

## «S-класс» полупроводниковой светотехники

Статья посвящена новой разработке фирмы OSRAM Opto Semiconductor GmbH в области создания мощных RGB-светодиодов для систем интеллектуального освещения, динамической декоративной подсветки или светотехнических осветительных устройств. Представлены и проанализированы результаты измерений параметров и характеристик новинок, полученные в лаборатории «ЛИСТ — Лаборатория Исследований Световых Технологий», а также проведены сравнения с аналогами по применению.

Сергей НИКИФОРОВ

### Дальний свет: радуга или солнце?

Полупроводниковые источники света уже необратимо внедрили в светотехническую среду и теперь стоят перед самым важным для себя рубежом: покорить освещение. Однако их разнообразие и многогранность позволяют завоевать это первенство с разных направлений, как и подобает технически грамотно произведенному оборудованию — используя сильные стороны прежнего и добавив неоспоримые преимущества нового. Хотя, если посмотреть на достигнутые светодиодами технические параметры, многое уже ясно, но, тем не менее, пока победа еще не одержана, трудно судить, какая из важнейших характеристик станет решающей, приведшей светодиод к той их совокупности, которую по аналогии с автомобилями, имеющими безупречное качество всех систем, узлов и элементов комфорта, по праву называют «S-классом».

Одновременно с развитием твердотельных источников света непосредственно для использования в светотехнических устройствах освещения, построенных по системе «излучающий кристалл — люминофор», основным направлением которых является максимальная световая эффективность совместно с высокими показателями индекса цветопередачи, совершенствуются другие полупроводниковые источники света, претендующие на свое место в этом обширном сегменте светотехнического пространства. Некоторые компании, имеющие хороший потенциал и возможности для творчества и наступления широким фронтом, одновременно развивают несколько направлений. Так, например, большинство создает не только мощные белые светодиоды на люминофоре, но и работает над созданием белого света по системе RGB.

Несмотря на то, что при существующем спектральном распределении энергии излучения монохромных светодиодов практически невозможно добиться необходимого качества цве-

топередачи белого, эта система вполне имеет место быть, и если она изготовлена с достаточным качеством и выполнением условий равномерного смешивания световых потоков исходных цветов, то может использоваться там, где применяются люминофорные светодиоды. И если не говорить о стоимости такой замены, а ориентироваться только на технические характеристики, то можно сказать, что в большинстве случаев RGB вариант белого очень близко, «наступая на пятки», следует в своем развитии за мощными белыми светодиодами. Однако у него есть одно неоспоримое преимущество: он может быть управляемым и формировать любые оттенки, как это делается в системах отображения информации — экранах, табло и др. Но если там проблема — лишь в правильности передачи цвета и изображения картинки с нужной яркостью, то тут все усугубляется существенно большей мощностью для создания приемлемой освещенности поверхности. И одна из самых важных задач в этой системе — это создание максимально равномерного смешивания световых потоков, от которого сильно зависит качество создаваемого цветового оттенка или коррелированной цветовой температуры полученного белого во всем диапазоне углов излучения светодиода или устройства на его основе.

### Лучший карбюратор — оптический миксер

Проблему получения «правильного» белого цвета начали решать еще со времен создания цветных электронно-лучевых трубок (ЭЛТ), где пиксель, как всем хорошо известно, сформирован из 3 пятен люминофоров различного цвета свечения, засвеченных отдельными электронными пушками, также управляемыми по отдельности. Размер пикселя, расположение пятен в маске, а также их количество — состав пикселя — варьировались в больших пределах. Весь этот опыт применяется теперь при создании больших

светодиодных экранов, где созданные для ЭЛТ наработки и теоретические методы формирования изображения успешно прижились. Однако светодиоды не смогли повторить качество изображения, получаемого с помощью люминофоров, особенно в части формирования белого цвета и его градаций (градаций серого). Это связано исключительно со спектрами их излучения, которые уже люминофорных в несколько раз.

Но и качественно смешать световые потоки внутри светодиодного пикселя оказалось не такой простой задачей. Основным критерием выполнения этого условия является максимальная идентичность диаграмм пространственного распределения силы света и одновременно «точность», минимальное расстояние друг от друга всех трех составляющих, и тем самым размера всего пикселя. При таком условии световые потоки исходных цветов будут пропорционально смешиваться по всех частях диаграммы излучения суммарного пикселя, и под каким бы углом не находился наблюдатель, он не заметит изменения оттенка. Данное условие идеально выполняется в ЭЛТ. Со светодиодами эта задача трудно выполнима: невозможно создать идеальную и абсолютно одинаковую оптику для миллиона светодиодов в одном экране, да еще если учесть, что их установка всегда будет с погрешностью в групповой ориентировке. Эти проблемы описаны во множестве тематических публикаций по системам и средствам отображения информации. И даже интеграция пикселя в один светодиод — RGB SMD — не привела к полному решению проблемы правильного смешения. Применение диспергирующих составов в материале линз также не может дать нужного эффекта: существенно снижаются энергетические показатели внешнего оптического излучения, и светодиод становится просто не конкурентным по эффективности.

Описанные проблемы имеют ряд путей преодоления, по которым и направилась

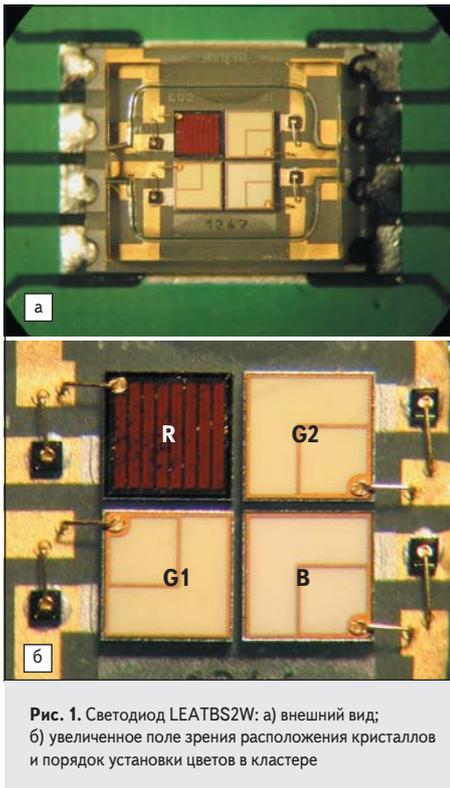


Рис. 1. Светодиод LEATBS2W: а) внешний вид; б) увеличенное поле зрения расположения кристаллов и порядок установки цветов в кластере

в своих разработках фирма OSRAM Opto Semiconductor GmbH, под занавес 2008 года представив российскому рынку свою новую разработку в виде мощного 4-кристального (1R2G1B) полноцветного светодиода типа LEATBS2W. Его внешний вид показан на рис. 1.

В светодиоде применены кристаллы размером  $1 \times 1$  мм. При таком взаимном их расположении качественное смешение световых потоков возможно, только если излучение будет генерироваться исключительно с верхней грани кристалла. Боковое излучение должно быть исключено, так как часть его неизбежно будет загорожена соседним кристаллом, и это искривит диаграмму, причем только с одной стороны. В результате, уже на углах обзора больше  $\pm 50$ – $60^\circ$  можно будет наблюдать изменение цвета сформированного оттенка из-за несовпадения диаграмм. На рис. 2 видно, насколько отличаются диаграммы углового распределения силы света RGB-светодиода на основе кристаллов размером  $0,25 \times 0,25$  мм, у которых преобладает боковое излучение (кристаллы Cree MB и Lumileds высотой 0,3 мм). Несмотря на то, что кристаллы расположены по углам равнобедренного прямоугольного треугольника (дельтаобразное расположение) и на расстоянии гораздо больше линейного размера самого кристалла, ни в одной плоскости излучения не получается избежать этого эффекта.

К сказанному следует добавить, что речь идет о светодиоде типа LM1-TPP1-01 фирмы COTCO с отсутствием какой-либо оптики и дисперсии в материале защитного слоя. Однако, несмотря на это, подобное распределение, встречающееся у многих светодиодов

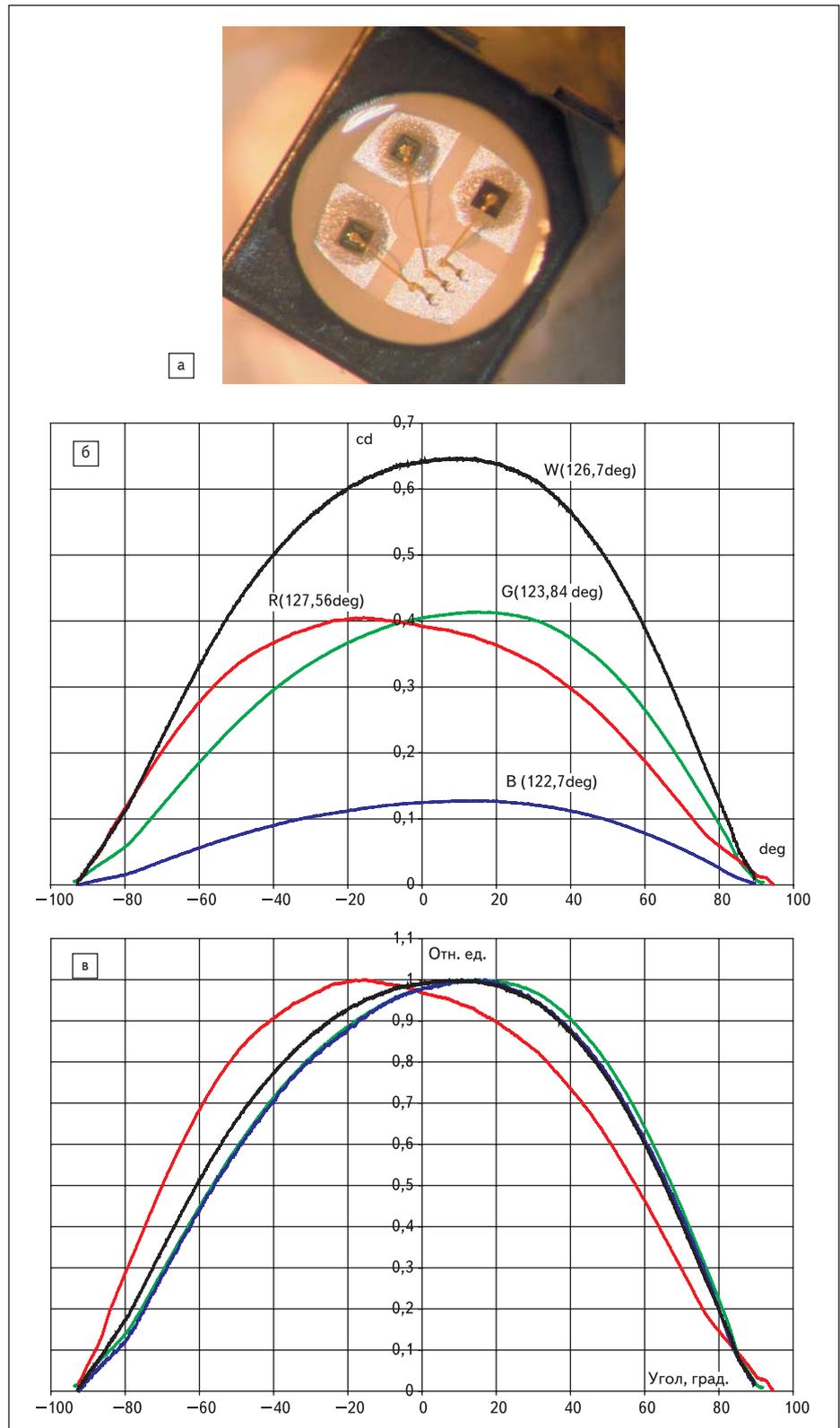


Рис. 2. а) Внешний вид кристаллов и их расположение 3-кристального RGB SMD светодиода LM1-TPP1-01 TТQ фирмы COTCO с дельтаобразным расположением кристаллов внутри корпуса; б) абсолютная диаграмма; в) относительная диаграмма пространственного распределения силы света (черным цветом обозначена диаграмма в режиме баланса белого, близкого к источнику типа D65, остальными цветами — соответствующие цвета свечения кристаллов; показаны расхождения в направленности излучения относительно оптической оси светодиода)

такого типа и имеющее существенно лучший вид у приборов с кристаллами на подложке из сапфира или с диспергатором, не мешает

использовать эти светодиоды в большинстве существующих устройств отображения видеoinформации. Можно заметить, что свето-

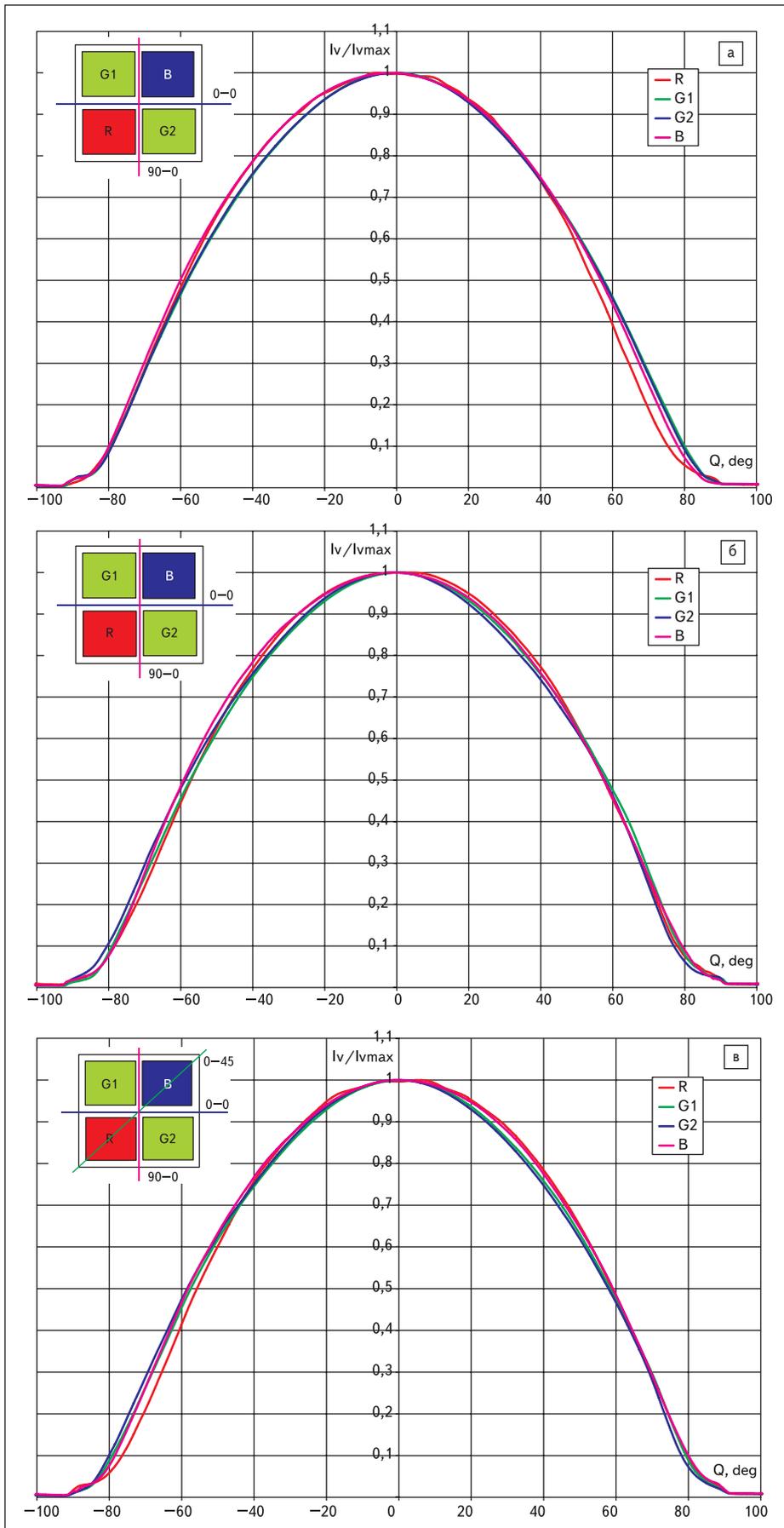


Рис. 3. Относительные диаграммы углового распределения силы света светодиода OSRAM Opto Semiconductor GmbH LEATBS2W: а) в плоскости 0–0°; б) в плоскости 0–90°; в) в плоскости 0–45°

диод OSRAM Opto Semiconductor GmbH LEATBS2W по своему конструктивному решению повторяет идею, реализованную при проектировании ЭЛТ, когда кластер представляет из себя точечный источник в виде светящейся плоской поверхности с идеальным косинусным распределением отдельных его сегментов со средней яркостью в  $20\text{--}35 \times 10^6$  кд/м<sup>2</sup> и, соответственно, результирующего светового потока, являющегося результатом суперпозиции составляющих.

Это хорошо видно на рис. 3, где представлены относительные диаграммы углового распределения силы света светодиода в 3 различных плоскостях. Все диаграммы практически совпадают на всем своем протяжении. Это же показали и пространственные 3D-проекции распределения освещенности поверхности от отдельных кристаллов светодиода (рис. 4). Здесь можно увидеть практически 3 одинаковых диаграммы, но это не потому, что они построены некорректно, а потому, что имеет место практическое совпадение диаграмм во всех плоскостях, составляющих пространство. Следует уточнить, что диаграмма зеленого цвета является суммарной для кристаллов G1 и G2. Плоская проекция этих графиков будет представлена далее, когда речь пойдет о суммарном световом потоке при условии баланса белого, где светодиод уже выполняет функцию устройства для освещения.

#### 4 кристалла, как 4 цилиндра: оптимальная мощность и эффективность

Одним из самых интересных моментов при анализе параметров является сравнение или оценка энергетических характеристик представленного светодиода. Производитель рекомендует использовать светодиод при прямом токе в 700 мА для каждого кристалла. Однако совершенно ясно, что даже при самом эффективном теплоотводе такая конструкция вряд ли выдержит нагрузку, эквивалентную выделению более чем 10 Вт мощности, производящей тепло, если все кристаллы будут включены сразу при таких токах. Поэтому измерения велись в режиме баланса белого, эквивалентного источнику типа D65, когда максимальный световой поток при этом условии может быть получен при токах не более чем 500 мА через один из кристаллов. Суммарная электрическая мощность составляет около 4 Вт. Приблизительный расчет режимов кристаллов светодиода

Таблица 1. Режимы кристаллов светодиода LEATBS2W для формирования белого света с параметрами, эквивалентными источнику типа D65

| Цвет  | Iv, кд | Ф, лм | Uf, В | If, А  | Pd, Вт |
|-------|--------|-------|-------|--------|--------|
| R     | 11,2   | 33    | 2,60  | 0,5    | 1,30   |
| G     | 31     | 91    | 3,54  | 2×0,28 | 1,97   |
| B     | 5,3    | 16    | 2,88  | 0,3    | 0,86   |
| Сумма | 47,5   | 140   |       |        | 4,13   |

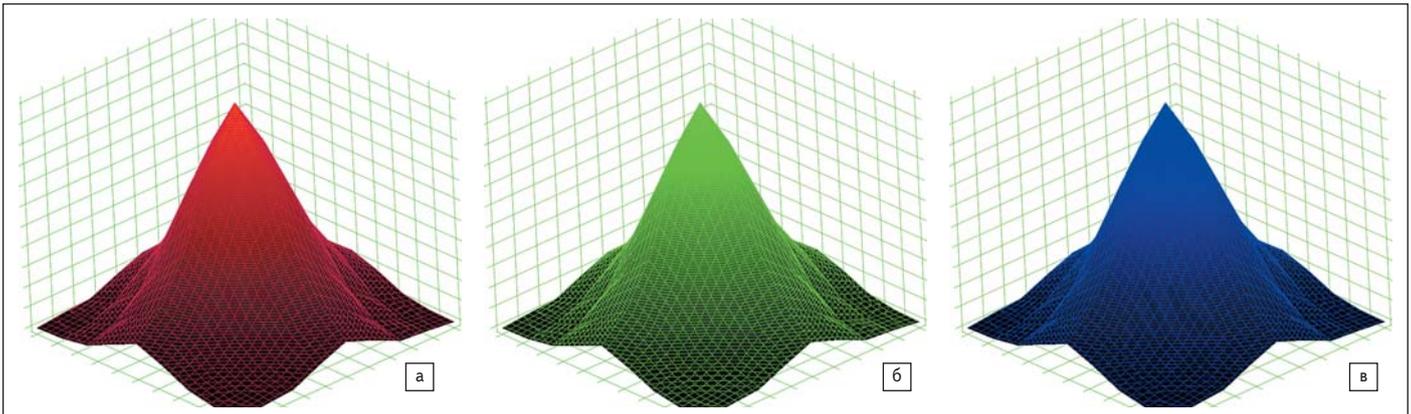


Рис. 4. 3D-проекции распределения освещенности поверхности от кристаллов светодиода OSRAM Opto Semiconductor GmbH LEATBS2W (цвет диаграммы соответствует цвету свечения кристалла)

да, при которых обеспечивается указанные условия формирования белого, приведены в таблице 1.

Для сравнения результатов полученных энергетических и фотометрических характеристик обратимся к таблице 2.

Таблица 2. Энергетические характеристики различных светодиодов

| Тип светодиода  | Сила света Iv, кд | Световой поток Ф, лм | Угол излучения 2Ω1/2, ° | Эффективность, лм/Вт |
|-----------------|-------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|
|                 | (белый типа D65)  | (белый типа D65)     |                         | (белый типа D65)     |
| OSRAM LEATBS2W  | 48                | 140                  | 120                     | 38                   |
| Nichia NS6W183E | 28                | 82                   | 120                     | 78                   |
| Cree XREWH1     | 48                | 95                   | 90                      | 90                   |

Несмотря на то, что эффективность белого (данные в последней колонке таблицы) у светодиода LEATBS2W существенно меньше, чем у передовых на данный момент люминофорных светодиодов, здесь следует сделать оговорку. Дело в том, что если создать такой же световой поток у аналогов (140 лм) с помощью увеличения плотности проходящего тока, то эффективность может оказаться отнюдь не намного больше, чем 38 лм/Вт. Из чего следует вывод, что по эквивалентной эффективности преобразования RGB источник белого света практически не отстает от своих конкурентов, что подтверждает его перспективность.

Чтобы более детально и понятно представить получаемые с помощью светодиода

LEATBS2W «люмены белого света», как уже стало понятно, равномерно и без оттенков распределяющиеся в пространстве в виде косинусной полусферы, удобнее показать распределение освещенности поверхности на некотором расстоянии, которое создают эти люмены. Такую схему (рис. 5) хорошо поймут светотехники, если рассматривать это изделие — LEATBS2W — как основу для светильников или управляемых светотехнических устройств для различной подсветки. На рис. 5 можно заметить, что освещенность поверхности на расстоянии 1 м от светодиода, в плоскости, перпендикулярной оптической оси светодиода, в центре пятна составляет около 48lx, а на поверхности, ограниченной кругом с диаметром 5 м, освещенность не снижается меньше 15lx. По этим данным можно без труда представить, как будет выглядеть освещаемая поверхность, если светильник будет построен на группе таких светодиодов.

Следует также добавить, что в любой точке указанной поверхности разброс цветовых характеристик излучения будет минимальным, даже в самых удаленных от центра областях засветки. Поэтому и без применения различных экранов или дополнительных рассеивающих материалов светотехник-проектировщик может быть уверен в правильности своего проекта с точки зрения подбора цветов и оттенков используемого им света. Чего совсем нельзя сказать про светодиоды с использованием люминофоров, у которых наблюдается порой значительная разница в оттенке белого центральной и периферийной части диаграммы излучения.

**Литература**

1. Никифоров С. Г. Проблемы, теория и реальность светодиодов для современных систем отображения информации высшего качества // Компоненты и технологии. 2005. № 5.

*Автор выражает особую благодарность Г. В. Азизяну за помощь: предоставление образцов и техническую поддержку исследований.*

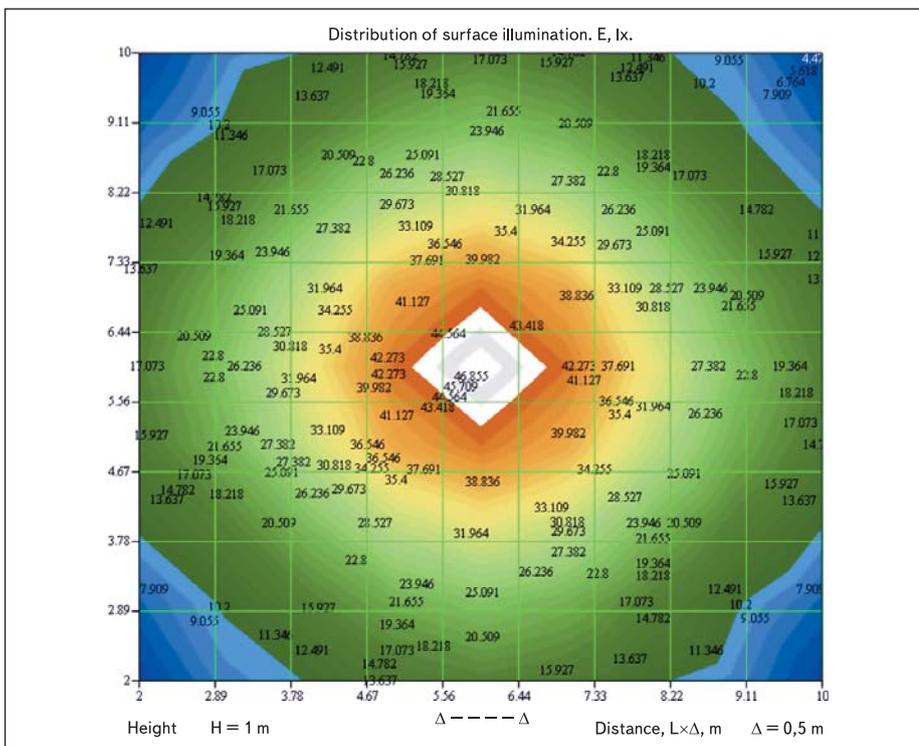


Рис. 5. Распределение освещенности поверхности на расстоянии 1 м, производимой светодиодом LEATBS2W в режиме баланса белого с коррелированной цветовой температурой, близкой к 6500 К