопередачи модулей холодного белого цвета CRI = 70, у модулей теплого белого цвета минимальное значение CRI = 80. Также есть модели, имеющие минимальный CRI = 80 в холодном белом диапазоне и минимальный CRI = 90 в теплом белом диапазоне.

Модули серии CoB 1211 (рис. 5г) имеют размеры основания 19×19 мм. Типичное значение их светового потока в номинальном режиме (ток 1200 мА) равно в холодном белом цвете 5600 лм, в теплом белом цвете — 5000 лм. Типичные значения световой отдачи составляют соответственно 130 лм/Вт и 115 лм/Вт. Минимальные значения индекса цветопередачи модулей холодного белого цвета CRI = 70, у модулей теплого белого цвета минимальное значение CRI = 80. Предлагаются и модели, имеющие минимальный CRI = 80 в холодном белом диапазоне и минимальный CRI = 90 в теплом белом диапазоне.

Для всех серий модулей Luxeon CoB рабочее напряжение составляет 35,5 В, а характеристики модулей даются при температуре *p-n*-перехода 85 °С, что примерно соответствует рекомендуемому рабочему режиму.

С помощью светодиодных модулей Luxeon CoB можно разрабатывать и производить компактные светильники с достаточно высокой яркостью, благодаря чему удается уменьшить размеры источника света, тем самым снизив габариты конечного изделия, а также, возможно, и его себестоимость.

Преимущество данных светодиодных модулей проявляется не только в оптических характеристиках, но и в более эффективном отводе тепла от активной области кристалла за счет снижения теплового сопротивления модуля, которое обеспечивается применением печатной платы на металлической основе. В результате можно сократить размеры теплоотвода — корпуса или дополнительного радиатора, либо повысить надежность осветительной системы, не меняя размеры теплоотвода [14–16].

## Заключение

Приведенный в данной статье обзор новых изделий в светодиодной линейке Philips Lumileds показывает, что компания, являющаяся одним из лидеров светодиодного рынка, не только эффективно развивает существующую технологию производства светодиодов, но и осваивает новые технологические направления создания новинок. Основываясь на имеющемся опыте предыдущих разработок компании, в настоящее время специалисты компании Philips Lumileds продолжают создавать интересные продукты, таким образом оставаясь среди лидеров светодиодного рынка. Прослеживаясь достаточно четкая сегментация изделий данной компании, отвечающая определенным

направлениям светотехники, делает их весьма привлекательными для проектировщиков светодиодных осветительных систем. ●

## Литература

1. Юнович А. Э. Светодиоды на основе гетероструктур из нитрида галлия и его твердых растворов. Светотехника. 1996. Вып. 5/6.
2. Юнович А. Э. Ключ к синему лучу, или о светодиодах и лазерах, голубых и зеленых // Химия и жизнь. 1999. № 5, 6.
3. Туркин А. Н. Нитрид галлия как один из перспективных материалов в современной оптоэлектронике // Компоненты и технологии. 2011. № 5.
4. Туркин А. Н. Полупроводниковые светодиоды: история, факты, перспективы // Полупроводниковая светотехника. 2011. № 5.
5. Туркин А. Н. Обзор развития технологии полупроводниковых гетероструктур на основе нитрида галлия (GaN) // Полупроводниковая светотехника. 2011. № 6.
6. Kudryashov V. E., Turkin A. N., Yunovich A. E., Zolina K. G., Nakamura S. Spectra of superbright blue and green InGaN/AlGaIn/GaN light-emitting diodes. Journal of the European Ceramic Society. 1997. Volume 17, Issues 15–16.
7. Золина К. Г., Кудряшов В. Е., Туркин А. Н., Юнович А. Э. Спектры люминесценции голубых и зеленых светодиодов на основе многослойных гетероструктур InGaN/AlGaIn/GaN с квантовыми ямами. ФТП. 1997. Том 31, № 9.
8. Туркин А. Н., Юнович А. Э. Измерения мощности излучения голубых и зеленых InGaN/AlGaIn/GaN-светодиодов с помощью фотопреобразователей из аморфного кремния. Письма в ЖТФ. 1996. Том 22, вып. 23.
9. Тринчук Б. Ф. Светосигнальная аппаратура на светодиодах // Светотехника. 1997. № 5.
10. Светодиоды и их применение для освещения. Под общей редакцией академика АЭН РФ Айзенберга Ю. Б. Московский Дом Света, 2012. М., Знак, 2012.
11. Туркин А. Н. Светодиоды Lumileds: прошлое, настоящее, будущее // Полупроводниковая светотехника. 2012. № 2.
12. Матешев И., Муленкова А., Туркин А., Шамков К. Мощные светодиоды Philips Lumileds — от истоков до новинок рынка // Современная электроника. 2013. № 6.
13. Матешев И., Муленкова А., Туркин А., Шамков К. Обзор новых светодиодных продуктов компании Philips Lumileds // Полупроводниковая светотехника. 2013. № 5.
14. Матешев И., Муленкова А., Туркин А., Шамков К. Новинки светодиодной продукции компании Philips Lumileds // Современная электроника. 2014. № 6.
15. Дорожкин Ю., Матешев И., Туркин А. Светодиодные модули серии CXA компании Cree: характеристики и применение // Полупроводниковая светотехника. 2013. № 1.
16. Дорожкин Ю., Туркин А., Червинский М. Новые семейства светодиодных модулей серии CXA компании Cree // Полупроводниковая светотехника. 2014. № 1.