

Сергей Никифоров, к. т. н. | sgnikiforov@arhighlight.ru

Исследование светодиодов средней мощности от Samsung

В статье представлены результаты тестирования новых светодиодов LM561B-5630 фирмы Samsung, проведенного в лаборатории «АРХИЛАЙТ» по инициативе представителя российской компании-дистрибьютора «Симметрон» Игоря Залогина. Идея была поддержана потребителями нового светодиодного продукта. Представленный материал может быть полезен разработчикам светотехнических устройств на основе светодиодов и специалистам, отвечающим за стратегию выбора источников света для разрабатываемых устройств светотехники.

Предисловие

Одной из важнейших характеристик современного осветительного устройства является световая эффективность. Нахождение способов повышения значения этого параметра занимает основное время разработчиков и инженеров как на уровне проектирования устройства, так и на стадии разработки самого источника света — светодиода. Одним из современных путей решения этой задачи является уход от производства светодиодов большой мощности с использованием высоких плотностей тока через кристалл, особенно если речь идет о применении в офисных светильниках с большой площадью излучающей поверхности. Здесь вступают в силу требования к таким светильникам, обозначенные в ряде СанПиНов и СНиПов, где говорится о сравнительно небольшой (5:1) неравномерности яркости этой поверхности и исключительно для светодиодных приборов — ограничение по мощности примененного светодиода (не более 0,3 Вт) для обеспечения той самой неравномерности яркости. Как правило, высокая световая эффективность в светодиодах средней мощности может быть достигнута как применением специфических излучающих кристаллов, так и использованием традиционных, но с существенной «недогрузкой» по плотности тока. Как известно, при прочих равных условиях, квантовая эффективность гетероструктуры имеет ярко

выраженный резонанс уже при небольшом удалении от равновесного состояния [1, 2] — в конце экспоненциального участка вольт-амперной или в самом начале прямолинейного участка люмен-амперной характеристик. Однако уже при плотностях тока 3–5 А/см² эффективность существенно снижается, и ее падение продолжается с разной крутизной до предельных значений тока. Компромисс в такой ситуации, когда необходимо получить заданный световой поток (мощность излучения) при определенном значении световой эффективности, заключается в нахождении оптимального сочетания размера излучающего кристалла, плотности тока через него, необходимого теплоотвода и его стоимости, наконец. Однако при известных размерах стандартных корпусов светодиодов этот компромисс значительно сужается в возможностях его реализации и сводится к гораздо меньшим составляющим. Представленный компанией Samsung новый светодиод сегмента средней мощности типа LM561B-5630 имеет все выше обозначенные признаки и условия для того, чтобы выяснить, как было реализовано компромиссное решение, позволившее сформировать Datasheet с высокими показателями по многим параметрам. Материал настоящей статьи сформирован по результатам независимых и объективных исследований светодиодов в светотехнической лаборатории испытательного центра «АРХИЛАЙТ» по множеству характеристик и посвящен анализу результатов рассмо-

трения описанного выше «компромисса по-корейски». Следует отметить, что порядок проведения такого исследования для «чистоты эксперимента» и соблюдения принципа максимальной объективности традиционно подразумевал следующую последовательность. Переданные образцы сопровождалось только указанием режима, при котором требовалось проводить измерения, а наименование бина (биновой комбинации) заказчиком не сообщалось и «в темную» было помещено в конверт, закрыто и опечатано. При рассмотрении результатов конверт вскрывался в присутствии заказчика и исполнителя, таким образом, исполнитель (лаборатория «АРХИЛАЙТ»), проводя исследования и рассчитывая их результаты, не мог знать, какому бину соответствует образец, и таким образом «подогнать ответ под задачу». Описанные условия справедливы для проведения всех подобных исследований.

Описание образцов и результаты измерений

Светодиод выполнен в корпусе размером 5×3 мм, четвертую часть длины внутренней полости которого занимает излучающий кристалл. Внешний вид показан на рис. 1. С целью наилучшего позиционирования светодиода относительно контактных площадок при пайке оплавлением припоя в печи с каждой стороны имеется по два вывода, электрически соединенных параллельно. Внутренняя полость заполнена кремний-органическим гелем с дисперсной взвесью люминофора по всему импровизированному открытому сосуду светодиода, вся поверхность которого является светящейся с практически равномерным распределением.

Также на «дне» этого сосуда имеется установленный на отдельной площадке

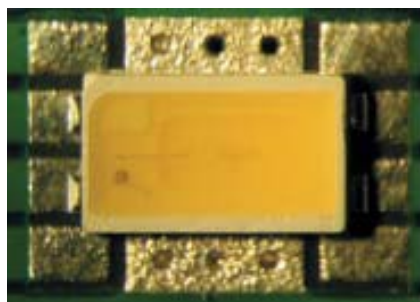


Рис. 1. Внешний вид светодиода LM561B-5630

Т а б л и ц а . Характеристики светодиодов

Тип светодиода		LM561B-5630 SPMWHT541MD5WARO SO WAR4S2	
Параметры		Полученные	Норма по D.S. (при $T_{sp} = +25\text{ °C}$)
Режим		65 мА (при $T_{sp} = +25\text{ °C}$)	65 мА
Мощность излучения, Вт		0,0908	
Световой поток, лм		28,88	29-31
Сила света максимальная, кд		9,36	
Сила света осевая, кд		9,35	
Освещенность по оси на расстоянии 2 м, лк		2,4	
Сила излучения максимальная, Вт/ср		0,029	
Угол излучения 2Q0,5lv, град	0-0	120,07	110
	0-90	119,91	110
	45-0	119,93	110
	средний 2Q0,5lv	119,97	110
Угол излучения 2Q0,1lv, град		164,47	
Потребляемый ток, А		0,065	0,065
Напряжение питания статическое, В		2,866	2,8-2,9
Напряжение питания импульсное, В		2,875	2,85
Потребляемая мощность статич., Вт		0,186	0,185
Потребляемая мощность имп., Вт		0,187	0,185
Световая эффективность статич., лм/Вт		155,03	162
Световая эффективность имп., лм/Вт		154,54	162
Температура точки пайки T_{sp} , °C		25	25
Относительная сила света, кд/кдм		323,9	
КПД светодиода (электрич.-свет), %		48,8	
Спектральная световая эффективность, лм/Вт		317,8	
Энергетическая освещенность по оси на расстоянии 2 м, Вт/м ²		0,008	
Длина волны максимальная, нм		446	445
Длина волны центроидная, нм		564,5	
Ширина спектра излучения по уровню 0,5Р, нм		188	140
Ширина спектра излучения по уровню 0,1Р, нм		271,5	260
Координаты цветности	X	0,3481	0,35
	Y	0,3567	0,355
	Z	0,2953	-
Доля ОСПЭЯ отн. $V(\lambda)$, %		56,2	
Индекс цветопередачи R_a (CRI)		82	>80
Коррелированная цветовая температура (CCT), К		4896	5000
Цветовая температура по Планку (приведенная), К		7664	

защитный диод, включенный в обратном по отношению к излучающему кристаллу направлении. Для исследований, судя по их результатам, был предоставлен светодиод с набором параметров, предназначенным для самого широкого использования с одним из самых высших рангов по световому потоку. Результаты измерений и сравнение их с данными спецификации представлены в таблице. Безусловно, подавляющее большинство анализирующих представленные данные интересуют самые «коммерческие» параметры — световой поток и световая эффективность. Здесь стоит отметить фактическое совпадение результатов большинства этой группы характеристик с заявленными значениями производителя. Это подчас оказывается гораздо более значимым, нежели констатация более высокого значения, указанного в документации, но не обеспеченного в промышленном варианте.

Все значения параметров указаны в спецификации при температуре точки пайки $+25\text{ °C}$ и токе 65 мА (при таких же условиях и было проведено исследование), однако в этом же документе говорится об использовании светодиода при токе 150 мА, что является для потребителя наиболее актуальным. Это может свидетельствовать как о желании показать в действительности подтвержденные высокие значения световой эффективности, хотя и в практически не используемых потребителем режимах, так и для удобства более точного деления светодиодов на ранки при производственной сортировке, поскольку лишь высокая световая эффективность при малых плотностях тока, как говорилось ранее, может позволить это сделать корректно. Однако можно также предположить и то, что при увеличении тока в 2,5 раза до штатного 150 мА массив светодиодов, отобранный в один бин при токе 65 мА, не попадет при таком токе в один пропорциональный ранк. Объясняется это различной крутизной нелинейной люмен- и вольт-амперной характеристик светодиодов даже из одной партии. Поэтому большинство производителей в настоящее время стараются уйти от производственной сортировки в «виртуальных» режимах, хотя подчас и гораздо более удобных с точки зрения технологичности на производстве. Все эти рассуждения приведены исключительно для обеспечения корректного чтения спецификации потребителем и однозначной трактовки его содержания.

Возвращаясь к данным таблицы, можно заметить, что производитель задекларировал угол излучения в 110° по половинному уровню максимальной силы света, вероятно, с «запасом», упреждая возможное поглощение бокового излучения кристалла внутренними стенками корпуса, однако на практике получилась практически «синусоидальная» форма углового распределения силы света, что, скорее, можно отнести даже к более положительному отношению относительно спецификации факту, поскольку это несколько увеличивает

равномерность силы света при групповом использовании в светильниках с большой светящей поверхностью.

По колориметрическим характеристикам предоставленные образцы также оказались в соответствии со значениями, указанными в спецификации. Так, например, коррелированная цветовая температура крайне близка к заявленной для этого ранка, а координаты цветности находятся в пределах бина, определенного при сортировке на производстве, о чем свидетельствует рис. 2. Наверняка невозможно переоценить это обстоятельство из-за его практической важности при производстве устройств светотехники, и не секрет, что в подавляющем большинстве случаев именно этот параметр не совпадает с данными спецификаций. Посему и отрадно констатировать такое соответствие. Также следует отметить и довольно большое значение индекса цветопередачи $R_a = 82$. В отношении этого параметра производителем в спецификации заложена «высокая планка» в $R_a > 80$, и, как можно заметить, она в данном случае выполняется. Однако спецификация, помимо указания возможного разброса самого значения R_a (± 3), содержит также информацию о соответствии самому проблемному, девятому образцу, не входящему в расчет CRI, но качественно характеризующему цветопередачу излучения в области глубокого красного цвета, которого всегда так не хватает в спектре белого светодиода с люминофорной композицией. Так вот, Datasheet декларирует его значение $0 \pm 6,5$. Как можно увидеть на рис. 3, исследованный образец имеет $R_9 = 9,3$, что даже больше заявленного. И здесь можно сказать, что это как раз одно из объяснений такого высокого суммарного значения R_a .

Однако упомянутая выше методика формирования приложенной к продукту технической документации (Datasheet), основанная на представлении параметров при измерении на существенно малом рабочем токе, имеет большую «особенность» корректности рассмотрения, когда речь идет об энергетических единицах — световом потоке и световой эффективности. И если говорить о колориметрических характеристиках, то они, конечно, тоже изменятся относительно представленных в спецификации при условии использования на рабочих токах 120–150 мА, но не столь значительно, как энергетические. Так, например, полученная в исследовании световая эффективность в 155 лм/Вт (таблица) при токе 65 мА и температуре точки пайки +25 °С с увеличением тока до 120 мА при тех же температурных условиях приобретает значение около 137 лм/Вт (световой поток 50 лм), а уже в рекомендованном тем же документом режиме 150 мА становится 130 лм/Вт (световой поток 60,4 лм). Однако, как говорилось ранее, настоящим исследованием, прежде всего, ставится задача установления соответствия между заявленными значениями параметров и полученными.

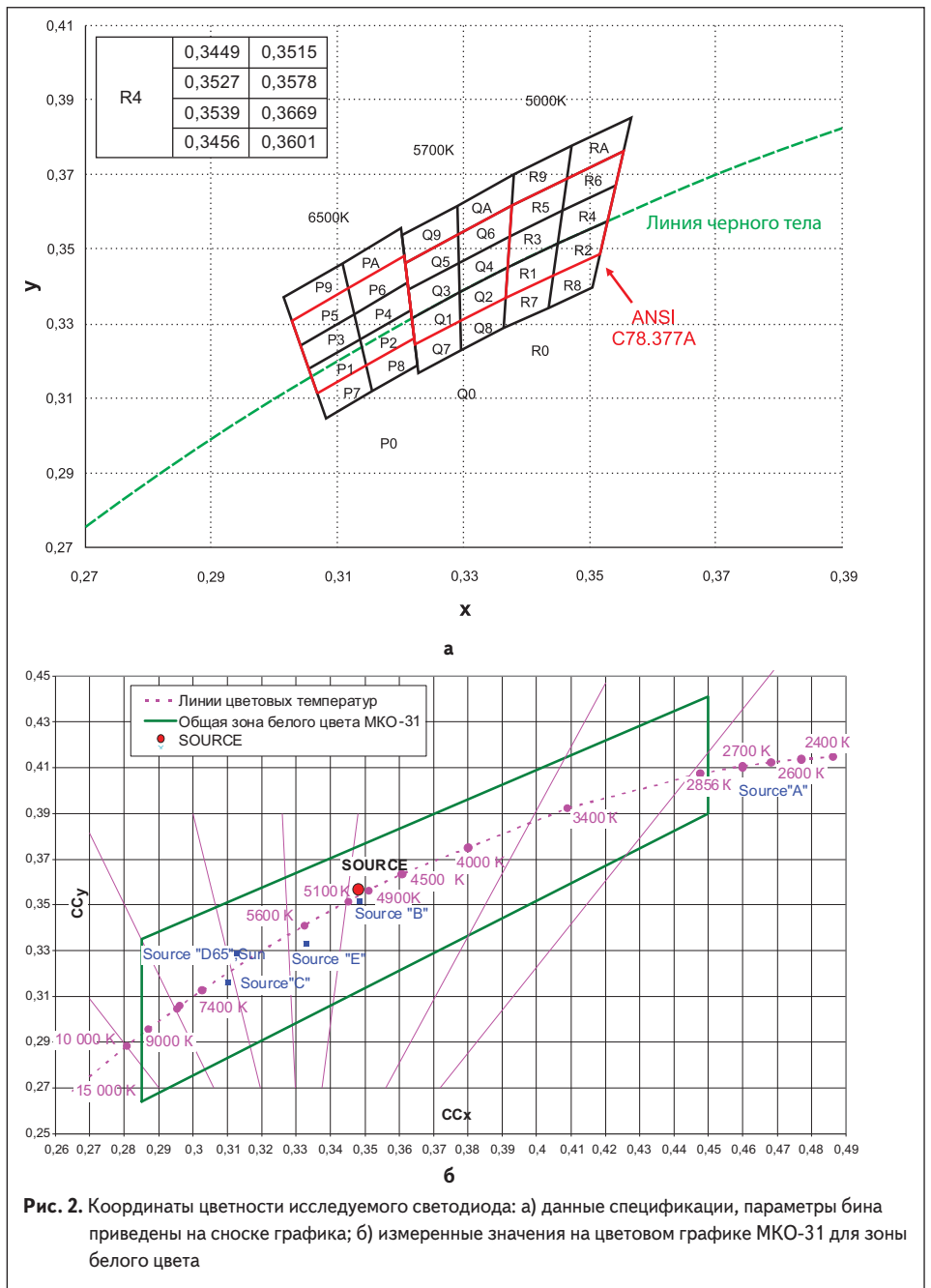


Рис. 2. Координаты цветности исследуемого светодиода: а) данные спецификации, параметры бина приведены на сноске графика; б) измеренные значения на цветовом графике MKO-31 для зоны белого цвета

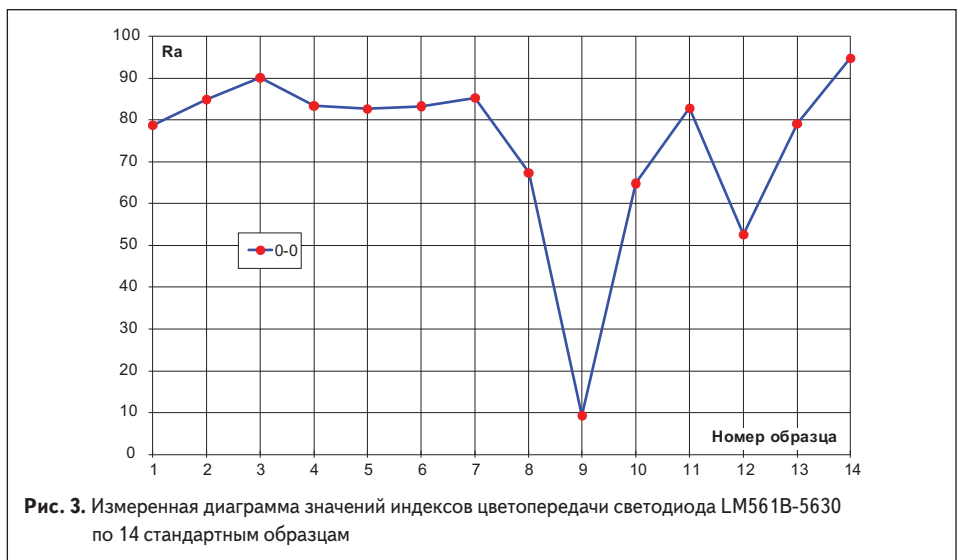


Рис. 3. Измеренная диаграмма значений индексов цветопередачи светодиода LM561B-5630 по 14 стандартным образцам

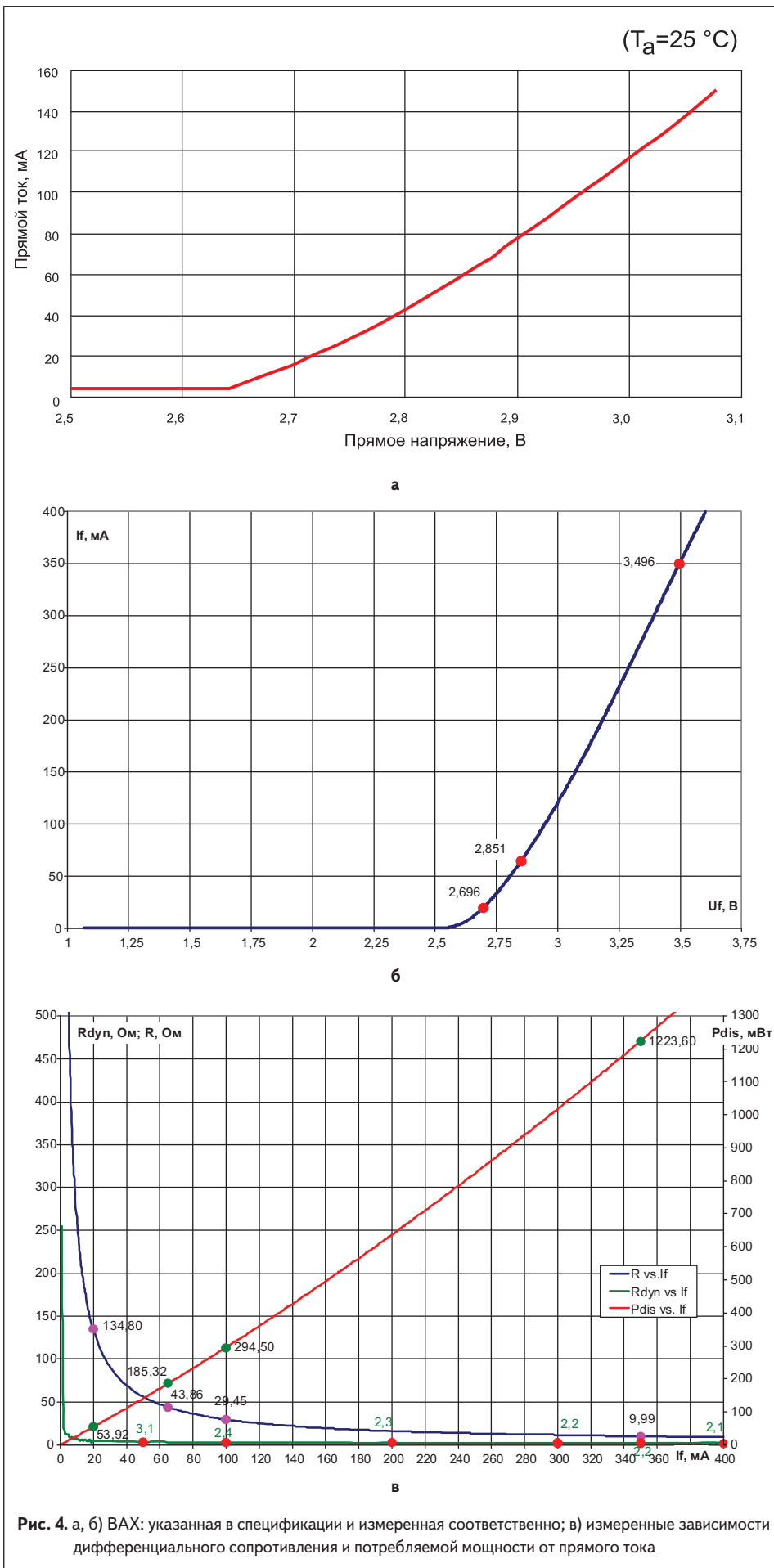


Рис. 4. а, б) ВАХ: указанная в спецификации и измеренная соответственно; в) измеренные зависимости дифференциального сопротивления и потребляемой мощности от прямого тока

Другими словами, если иметь в виду, что при измерениях мы получили высокую степень соответствия при соблюдении режимов измерения, рекомендованных в спецификации, и если предположить, что производитель задекларировал бы эти характеристики и при других режимах, то и там также это соответствие было бы получено.

Возвращаясь к рассмотрению причин формирования спецификаций и биновки в режимах измерений при малых токах, следует отметить, что высказанная в начале статьи мысль об особом дизайне применяемого излучающего кристалла и его гетероструктуры находит также свое подтверждение и при оценке вольт-амперных характеристик (ВАХ) светодиодов, графики которых показаны на рис. 4а, б, где также можно констатировать высокое совпадение с данными из технической документации. Легко заметить, что, несмотря на существенные размеры кристалла, крутизна его ВАХ в сравнительно небольшом диапазоне прямых токов невелика, хотя в рекомендованных производителем рабочих режимах речь идет о плотностях тока всего в 12–15 А/см². Как правило, в таком режиме структура обладает высоким квантовым выходом [2], что мы и наблюдали при анализе результатов. Однако при отступлении от этого условия в любую сторону значительно изменяется и эффективность, в том числе определяющаяся прямым напряжением и потребляемой мощностью (рис. 4б, в). Из чего можно сделать вывод, что излучающий кристалл умышленно спроектирован для работы в таком режиме для получения максимально возможного КПД (в нашем примере — около 49%) (световой эффективности), что, как правило, достигается формированием строго определенного количества и размера квантовых ям гетероструктуры при эпитаксии. Иными словами, использовать светодиод при других токах, особенно в большую сторону, более эффективно не получится, потому как «разгонный» режим существенно снизит световую эффективность и не приведет к энергетическому выигрышу. Вероятно, в этом и состоит упомянутый в начале компромисс применения кристалла в исследуемом светодиоде: его стоимости, технологичности производства и необходимой плотности тока для обеспечения оптимальной световой эффективности.

Литература

1. Никифоров С. Г. Теперь электроны можно увидеть: светодиоды делают электрический ток очень заметным. // Компоненты и технологии. 2006. № 3.
2. Никифоров С. Г., Архипов А. Л. Исследования и анализ зависимости квантового выхода светодиодов на основе материалов AlGaIn от плотности тока в неразогреваемом режиме // 6-я Всероссийская конференция «Нитриды галлия, индия и алюминия: структуры и приборы» ФТИ им. Иоффе. СПб, 18–20 июня 2008.