

Новые светодиоды CREE: высокая эффективность и низкая стоимость

Существующая на мировом рынке конкуренция среди производителей мощных светодиодов вынуждает постоянно вести работу по повышению количественных и качественных характеристик выпускаемой продукции. Сегодня по количественным параметрам светодиоды превзошли классические источники света, однако массовое применение светодиодного освещения сдерживается высокой стоимостью конечного изделия (осветительного устройства). Стоимость осветительного устройства складывается из различных составляющих: источника питания, источника света, вторичной оптики, конструкции. Причем источник света вносит весомую составляющую в стоимость конечного изделия, особенно это заметно в светильниках внутреннего освещения, которые и являются самыми массовыми. Принимая во внимание сложившуюся на рынке ситуацию, производители светодиодов, используя новые, более эффективные технологии, стараются снизить себестоимость выпускаемой продукции.

Сергей МИРОНОВ
s.mironov@compel.ru

Несколько лет назад руководство компании CREE приняло решение о приоритетном развитии направления мощных осветительных светодиодов с целью их массового внедрения в нашу повседневную жизнь как самых экологичных и эффективных источников света. Обладая собственной уникальной технологией и проводя большой объем научно-исследовательских работ, компания в короткий промежуток времени смогла занять и уверенно удерживать лидирующие позиции в сегменте мощных осветительных светодиодов. Это было достигнуто разработкой и серийным выпуском светодиодов серий XP-G (начало серийного выпуска — в 2009-м) и XM-L (начало серийного выпуска — в 2010 году).

Почти два года светодиоды серии XP-G оставались практически уникальными по совокупности достигнутых параметров (величина светового потока, светоотдача, работа на повышенном токе и т. п.). Дальнейшее раз-

витие серии XP-G привело к появлению серии светодиодов XM-L, совокупность параметров которых на сегодня так еще и не достигнута другими производителями. Появившись на рынке, эти светодиоды благодаря своим высоким параметрам быстро стали очень популярными, даже несмотря на то, что их стоимость сейчас не является самой низкой. Тем не менее при выборе правильного режима работы светодиоды этих серий позволяют получить очень низкую стоимость света (люмена).

Например, используя позицию XPGWHT-01-0000-00GD2 стоимостью около 60,4 руб. (при поставке от 10 000 шт.) на токе 1000 мА, можно получить стоимость люмена на 22 коп., а используя позицию XMLAWT-00-0000-0000T5053 стоимостью 105,6 руб. на токе 2000 мА, можно получить стоимость люмена уже 17 коп. И в том и другом случае светоотдача будет иметь достаточно хорошее значение: 85–90 лм/Вт (при температуре перехода кристалла $T_j = 85^\circ\text{C}$). Следует за-

метить, что указанные значения тока не превышают 70% от максимального рабочего для каждой серии, то есть даже на таком токе обеспечивается достаточный запас по надежности и продолжительности срока службы. Используя светодиоды на повышенном токе, получаем повышенное значение светового потока, следовательно светодиодов в изделии требуется меньше, а это важно, если совместно со светодиодами используются элементы вторичной оптики: их также нужно меньше.

В течение последнего года усилия компании CREE были направлены на разработку новой технологии, способной существенно снизить себестоимость выпускаемой продукции без ухудшения достигнутых ранее количественных и качественных характеристик. С начала 2012 года освоен серийный выпуск светодиодов нового поколения со светоотдачей до 130–140 лм/Вт и, что очень важно, при температуре перехода кристалла $T_j = 85^\circ\text{C}$, но стоимостью почти в два раза ниже, чем существующие серии. Новая продукция компании CREE — это серии светодиодов XT-E и XB-D.

XT-E и XB-D — серии высокоэффективных светодиодов нового поколения с низкой стоимостью

Существенно снизить себестоимость светодиодов позволило изменение технологии их производства, а именно переход с технологии EZ Power Chips на новую технологию под на-

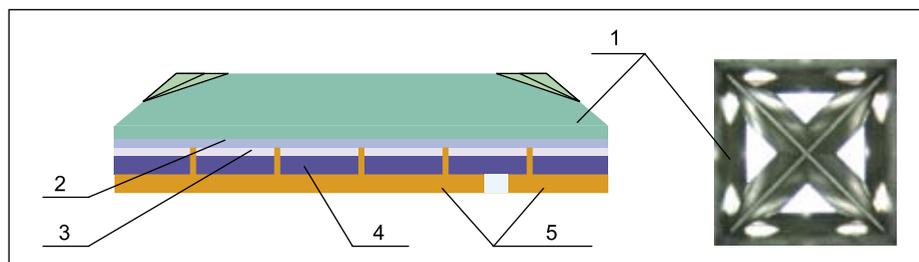


Рис. 1. Архитектура кристалла по технологии DA:
1 — SiC-подложка; 2 — InGaN-структура; 3 — зеркало; 4 — диэлектрический слой; 5 — токопроводящий слой

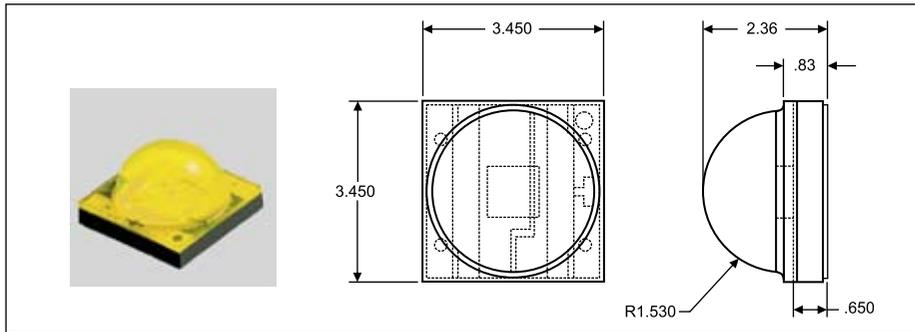


Рис. 2. Внешний вид и габаритные размеры светодиода серии XT-E

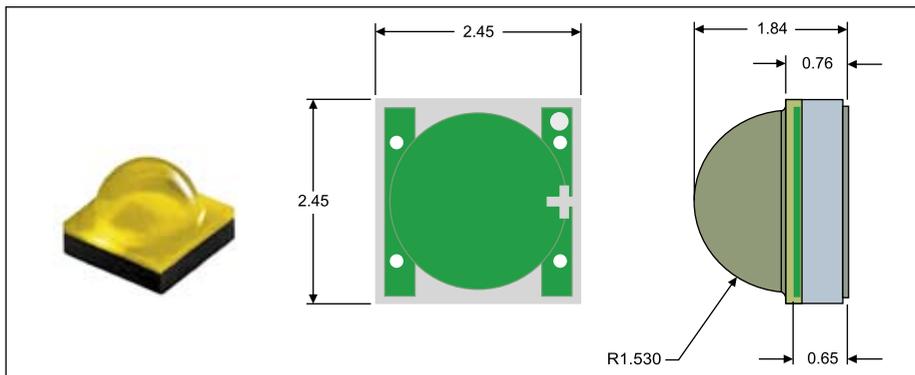


Рис. 3. Внешний вид и габаритные размеры светодиода серии XB-D

званием Direct Attached (DA). Ее суть состоит в том, что теперь внутри светодиода не используются токоподводящие проволочки от внешних контактов к кристаллу: ток подводится через токопроводящий слой на нижней стороне кристалла. И одновременно произошло увеличение эффективной площади излучения — за счет специальной огранки (рис. 1).

Новые светодиоды XT-E и XB-D обладают параметрами, которые не уступают и даже превосходят соответствующие параметры ранее разработанных светодиодов, но уже при повышенной температуре перехода кристалла.

Изменение температуры перехода кристалла при биннинге светодиодов с 25 до 85 °C позволяет при расчете светильника не учитывать неизбежные дополнительные потери светового потока, связанные с нагревом кристалла, и некоторый уход координат цветности (цветовой температуры) в реальном режиме работы. С другой стороны, сравнивая светодиоды сторонних производителей, биннованных при температуре перехода кристалла 25 °C, с новыми светодиодами Cree, необходимо делать некоторую поправку на значение светового потока и светоотдачи. Поправка, как правило, составляет примерно 14%, или два бина в сортировке Cree. Например, светодиод со световым потоком 130 лм стороннего производителя при стандартном режиме биннинга ($T_j = 25\text{ °C}$) соответствует новому светодиоду компании Cree, имеющему значение светового потока, равное 114 лм, при $T_j = 85\text{ °C}$.

Внешний вид светодиодов серий XT-E и XB-D приведен на рис. 2 и 3 соответственно, а основные параметры указаны в таблице.

Светодиоды изготавливаются в керамических симметричных корпусах для поверхностного монтажа с электрически изолированной от кристалла подложкой. Электрическая прочность изоляции кристалл-подложка составляет не менее 500 В. Максимальная рабочая температура перехода кристалла (T_j) может достигать 150 °C.

Светодиоды серии XT-E, как видно на рис. 2, выпускаются в корпусе, идентичном корпусу самого популярного семейства светодиодов Cree — XP. Семейство XP включает в себя серии светодиодов XP-C, XP-E, XPE HEW и XP-G. Это обстоятельство позволяет всем

производителям осветительных устройств, использующим эти серии светодиодов, без дополнительных затрат перейти на новую серию XT-E, улучшив тем самым качественные и количественные показатели изделия и/или существенно снизив его себестоимость.

Стоимость самого светодиода определяется не только стоимостью технологии, но и стоимостью материалов, применяемых при его изготовлении. Основную долю в стоимости материалов составляют кристалл и корпус. Для дальнейшего снижения себестоимости производители стараются уменьшить материалоемкость и вынуждены уменьшать размер светодиода. Поэтому для получения минимальной себестоимости компания Cree пошла на уменьшение размера кристалла и корпуса светодиода XT-E, в результате чего получился светодиод XB-D с размерами корпуса 2,5×2,5 мм, максимальным током до 1000 мА и световым потоком до 130 лм (в холодном белом цвете при $T_j = 85\text{ °C}$).

Новые серии светодиодов с успехом можно применять как для наружного, так и для внутреннего освещения. Одним из положительных моментов использования светодиодов серии XT-E для наружного освещения является тот факт, что для них подходят линзы, ранее разработанные для серий светодиодов XP-G и XP-E, с незначительным отклонением в диаграмме направленности (не более нескольких процентов).

Новые серии светодиодов (XB-D, XT-E) выпускаются с нормированным или ненормированным значением индекса цветопередачи (CRI). Значение индекса цветопередачи определяется буквенным символом в обозначении светодиода.

Например:

- XBDAWT-00-0000-000000G50 (минимальное значение CRI не определено).
- XBDAWT-00-0000-000000BG50 (минимальное значение CRI не менее 70).
- XBDAWT-00-0000-000000LFE3 (типичное значение CRI в нейтральном цвете 75, а в теплом — 80).
- XBDAWT-00-0000-000000HCE6 (нормированный CRI в теплом цвете — не менее 80).

Таблица. Основные характеристики светодиодов серий XT-E и XB-D

Тип светодиода	XT-E			XB-D		
	Холодный	Нейтральный	Теплый	Холодный	Нейтральный	Теплый
Цвет						
Ток биннинга, мА	350			350		
Максимальный ток, мА	1500			1000		
Световой поток, лм (на токе биннинга; $T_j = 85\text{ °C}$) / светоотдача, лм/Вт	139/139	139/139	122/122	130/127	122/120	107/105
Световой поток, лм (на токе 50% от максимального значения; $T_j = 85\text{ °C}$) / светоотдача*, лм/Вт	245/116	245/116	216/102	173/116	160/109	140/96
Световой поток, лм (на токе 70% от максимального значения; $T_j = 85\text{ °C}$) / светоотдача*, лм/Вт	325/102	325/102	290/90	224/104	210/97	184/85
Световой поток, лм (на максимальном токе; $T_j = 85\text{ °C}$) / светоотдача*, лм/Вт	428/85	428/85	370/74	285/90	270/84	237/74
Тепловое сопротивление, °C/Вт	5			6,5		
Угол излучения	115			115		
Прямое падение напряжения (тип.), В (на токе биннинга; $T_j = 85\text{ °C}$)	2,85			2,9		

Примечание. * — расчетная величина. Расчет проводился в программе «PCT-калькулятор».

Current (A)	SYS lm/W	SYS W	SYS # LED	SYS \$	SYS lm/W	SYS W	SYS # LED	SYS \$
0.100	105.4	28.47	90	2133	112.3	26.89	85	2261
0.150	99.4	30.35	63	1493.1	105.9	28.42	59	1569.4
0.200	94.8	31.91	49	1161.3	101	29.96	46	1223.6
0.250	90.8	33.8	41	971.7	96.8	31.33	38	1010.8
0.300	87.3	35.03	35	829.5	93	33.03	33	877.8
0.350	84.1	36.59	31	734.7	89.6	34.22	29	771.4
0.400	81.2	38.14	28	663.6	86.5	35.41	26	691.6
0.450	78.5	38.05	25	592.5	83.6	37.11	24	638.4
0.500	76	39.85	23	545.1	80.9	38.11	22	585.2
0.550	73.6	42.25	22	521.4	78.4	38.41	20	532
0.600	71.4	42.21	20	474	76.1	40.1	19	505.4
0.650	69.4	43.74	19	450.3	73.9	41.44	18	478.8
0.700	67.4	44.92	18	426.6	71.8	42.42	17	452.2
0.750	65.6	48.43	18	426.6	69.8	43.05	16	425.6
0.800	63.8	49.08	17	402.9	68	46.2	16	425.6
0.850	62.2	49.38	16	379.2	66.2	46.29	15	399
0.900	60.6	52.59	16	379.2	64.6	49.3	15	399
0.950	59.1	52.35	15	355.5	63	48.86	14	372.4
1.000	57.7	55.43	15	355.5	61.5	51.73	14	372.4

Рис. 4. Результат расчета для светильника 3000 лм (стоимость указана в руб.)

Для наружного освещения и освещения в системе жилищно-коммунального хозяйства можно использовать светодиоды с обозначением по CRI 0 или B (в холодном или нейтральном белом цвете), а для освещения помещений с длительным пребыванием людей — желательно L или H (в нейтральном или теплом белом цвете). Рекомендации по индексу цветопередачи и цветовой температуры источников света для освещения различных помещений можно найти в своде правил СП 52.13330.2011.

Расчитаем на некоторых примерах, сколько потребуется светодиодов из новых серий и их стоимость в светильниках внутреннего и наружного освещения.

Пример 1.
Светильник внутреннего освещения, аналогичный люминесцентному светильнику для подвесного потолка типа «Армстронг» 4x18 Вт

Исходные данные:

- Световой поток светильника: не менее 3000 лм.
- Диапазон цветовой температуры: 4700–5300 К.
- Значение CRI (типовое): 75.
- Общая эффективность светильника: не менее 70 лм/Вт.
- Потери в рассеивателе: 10%.
- Температура в «точке пайки» светодиода: 65 °С.
- КПД источника: 87%.
- Количество светодиодных линеек в светильнике: 4 шт. (количество светодиодов должно быть кратно 4).

В подобных светильниках, исходя из эстетики и лучшей равномерности засветки, стараются использовать как можно большее количество светодиодов. Если речь идет о 1-Вт светодиодах, то их, как правило,

применяют в количестве 24–36 шт. В таком случае правильным будет выбор светодиодов серии XB-D, как менее мощных, нежели XT-E. Под условия нашей задачи подходят следующие светодиоды:

- XBDAWT-00-0000-00000LDE3 (4700–5300 К, 107 лм, CRI = 75 (тип.), ориентировочная стоимость 23,7 руб.);
- XBDAWT-00-0000-00000LEE3 (4700–5300 К, 114 лм, CRI = 75 (тип.), ориентировочная стоимость 26,6 руб.).

Для расчета воспользуемся специальной программой «PCT-калькулятор», расположенной на сайте <http://www.compel.ru/fordesigners/calculators>. Результат расчета приведен на рис. 4.

Судя по рис. 4, для варианта 24 светодиода оптимальным выбором окажется светодиод XBDAWT-00-0000-00000LEE3 (114 лм) на токе 450 мА (638,4 руб.), а для варианта с 32 светодиодами — XBDAWT-00-0000-00000LDE3 (107 лм) на токе 350 мА (758,4 руб.). Последний вариант может оказаться предпочтительней только потому, что источников питания с выходным током 350 мА на рынке достаточно большое количество. Во всех случаях общая эффективность светильника (с учетом потерь в источнике питания, рассеивателе и при нагреве кристалла) составит около 85 лм/Вт, что является очень высоким показателем.

Используя данные, приведенные на рис. 4, можно рассчитать стоимость люмена света, получаемую при работе светодиодов на токе 700 мА. Стоимость составит около 14,2–15 коп.

Пример 2.

Светильник наружного освещения, аналогичный светильнику, выполненному на дуговой ртутной лампе мощностью 250 Вт

Исходные данные:

- Световой поток светильника: не менее 8500 лм.
- Диапазон цветовой температуры: 5300–7000 К.
- Используется защитное стекло с потерями 12%.
- Общая эффективность светильника: не менее 80 лм/Вт.
- КПД источника питания: 90%.
- Температура в «точке пайки» светодиода: 75 °С.

В светильнике наружного освещения, по ряду объективных причин, желательно

Current (A)	SYS lm/W	SYS W	SYS # LED	SYS \$	SYS lm/W	SYS W	SYS # LED	SYS \$	SYS lm/W	SYS W	SYS # LED	SYS \$
0.100	118	72.11	242	8094.4	125.7	67.64	227	8467.1	134.4	63.47	213	9712.8
0.150	112.4	75.77	167	5544.4	119.8	71.23	157	5856.1	128.1	65.7	147	6701.2
0.200	108	79.14	129	4282.8	115.1	74.23	121	4513.3	123.1	69.32	113	5152.8
0.250	104.2	81.56	105	3486	111	76.9	99	3692.7	118.7	72.24	91	4240.8
0.300	100.8	84.92	90	2988	107.4	79.26	84	3133.2	114.8	74.54	79	3602.4
0.350	97.6	87.94	79	2622.8	104	82.38	74	2760.2	111.2	76.81	69	3146.4
0.400	94.7	89.99	70	2324	100.9	84.85	66	2461.8	107.9	79.71	62	2827.2
0.450	92	93.48	64	2124.8	98	87.63	60	2238	104.8	81.79	56	2551.6
0.500	89.4	96.63	59	1958.8	95.3	90.08	55	2051.5	101.9	83.51	51	2325.6
0.550	87	98.12	54	1792.8	92.7	92.67	51	1902.3	99.1	87.22	48	2188.8
0.600	84.7	101.92	51	1693.2	90.3	95.92	48	1790.4	96.5	89.93	45	2052
0.650	82.6	104.71	48	1593.6	88	98.17	45	1678.5	94.1	91.62	42	1915.2
0.700	80.5	106.47	45	1494	85.8	99.37	42	1566.6	91.7	94.64	40	1824
0.750	78.6	109.75	43	1427.6	83.7	102.1	40	1492	89.5	96.99	38	1732.8
0.800	76.7	112.34	41	1361.2	81.7	104.12	38	1417.4	87.4	98.64	36	1641.6
0.850	74.9	114.25	39	1294.8	79.9	106.39	37	1380.1	85.4	99.6	34	1550.4
0.900	73.2	118.56	38	1261.6	78	109.2	35	1305.5	83.4	102.96	33	1504.8
0.950	71.6	119.24	36	1195.2	76.3	112.61	34	1268.2	81.6	105.99	32	1459.2
1.000	70.1	122.7	35	1162	74.7	115.69	33	1230.9	79.8	108.68	31	1413.6
1.100	67.1	128.64	33	1095.6	71.5	120.85	31	1156.3	76.5	113.05	29	1322.4
1.200	64.4	133.22	31	1029.2	68.7	124.63	29	1081.7	73.4	116.03	27	1231.2
1.300	61.9	141.16	30	996	66.5	131.74	28	1044.4	70.5	122.33	26	1185.6
1.400	59.5	143.45	28	929.6	63.5	138.32	27	1007.1	67.8	128.08	25	1140
1.500	57.3	149.92	27	896.4	61.1	144.37	26	969.8	65.3	133.27	24	1094.4

Рис. 5. Результат расчета для светильника 8500 лм (стоимость указана в руб.)

использовать более мощные светодиоды, поэтому расчет выполним для серии ХТ-Е. Под заданный диапазон цветовой температуры подходят следующие светодиоды:

- ХТЕАВТ-00-0000-000000F50 (5300–7000 К, 122 лм, ориентировочная стоимость — 33,2 руб.);
- ХТЕАВТ-00-0000-000000G50 (5300–7000 К, 130 лм, ориентировочная стоимость — 37,3 руб.);
- ХТЕАВТ-00-0000-000000H50 (5300–7000 К, 139 лм, ориентировочная стоимость — 45,6 руб.).

Расчет выполним по условию минимальной стоимости светодиодов. Результат расчета можно видеть на рис. 5.

На рис. 5 видно, что минимальная стоимость при соблюдении заданных условий получается на светодиоде ХТЕАВТ-00-0000-000000G50 (130 лм). В светильнике должно использоваться 38 светодиодов на токе 800 мА, и их стоимость составит 1417,4 руб. Однако полученное значение тока не является «стандартным», и могут возникнуть сложности с подбором источника питания. Если исходить из ближайшего «стандартного» значения (700 мА), то оптимальным окажется светодиод ХТЕАВТ-00-0000-000000F50 (122 лм), и это решение будет выше по стоимости всего на 76,6 руб., но выбрать готовый модульный источник питания не составит большого труда.

На рис. 5 также видно, что по условиям поставленной задачи решение на светодио-

де ХТЕАВТ-00-0000-000000H50 (139 лм) оказывается самым дорогостоящим на «стандартном» токе (700 мА) и на «нестандартном» (950 мА). Это связано с тем, что светодиод с высшим значением светового потока имеет непропорционально завышенную стоимость по отношению к светодиоду с предыдущим бином. Тем не менее, и это важно, если требуется изготовить светильник эффективностью не менее 85–90 лм/Вт (аналог светильника на лампе ДНаТ) и в светильнике наряду с защитным стеклом будут использоваться элементы вторичной оптики (линзы), то решение на светодиоде с максимальным значением бина (ХТЕАВТ-00-0000-000000H50) окажется самым выгодным.

Если бы по условию задачи требовалась меньшая эффективность светильника, например 74–75 лм/Вт, то можно было бы выбрать светодиод ХТЕАВТ-00-0000-000000G50 (130 лм) на токе 1050 мА. Стоимость люмена света в этом случае составила бы всего 14,5 коп.

Как правило, когда начинается серийный выпуск нового изделия, стоимость существующих изделий понижается. Не является исключением и данный случай. В момент написания настоящей статьи компания CREE существенно снизила стоимость выпускаемой линейки продукции, что позволит еще более активно использовать светодиодные светильники во всех сферах освещения и вытеснить тем самым низкоэффективные традиционные источники света. ■