

Сергей Никифоров, к. т. н. | snikiforov@arhilight.ru

Реальный технический уровень современных светодиодов и осветительных приборов на их основе

Статья содержит статистический анализ значений параметров светодиодов и устройств освещения на их основе, полученных в результате реальных сертификационных или научно-исследовательских испытаний светодиодной светотехнической продукции независимыми аккредитованными центрами в разные годы. 2011 г. представлен результатами, полученными в лаборатории «АРХИЛАЙТ». Материал может быть полезен разработчикам и потребителям светодиодной продукции.

Если б было чуть похуже, то и было б — в самый раз...

Современные спецификации светотехнических устройств на светодиодах содержат большое количество параметров, характеризующих как источник света, на основе которого он построен, так и осветительный прибор в целом. Среди этого многообразия есть ключевые характеристики, значения которых достаточны для составления общего технического портрета светотехнического продукта в соответствии с его назначением. Все они делятся на фотометрические, колориметрические и электрические. Для светодиодов также важно иметь люмен-амперные и вольт-амперные характеристики, которые могут быть использованы для проектировки осветительного устройства.

О разностороннем творчестве в представлении и трактовке параметров в спецификациях уже говорилось неоднократно. И если общая грамотность потребителя светодиодного продукта неизбежно растет, позволяя читать спецификации «между строк», пропорционально этому «даташиты» прибегают к новым формам «25 кадра», таким образом не снижая уровня владения аналитическим аппаратом потребителя. Однако стоит сказать, что общий фон правды в технических данных, помещаемых в спецификациях, в последнее время существенно вырос, что можно подтвердить и с точки зрения физики работы излучающих гетероструктур, и с точки зрения реальных измерений, проводимых при сертификационных или научно-исследовательских испытаниях светотехнических устройств. Но у такого «повышения фона» есть и другая сторона: если всем понятно, что в листе данных, да еще у известного бренда, содержится достоверная информация, то нет-нет, да и промелькнет где-нибудь спекулятивная строчка с некой значительной цифрой в графе, например, «световая эффективность», которой почти все

поверят. Родятся слухи, кто-то выиграет тендер, а кто-то затрет в своем листке написанное ранее значение, добавив нужный штришок к заветной цифре, и тоже станет в строй лидеров. Снова родятся слухи, пересуды, так уже недалеко и до виртуального научного открытия...

Попытаться разобраться в реалиях цифр и параметров мы попробуем с помощью некоторых статистических данных, взятых за последние четыре-пять лет из опыта проведенных за это время десятков тысяч измерений и исследований светодиодов и осветительных приборов на их основе. Таким образом, мы не позволим родиться суждениям и нарисуем общую картину состояния значений различных параметров светотехнических устройств и источников света, что также можно рассматривать как табло достижений полупроводниковой светотехники.

Ваш ответ принят. А теперь правильный ответ

Представленные в этом параграфе материалы основаны на результатах реальных измерений большого количества источников света в различные годы. Все данные, безусловно, не имеют привязки к названиям, брендам, маркам изделий, типам светодиодов и пр. Любые совпадения

Таблица 1. Статистика обращений по измерениям параметров и сертификационным испытаниям

Год	Осветительные приборы, %		
	Ламповые (ЛН)	Ламповые (ЛЛ)	Светодиодные
2007	20	70	10
2008	20	60	20
2009	10	50	40
2010	0	30	70
2011	0	10	90

цифр носят лишь предположительный характер и не являются прямым указанием на тот или иной продукт. Для удобства восприятия данных они представлены в системе множества отдельных таблиц.

В таблице 1 показана статистика обращений с целью проведения сертификационных или научно-исследовательских испытаний светотехнических устройств в аккредитованных испытательных центрах. Можно заметить, что за последние пять лет доля осветительных приборов на основе ламп накаливания, представляемых для исследований, снизилась до нуля, а с люминесцентными лампами — с 70 до 10%. В то же время светодиодные устройства уже занимают 90% спроса на измерения и исследования. Если провести параллели с производством всей светотехнической продукции и привести ее в зависимость, пропорциональную этим обращениям, то можно сказать, что в данный момент лучшие умы от светотехники работают над созданием только светодиодных осветительных приборов.

Таблица 2 приведена больше для напоминания и определения положения самых современных

Таблица 2. Энергетические характеристики различных источников света

Источники осветительных систем	Световая эффективность, лм/Вт
Лампы накаливания общего назначения	09–12
Галогенные лампы накаливания (150, 250, 300, 500, 1000, 1500 Вт)	15–18
Зеркальные галогенные лампы накаливания на напряжение 12 В (20, 35, 50 Вт)	18–20
Ртутные лампы высокого давления с люминофором (типа ДРЛ) (50, 80, 125, 250, 400, 700 Вт)	45–55
Компактные люминесцентные лампы (5, 7, 9, 11, 15, 20, 23 Вт)	50–60
Линейные люминесцентные лампы (18, 36, 58 Вт)	60–80
Металлогалогенные лампы (35, 70, 150, 250, 400 Вт)	70–100
Натриевые лампы высокого давления (70, 100, 150, 250, 400 Вт)	90–130
Светодиоды	до 130

светодиодов для освещения относительно эффективности традиционных источников света (различных ламп). Следует отметить, что эти данные также основаны на реальных измерениях, а не взяты из справочных источников.

Из всех источников для сравнения приведены лишь самые популярные по использованным светодиодам с двумя значениями коррелированной цветовой температуры. Таблица 3 показывает, что наибольшую долю энергии видимого излучения, а значит и световую эффективность, будет иметь источник с цветовой температурой около 6000 К. Однако это относится лишь к источнику, имеющему спектральное распределение излучения «абсолютно черного тела» (АЧТ), поэтому картина в таблице 3 несколько идеализируется, обосновывая лишь выбор цветности источников для сравнения, потому как в светодиодах с такими коррелированными цветовыми температурами все излучение находится в пределах видимого диапазона.

Таблица 3. Цветовая температура и доля видимого излучения источника, имеющего спектральное распределение излучения «абсолютно черного тела»

Температура источника Т, К	Доля энергии видимого излучения $d(V(\lambda))$, а.е.
2000	0,017
4000	0,318
6000	0,497
8000	0,477
12000	0,186

Далее в таблицах приведены ключевые параметры, прежде всего помещаемые в спецификации. Систематизация данных организована таким образом, что будут указываться максимальные значения параметров, когда-либо полученные при измерениях в соответствующий период времени, независимо от типа или марки прибора. Это касается всех помещенных ниже таблиц с характеристиками. В таблице 4 приведены световой поток и световая эффективность светодиодов, потребляемая мощность которых составляет около 1 Вт, соответственно, плотность тока через кристалл — 35–40 А/см².

Можно заметить, что в год светодиоды «прибавляют» порядка 30% светового потока и эффективности, а такие значительные достижения и технологии и производства

Таблица 4. Световой поток и световая эффективность светодиодов для освещения с потребляемой мощностью около 1 Вт

Год	Световой поток, лм		Световая эффективность, лм/Вт	
	3000 К	6000К	3000 К	6000 К
2009	50	85	42	76
2010	70	103	65	102
2011	107	136	110	136

Таблица 5. Световой поток и световая эффективность осветительных приборов (ОП) на основе белых светодиодов для освещения системы кристалл–люминофор

Год	Световая эффективность (ПП № 602), лм/Вт			
	Уличные ОП <5000 К	Уличные ОП 6500 К	ОП «Армстронг» до 3000 К	ОП «Армстронг» до 4500 К
2009	65	72	40	73
2010	79	87	75	82
2011	96 (60 с 01.07.12)	102 (60 с 01.07.12)	87 (50 с 20.07.11)	103,8 (50 с 20.07.11)

в истории развития технических средств практически не встречаются. Соответственно, здесь можно говорить о настоящей светодиодной «акселерации».

В таблице 5 приведены те же фотометрические показатели, только уже для осветительных приборов (светильников). В скобках в строке «2011 год» указаны требуемые к применению приборы с эффективностью «не менее», регламентируемые постановлением Правительства РФ от 20 июля 2011 г. №6 02 «Об утверждении требований к осветительным устройствам и электрическим лампам, используемым в цепях переменного тока в целях освещения».

Из таблицы 5 можно сделать вывод о том, что за полгода существования указа № 602 светодиоды уже обеспечили двукратное превышение установленных норм и, соответственно, могут применяться с большим запасом, даже если спад светового потока, установленный данным постановлением, будет более, чем в п. 6.

Таблица 6 рассказывает о достижениях эпитаксии и технологии нанесения люминофора на синий излучающий кристалл за последние несколько лет, сообщая о росте коэффициента преобразования электрической энергии в свет системой излучающий кристалл InGaN–люминофор.

Таблица 6. Коэффициент преобразования электрической энергии в свет (КПД) системой излучающий кристалл InGaN–люминофор

Год	КПД (электрическая энергия–свет) 6500 К, %
2009	40,4
2010	45,2
2011	47,6

Стоит заметить, что значение КПД светодиодов уже сравнялось с основным уличным конкурентом — лампой ДНаТ, но, ввиду существенно лучшей цветности излучения, при таком равенстве светодиоды имеют значительно более высокие качественные позиции в качестве источника света для осветительных устройств.

В таблице 7 приведено распределение значений коэффициента мощности (КМ или PF) по осветительным устройствам, предоставляемым для исследований в 2011 г. Здесь нет привязки к номинальной потребляемой мощности этих устройств по причине малой доли приборов с мощностью менее 25 Вт, у которых в известном Постановлении № 602 регламентировано

значение не менее 0,85. Так или иначе, но тот факт, что не менее 80% устройств имеют КМ >0,85, говорит о том, что разработчики уделяют этому параметру большое внимание, а продукции с нерегламентированным значением КМ становится все меньше.

Таблица 7. Коэффициент мощности осветительных приборов на основе светодиодов

PF (cosφ)	% общего количества
более 0,95	20
0,85–0,95	60
менее 0,85	20

О колориметрических характеристиках в спецификациях также немало говорилось в прессе [1] и на конференциях. Однако производители продолжают указывать значение CRI для высоких цветовых температур (более 3000 К), что некорректно даже с точки зрения самого смысла параметра «индекс цветопередачи». Для оценки положения колориметрических характеристик светодиодов для освещения относительно их «конкурентов» воспользуемся наиболее «физическим» смыслом цветности — долей заполненности составляющими спектра излучения кривой видности глаза. Из этого расчета будет понятно, какой источник наиболее полно воспроизводит видимый глазным аппаратом диапазон длин волн, отраженный в характеристике чувствительности зрительного аппарата — кривой видности $V(\lambda)$. Об этом расскажет таблица 8, а более подробные данные представлены в таблице 9.

Таблица 8. Коррелированная цветовая температура различных источников света и соответствующая доля заполненности составляющими спектра кривой видности глаза для дневного зрения

Типы источников излучения	Интеграл $E_a(\lambda) \times V(\lambda) d\lambda$ в % от $V(\lambda)$
Солнце в 14 ч, июль, T = 6150 К	92,96
Лампа накаливания с T = 2560 К	28,55
Люминесцентная лампа с T = 2700 К	5,54
Люминесцентная лампа с T = 4000 К	6,64
Люминесцентная лампа с T = 6300 К	5,41
Металлогалогенная лампа с T = 6700 К	4,70
Белый светодиод с T = 3300 К	79,31
Белый светодиод с T = 6300 К	44,68

Таблица 9. Коррелированная цветовая температура различных источников света и соответствующая доля заполненности составляющими спектра кривой видности глаза для дневного зрения, разбитая на диапазоны по ГОСТ 23198

Диапазоны по ГОСТ 23198-94, нм	Отношения интегралов в диапазонах по $V(\lambda)$, %							
	380–420	420–440	440–460	460–510	510–560	560–610	610–660	660–760
Солнце в 14 ч, июль, $T = 6150$ К	68,82	68,66	82,66	89,30	94,90	93,72	88,58	83,62
Лампа накаливания, $T = 2560$ К	3,15	4,93	7,19	13,53	22,12	33,72	46,66	60,95
Галогенная лампа, $T = 2780$ К	5,88	8,57	11,49	18,81	28,13	39,75	51,87	64,56
Люминесцентная лампа, $T = 2700$ К	0,53	5,32	0,42	1,50	6,44	3,37	13,61	0,91
Люминесцентная лампа, $T = 4000$ К	1,62	9,65	4,32	4,47	11,27	5,02	14,92	1,14
Люминесцентная лампа, $T = 6400$ К	3,28	11,85	5,52	6,45	7,26	7,67	4,08	1,35
Металлогалогенная лампа, $T = 6700$ К	13,17	9,36	6,78	6,66	11,08	6,62	5,75	5,61
Лампа ДНаТ, $\lambda_{\text{dom}} = 588$ нм, $T = 2100$ К	0,25	0,44	0,39	0,91	0,25	10,79	2,06	0,51
Белый светодиод, $T = 2900$ К	0,34	10,92	47,06	10,58	50,89	94,30	65,03	25,95
Белый светодиод, $T = 3300$ К	2,12	28,10	83,29	35,81	73,66	95,26	87,74	46,14
Белый светодиод, $T = 6300$ К	3,67	47,10	75,49	22,89	50,95	48,64	28,73	10,94
Белый светодиод, $T = 8800$ К	3,71	46,17	81,39	18,89	36,40	35,21	21,04	8,22

Анализируя эти таблицы, можно сделать вывод, что светодиоды даже с высокими коррелированными цветовыми температурами с точки зрения заполнения кривой видности своими составляющими спектра излучения выглядят, по крайней мере, не хуже ламп накаливания. А если говорить о температурах, близких к ним, то явно превосходят все существующие искусственные источники света. Об этом в свое время было сказано в [2]. Наглядно иллюстрирует этот вывод рисунок, на котором показано сравнение относительных спектров излучения лампы накаливания (ЛН) и светодиода с $CCT = 3200$ К относительно диаграмм чувствительности различных типов рецепторов сетчатки глаза. Можно заметить, что излучение светодиода буквально «падает» в диапазоны характеристик чувствительности

Таблица 10. Статистика тематики публикаций

Тематика публикаций	% общего количества
Светодиоды, модули	21
Кристаллы и полупроводниковые материалы	6
Технология производства светодиодов	4
Источники и системы питания	18
Оптические системы	8
Системы охлаждения	9
Осветительные приборы	19
Системы управления	11
Метрология света	4

колбочек различного типа. Отсюда такие данные в таблицах 8 и 9.

Старайтесь делать хорошо. Плохо само получится

Рассмотренные в работе реальные значения различных параметров светодиодов, полупроводниковые на момент конца 2011 г., указывают на высокий уровень этих источников света с точки зрения их эффективности и «качества» излучаемого света. Это позволяет

строить на их основе высокоэффективные осветительные приборы, которые к тому же обладают значительным временем наработки даже по отношению к ламповым «долгожителям», например к ДНаТ с ее 20 000 ч заявленного ресурса. Однако приведенная в таблице 10 статистика тематики публикаций в нашем журнале с 2009 по 2011 г. свидетельствует о том, что в основном авторы освещают свойства уже готовых изделий — модулей, вторичных источников питания, светильников, систем управления. То есть имеет место некая констатация и описание характеристик уже готового продукта. А на небольшую долю статей как раз и приходится то, что мы хотели бы видеть в нашем отечестве, — собственные разработки, развитие технологий, производства, метрологической базы.

Однако есть серьезная уверенность в том, что, как и показала приведенная в этой работе статистика, имея такие совершенные и функциональные характеристики и параметры, полупроводниковые источники света обязательно вдохновят разработчиков к творчеству в этой области светотехники, что и сделает таблицу 10 гораздо «правильнее» с точки зрения «расстановки акцентов» в тематике материалов, а нашу светотехническую промышленность — современной и передовой.

Литература

1. Никифоров С. Г. Реальный цвет и виртуальный индекс его передачи. // Полупроводниковая светотехника. 2010. № 2.
2. Никифоров С. Г. Умом Россию не понять: в России можно только мерить, или Физические аспекты восприятия полупроводникового света человеческим глазом. // Компоненты и технологии. 2008. № 12.

