

Д. т. н. В. Н. БОРЩЁВ¹, к. т. н. А. М. ЛИСТРАТЕНКО¹, И. Т. ТЫМЧУК¹,
М. А. ПРОЦЕНКО¹, Г. И. НИКИТСКИЙ¹, А. А. ФОМИН¹, д. т. н. Л. А. НАЗАРЕНКО²,
чл.-кор. НАНУ, д. т. н. В. М. СОРОКИН³, к. т. н. А. В. РЫБАЛОЧКА³, А. С. ОЛЕЙНИК³

Украина, г. Харьков, ¹ООО «Светодиодные технологии Украина»,

²Харьковская национальная академия городского хозяйства;

г. Киев, ³Институт физики полупроводников им. В. Е. Лашкарёва НАНУ

E-mail: a_oliynyk@isp.kiev.ua

НОВЫЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ СВЕТОДИОДНЫХ МОДУЛЕЙ ДЛЯ ЛАМП-РЕТРОФИТОВ

Предложены принципиально новые конструктивно-технологические решения компактных объемных зеркализированных светодиодных модулей повышенной мощности. На их основе при использовании высокоэффективных светодиодов третьего поколения изготовлены экспериментальные образцы ламп-ретрофитов мощностью 10 и 15 Вт со светоотдачей от 105 до 160 лм/Вт.

Ключевые слова: объемный светодиодный модуль, светодиодная лампа, конструктивно-технологические решения.

Интенсивное развитие светодиодной техники требует постоянного совершенствования как самих светоизлучающих структур, так и элементов конструкции систем, обеспечивающих нормальный тепловой режим светодиодов, оптических систем и электронного управления [1–4]. К энергосберегающим источникам света бытового применения в настоящее время традиционно относят компактные люминесцентные лампы. Светодиодные лампы стали использоваться в общем освещении относительно недавно. Однако по оптимистическим прогнозам в 2016 году светодиодные осветительные системы должны занять около 30% рынка источников света, а люминесцентные — около 40%. Ожидается, что в ближайшие три года стоимость одного люмена светодиодной лампы станет такой же, как и компактной люминесцентной, что приведет к резкому спросу на них. По прогнозам компании Philips к 2025 г. доля светодиодных ламп в структуре мирового осветительного рынка может достигнуть 70% [5]. На подобные перспективы могут рассчитывать и отечественные производители светодиодных ламп и светильников. Это связано с постоянным снижением мировых цен на светодиоды и устойчивым ежегодным повышением их светоотдачи, которая сегодня приближается к 200 лм/Вт для промышленных приборов. Достичь таких показателей другим видам источников света уже не под силу.

В настоящее время для бытового и общепромышленного освещения разработаны лампы-ретрофиты, в которых в качестве излучателей малой и средней мощности применяются многокристальные (chip-on-board, **COB**) модули и светодиодные модули на основе поверхностного монтажа (surface-mount device, **SMD**). Модули, как правило, выполняются в виде плоских круг-

лых, кольцевых или многоугольных печатных плат с металлизированным или выполненным на основе теплопроводной керамики основанием, на которое устанавливаются светодиоды с односторонними оптическими осями.

Плоские светодиодные модули (**СДМ**) устанавливаются в защитной светорассеивающей колбе диаметром 50–60 мм с вынесенным из нее радиатором, примыкающим к плате. В лампах с цоколем E27 электронные системы управления (драйверы) встроены в цокольную часть в отсеке радиатора, который является общим для светодиодного модуля и электронных элементов драйвера. Такой широко распространенный конструктивный подход приводит к значительным потерям оптического излучения на светорассеивающих элементах, а также к потерям мощности на драйвере [6], что больше всего проявляется при создании компактных ламп с мощностью более 10 Вт. В результате этого характеристики ламп значительно снижаются по сравнению с используемыми в них светодиодными модулями, имеющими светоотдачу 120–160 лм/Вт и срок службы 60–100 тыс. часов.

На практике существенные технические проблемы появляются при организации серийного производства высокоэффективных компактных светодиодных ламп-ретрофитов с излучателями на плоских модулях со светоотдачей более 100 лм/Вт, с цветовой температурой 2700–3000 К, индексом цветопередачи 80–90, мощностью 10 Вт и более. В таких лампах необходимо конструировать светорассеивающие колбы, удовлетворяющие требованиям по блескости, а сами лампы должны иметь срок службы 40–60 тыс. часов, обладать удовлетворительным, более 0,8, коэффициентом мощности, а также обеспечивать требуемый стандартами коэффициент пульса-

ций светового потока — от 5 до 20%, в зависимости от сферы применения. Потеря эффективности лампы при использовании светодиодов с достаточно высокой светоотдачей связана, прежде всего, с проблемами охлаждения светодиодов и оптических потерь в лампе из-за близкого расположения светодиодов друг к другу на плате модуля и расположения модуля в колбах малых габаритов. Уменьшение эффективности светодиодных ламп связано также с потерями светового потока на стенках рассеивающих колб. Перечисленные выше проблемы относятся также и к плоским светодиодным модулям в лампах малой мощности от 4 до 8 Вт.

Очевидно, что весьма актуальной задачей является разработка и исследование новых, более совершенных конструктивно-технологических решений светодиодных модулей для ламп-ретрофитов, обеспечивающих более эффективный отвод теплоты от светодиодных источников света и более эффективное светораспределение. Решить эту задачу позволяет применение объемных светодиодных модулей, выполняющих функции держателей светодиодов и одновременно радиаторов кондуктивного теплоотвода. Использование для охлаждения СДМ радиационной теплопередачи в окружающую среду за счет увеличения площади и коэффициента излучения поверхности держателей светодиодов значительно улучшает температурные условия работы светодиодов. Применение объемных СДМ со светоотражающими зеркализированными стенками держателей светодиодов обеспечивает разнонаправленную ориентацию в пространстве оптических осей светодиодов для улучшения светораспределения и снижения блескости излучателя. Повышение качества светораспределения и нормальный тепловой режим обеспечиваются также за счет расположения оптических осей светодиодов перпендикулярно стенкам колбы, а также за счет увеличения количества светодиодов (за счет применения менее мощных светодиодов) [6—9]. Такой подход позволяет сохранить или уменьшить размеры излучателя или колбы лампы, увеличить суммарную площадь монтажа светодиодов и компактно рассредоточить их на радиаторе, увеличив тем самым площадь кондуктивного теплоотвода на вынесенную из колбы часть указанного радиатора. Кроме того, такие конструктивные решения позволяют обеспечить улучшенную радиационную теплопередачу от держателей светодиодов и возможность увеличения световой эффективности объемных СДМ в составе лампы за счет дополнительного переотражения излучения в колбе рассеивателя и вывода его в окружающее лампу пространство.

Целью настоящей работы является разработка инновационных конструктивно-технологических решений плоских и объемных светодиодных модулей широкого диапазона мощности (4—15 Вт) для

высокоэффективных компактных бытовых ламп-ретрофитов со светоотдачей более 100 лм/Вт, цветовой температурой 2800—5500 К и индексом цветопередачи более 80.

Многokrистальные плоские светодиодные модули

В 2013—2014 гг. компанией ООО «Светодиодные технологии Украина» (г. Харьков) совместно с Институтом физики полупроводников им. В. Е. Лашкарева НАН Украины (г. Киев) были проведены работы по разработке и освоению производства светодиодных ламп с использованием многokrистальных плоских светодиодных модулей для замены ламп накаливания и компактных люминесцентных ламп. Результатом стало создание принципиально новых многokrистальных светодиодных модулей с применением высокоэффективных импортных светоизлучающих кристаллов синего света типа EDI-EA1734 (0,3 Вт) компании EDISON Optocorporation (Тайвань).

На основании результатов анализа свойств различных теплопроводящих плат была выбрана составная конструкция теплопроводящего основания СОВ-модулей для светодиодных ламп. Эта конструкция представляет собой сборочный узел, в котором на зеркализированном круглом основании из материала MIRO-SILVER 4270AG толщиной 0,8 мм с общим коэффициентом отражения до 95—98% с помощью теплопроводящего клея установлен медный посеребренный корпус типа LEAD FRAME 3003 (Тайвань). Такой подход обеспечил в светодиодном модуле низкое тепловое сопротивление «кристалл — корпус» (менее 1 К/Вт) и возможность увеличения его световой эффективности в составе светодиодной лампы за счет дополнительного переотражения светового излучения в колбе рассеивателя.

С учетом особенностей конструкции СДМ и результатов расчетов параметров люминофорных гелей (на основе силиконового двухкомпонентного полимера типа ЕМ-6637, Китай) были исследованы тестовые образцы СДМ с различной концентрацией желтых и оранжево-красных люминофоров на основе алюмоиттриевых гранатов и оксинитридов типов ZYP550SG2 (желтый) и ZYP630H (оранжево-красный) компании Nakamura Co.Ltd (Япония). Были проведены исследования спектральных характеристик образцов и подтверждены оптимальные дозировки люминофоров в люминофорных слоях толщиной 1,8 мм в интервале массовых соотношений люминофора и силиконового полимера $m_{550SG2}:m_{\text{силикон}}$ от 1:15 до 1:30 для желтого люминофора. Для смеси желтого и оранжево-красного люминофоров были установлены соотношения масс люминофоров между собой и силиконовым полимером $m_{630H}:m_{550SG2}:m_{\text{силикон}}$ в интервале от 1:10:240 до 1:10:300, что удовлетворяет диапазонам цветовой температуры и индекса цветопередачи, указанным в табл. 1.

Таблица 1

Типовые результаты контроля параметров плоских СДМ (по 25 модулей в каждой партии) при различных значениях рабочего тока и мощности

Параметр	Значения параметров при токе питания/мощности:			
	0,35 мА/4 Вт	0,35 мА/5 Вт	0,06 мА/4 Вт	0,06 мА/5 Вт
Напряжение питания U , В	11,8 – 11,9	14,6 – 14,7	69,2 – 72,2	85,5 – 85,9
Полный световой поток Φ_v , лм	500 – 520	615 – 625	520 – 540	670 – 705
Световая эффективность η , лм/Вт	120 – 125	120 – 123	120 – 130	130 – 137
Цветовая температура T_c , К	4500 – 5500	4500 – 5500	4500 – 5500	4500 – 5500
Индекс цветопередачи R_a	62 – 68	62 – 68	62 – 68	62 – 68



Рис. 1. Образец многокристального зеркализированного светодиода

Исследование параметров собственно СДМ и СДМ в составе корпусов светодиодных ламп проводилось на измерительной базе Харьковского регионального научно-производственного центра стандартизации, метрологии и сертификации и ИФП НАНУ. Исследовалось влияние конструктивных и технологических решений на световую эффективность опытных образцов светодиодных модулей, а также обоснованность выбора вариантов конструктивно-технологических решений, материалов и технологических схем изготовления светодиодных модулей для повышения их энергетических и светотехнических характеристик.

Приемо-сдаточные испытания партии светодиодных модулей подтвердили их высокие светотехнические параметры. Без учета КПД схемы управления светоотдача плоских СДМ мощностью 4 и 5 Вт составляла 120 – 130 лм/Вт для диапазона коррелированной цветовой температуры 4500 – 5500 К (табл. 1).

Предложенная конструкция и разработанная технология изготовления составного основания плоских СДМ позволили улучшить тепловые параметры новых светодиодных ламп, прототипом которых являются отечественные лампы с цоколем E27 малой мощности, напряжением питания 13 – 100 В, рабочим током 50 – 350 мА и светоотдачей до 130 лм/Вт.

На рис. 1 представлен образец многокристального зеркализированного плоского СДМ.

В табл. 2 представлены электрические и оптические характеристики тестовых плоских

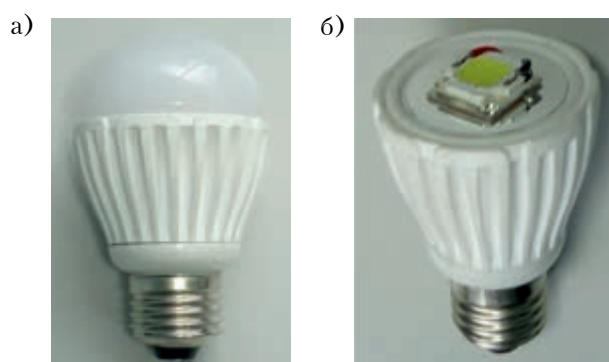


Рис. 2. Образцы светодиодных ламп со светорассеивающей колбой (а) и без нее (б)

Таблица 2

Электрические и световые характеристики светодиодных модулей в лампах двух конфигураций (см. рис. 2) при токе питания 0,35 мА и мощности 4,3 Вт

Конфигурация лампы		Φ_v , лм	η , лм/Вт	T_c , К	R_a
С колбой	матированное основание	329,2	76,6	5053	67,2
	зеркализированное основание	343,2	79,8	5050	68,6
Без колбы	матированное основание	416,8	96,9	5265	66,8
	зеркализированное основание	421,8	98,1	5270	68,0

светодиодных модулей в корпусах типа LEAD FRAME 3003, установленных на зеркализированном или матированном теплопроводном алюминиевом основании в светодиодных лампах двух конфигураций – со светорассеивающей колбой и без нее (рис. 2).

Как видно из табл. 2, в лампах со светорассеивающей колбой при применении высокоэффективных отражателей зеркализация основания СДМ обеспечивает увеличение световой эффективности почти на 4,2% за счет дополнительного переотражения светового излучения в колбе. Для светодиодной лампы без колбы это увеличение незначительно (1,2%), поскольку переотражение отсутствует.

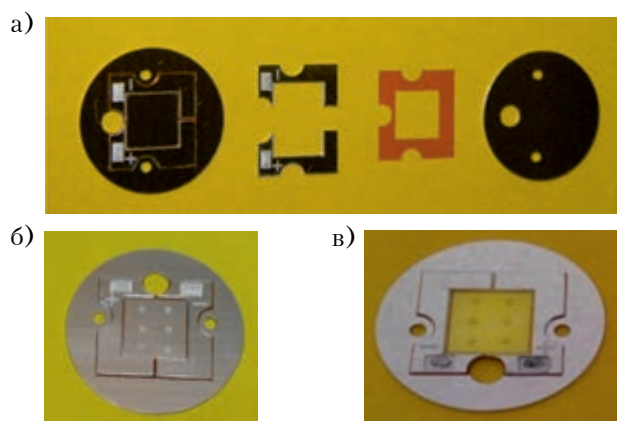


Рис. 3. Образцы многокристального зеркализованного светодиодного модуля и его составных элементов: а — элементы модуля; б — модуль в сборе с кристаллами; в — модуль в сборе со сформированным люминофорным слоем

Таким образом, результатом проведенных исследований и разработок стало создание на технологической базе ООО «Светодиодные технологии Украина» принципиально новых для Украины многокристальных светоэффективных (с увеличенным коэффициентом использования светового потока) светодиодных модулей LEM (light effective module), изготовленных по технологии сборки COB.

На основании полученных результатов нами было предложено техническое решение по созданию улучшенного многокристального СДМ, а именно: каждый светодиодный кристалл в излучательной области модуля устанавливается тыльной стороной на плоском теплопроводном зеркализованном основании. Применение плоского теплопроводного подкристального высокоэффективного рефлектора с общим коэффициентом отражения до 95–98% позволило повысить как оптическую, так и энергетическую эффективность светодиодных модулей по сравнению с существующими аналогами более чем на 10%. Кроме этого, предложенное техническое решение обеспечило оптимальный подбор типов светодиодных кристаллов и различных вариантов соединений кристаллов в электрические схемы, а также долговременную стабильность модулей в течение всего срока службы.

На рис. 3 представлены образцы предложенных многокристальных зеркализованных светодиодных модулей и их составных элементов.

По итогам работы получены патенты Украины [10, 11].

Объемные светодиодные модули

Для повышения конкурентоспособности светодиодных ламп-ретрофитов необходимо, чтобы выполнялись условия соответствия их размеров и электрической совместимости с лампами накаливания. Сравнительно малые габариты корпуса лампы накаливания создают в светоди-

одных лампах-ретрофитах ряд проблем, связанных с отводом тепла, светорассеиванием и светопропусканием. Радиаторы, применяемые для отвода тепла, не только громоздки, но и затрудняют получение требуемого светораспределения лампы (многие типы ламп с плоскими светодиодами модулями не обеспечивают угол рассеивания светового потока более 120–160°). В ряде случаев требуется дополнительная светорассеивающая оптика, что снижает светоотдачу лампы и ощутимо повышает ее стоимость.

Одним из путей решения этих проблем является применение в лампах объемных светодиодных модулей. Разработанные новые технические подходы позволили комплексно и достаточно просто улучшить энергетическую и световую эффективность, а также увеличить угол рассеивания светового потока до 270° в лампах-ретрофитах мощностью 10–15 Вт и более в колбах с типоразмерами А60 и А95.

В качестве светодиодных источников света были выбраны высокоэффективные SMD- и COB-светодиоды производства CREE Inc. (США), а также нашедшие широкое применение высокоэффективные коммерческие SMD-светодиоды серии 5630 3G компании LG Innotek Co Ltd (Корея). В излучателях СДМ применялись серийные светодиоды третьего поколения, имеющие повышенный световой поток и световую эффективность не менее 120–150 лм/Вт.

Держатели-теплоотводы светодиодного излучателя выполнялись в виде единого формообразующего объемного зеркализованного элемента, основание которого механически удерживают три или более отражателей-радиаторов заданной формы, расположенные на заданном удалении друг от друга и изогнутые под требуемым углом к продольной оси рассеивающей колбы. Сформированные на фронтальных поверхностях теплопроводных отражателей-радиаторов зеркальные покрытия с общим коэффициентом отражения до 98% обеспечивают увеличение световой эффективности светодиодного излучателя в составе лампы, а также несколько улучшают условия отвода тепла от источников света. По сравнению с СДМ плоского типа в этом случае площадь отвода кондуктивного тепла от светодиодов увеличивается в 4–6 раз. Световая эффективность излучателя в составе светодиодной лампы повышается из-за дополнительного переотражения высокоэффективными зеркализованными отражателями-радиаторами в колбе рассеивателя света. Равномерность распределения светового потока и снижение блескости излучателя лампы обеспечиваются за счет разнонаправленной ориентации в пространстве оптических осей светодиодов.

Равномерное расположение светоизлучающих полупроводниковых приборов малой мощности на фронтальной зеркальной стороне каждого отражателя-радиатора и соединение их в электрическую схему с помощью гибкой ком-

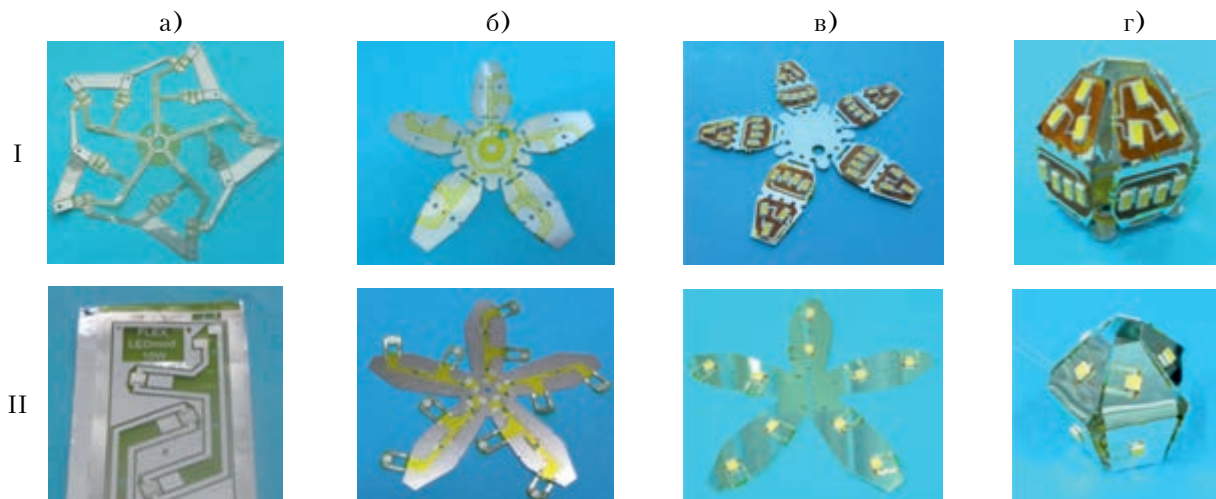


Рис. 4. Образцы зеркализированных объемных светодиодных модулей мощностью 10 Вт на SMD-светодиодах (I) и мощностью 15 Вт на MCOB-светодиодах (II), их состав, компоновка и последовательность сборки: а — гибкая плата; б — гибко-жесткая плата; в — гибко-жесткая плата со светодиодами; г — объемный светодиодный модуль

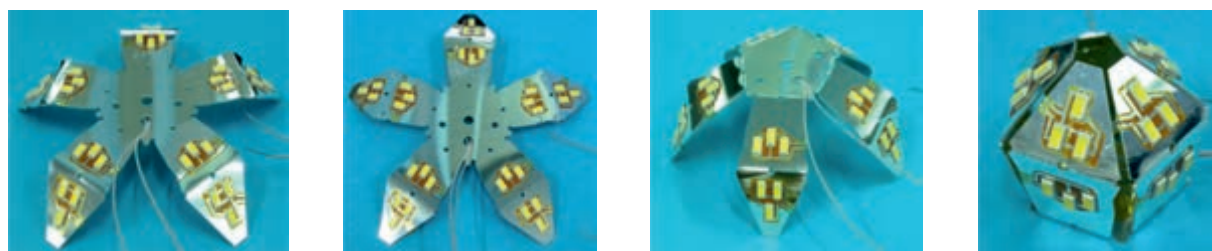


Рис. 5. Последовательность формирования объемного светодиодного модуля из плоского на гибко-жесткой зеркализированной плате

мутирующей платы, общий коэффициент отражения поверхности которой составляет не менее 80%, обеспечивает возможность дополнительного увеличения светового потока, выходящего из лампы, и снижения блескости излучателя. Такое техническое решение позволяет использовать менее мощные светодиоды при большем их количестве в объемных модулях.

Были разработаны несколько вариантов конструкций экспериментальных объемных светодиодных модулей на основе гибко-жестких коммутационных плат на объемных держателях-теплоотводах различной мощности: 15 Вт при использовании высокоэффективных мини-СОВ- и СОВ-светодиодов (до 1,5 Вт) и до 10 Вт при использовании SMD-светодиодов (до 0,5 Вт).

На рис. 4, 5 представлены последовательности изготовления различных типов СДМ, внешний вид модулей, их состав и компоновка.

Для изготовления отражателей сложной формы необходимо было также решить проблемы, связанные с недостатками традиционно применяемых для этого материалов. Например, анодированному алюминиевому сплаву свойственны низкая пластичность (как правило, значение допустимого относительного удлинения находится в пределах 2%) и повреждения верхне-

го защитного слоя при вытяжке и сгибании, поскольку он является многослойным материалом, состоящим из подложки, придающей большую жесткость, и ряда тонких (микронной толщины) слоев, придающих материалу высокую отражательную способность. Материалы MIRO-SUN и MIRO SILVER имеют со стороны зеркального покрытия защиту поверхности тонким слоем $\text{SiO}_2\text{—TiO}_2$ и лаковой пленкой. При сгибании плоской пластины с зеркализированной стороной снаружи допускается минимальный внутренний

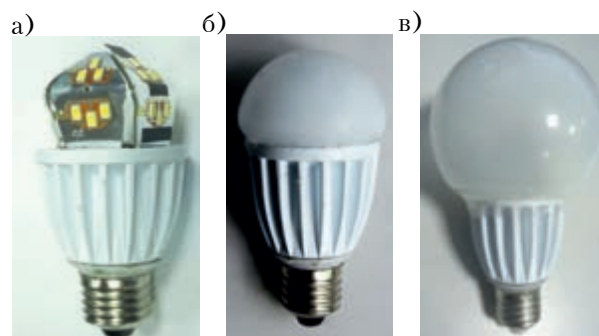


Рис. 6. Экспериментальные образцы ламп с объемным светодиодным модулем мощностью 10 Вт (а, б) и 15 Вт (в) со светорассеивающей колбой типа А60 (б) и А95 (в) и без нее (а)

Таблица 3

Электрические и световые характеристики объемных СДМ мощностью 10 и 15 Вт в лампах различной конфигурации (см. рис. 6) после 60 минут непрерывной работы

Конфигурация лампы	I , А	U , В	P , Вт	Φ_v , лм	η , лм/Вт	T_c , К	R_a
10 Вт, SMD LG							
Без колбы	0,33	30,1	9,93	1035	105	5933	87
С колбой A60		29,9	9,87	783	79	5213	86
С колбой A95		30,0	9,9	956	97	5381	87
10 Вт, SMD CREE							
Без колбы	0,36	27,6	9,94	1614	162	4575	72
С колбой A60		27,5	9,0	1193	121	4446	71
С колбой A95		27,5	9,0	1509	152	4563	71
15 Вт, MCOB CREE							
Без колбы	0,85	17,0	14,45	2022	140	4816	74
С колбой A95		17,0	14,42	1834	127	4759	74
15 Вт, COB CREE							
Без колбы	0,44	34,0	14,94	2316	155	4539	72
С колбой A95		33,8	14,87	2099	141	4536	72

Таблица 4

Параметры светодиодных ламп компаний OSRAM и PHILIPS на начало 2016 г. [14]

Тип лампы	P , Вт	Φ_v , лм	η , лм/Вт	T_c , К	R_a
OSRAM A75 E27	10	1055	109	2797	82
	12,4	1145	92	2800	87
PHILIPS A60 E27	9	806	95	2840	83

диаметр кривизны до 2 мм, с зеркализированной стороной внутри — до 14 мм, а при диаметре кривизны 6 мм уже наблюдается повреждение защитного покрытия.

Для того чтобы исключить указанные проблемы, на линиях сгибов выполнялись технологические отверстия, облегчающие формирование ребер на начальных участках, и разгрузочные пазы в местах крутых изгибов.

На рис. 6 представлены экспериментальные образцы светодиодных ламп различных конструкций с объемными зеркализированными светодиодами мощностью 10 и 15 Вт, а в табл. 3 — их электрические и оптические характеристики.

Светодиодные модули выполнены из материала MIRO-SILVER 4270AG с общим коэффициентом отражения до 98% и толщиной 1,0 мм. В качестве источников света в СДМ мощностью 10 Вт были использованы коммерческие светодиоды мощностью до 0,5 Вт двух типов: LEMWS59R80HZ2B00 компании LG Innotek (Корея) в пластмассовом корпусе типоразмера 5630 со световым потоком до 72 лм (при

25°С), световой эффективностью до 160 лм/Вт при $T_c = 5000$ К, индексом цветопередачи более 80 (SMD LG) и XTEAWT-00-0000-00000 BJE3 компании CREE Inc. (США) в корпусе типоразмера 3,45×3,45 мм со световым потоком до 80 лм (при 85°С), световой эффективностью до 170 лм/Вт при $T_c = 5000$ К и индексом цветопередачи более 70 (SMD CREE).

Из сравнения представленных в табл. 3 данных с данными табл. 2 можно сделать вывод, что объемные СДМ по своим электрическим и световым характеристикам значительно превосходят плоские СДМ. Предложенная конструкция отражателей-радиаторов СДМ, в свою очередь, обеспечила улучшение электрических и оптических характеристик бытовых светодиодных ламп с размером колб типа A60 и A95 при более высокой мощности.

По итогам работы получен патент Украины [12] и подана заявка на изобретение [13].

В настоящее время производством ламп-ретрофитов во всем мире занимается множество компаний. Что касается рейтинга производителей светодиодных ламп бытового приме-

ния в странах СНГ, в 2016 г. на первых по качеству позициях здесь находятся такие европейские компании-разработчики, как OSRAM и PHILIPS. Наилучшие технические характеристики при тестировании стабильно показывают серийно выпускаемые лампы-ретрофиты типа OSRAM LED Superstar Classic A75 E27 мощностью 10 и 12,4 Вт и PHILIPS LED A60 E27 мощностью 9 Вт на основе плоских светодиодных модулей. В табл. 4 представлены основные параметры, характеризующие их технический уровень на начало 2016 г.

Из приведенных данных можно сделать вывод, что уровень предложенных авторами технических решений соответствует европейскому.

Заключение

Таким образом, разработанные принципиально новые объемные светодиодные модули на основе светодиодов третьего поколения позволили увеличить световой поток до 1150–1200 лм при светоотдаче 120–135 лм/Вт в лампах мощностью 10 Вт и до 1800–2000 лм при светоотдаче 130–140 лм/Вт в лампах мощностью 15 Вт, что свидетельствует об их конкурентоспособности с лампами европейских производителей. Дальнейшие исследования будут проводиться в направлении совершенствования их конструкции и улучшения условий отвода тепла от светогенерирующих областей, а также на создание конкурентоспособных объемных светодиодных модулей для высокоэффективных бытовых ламп более высокой мощности (15 Вт и выше).

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Сорокин В. М. Светодиодное освещение. Проблемы. Решения. Перспективы // Промышленная электроэнергетика та електротехніка. — 2014. — № 5. — С. 28–38.
2. Наумова А. Н., Николаенко Ю. Е., Кравец В. Ю. и др. Охлаждение светодиодного модуля с помощью различных теплоотводов // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2015. — № 5–6. — С. 35–40. <http://dx.doi.org/10.15222/TKEA2015.5-6.35>
3. Лозовой М. А., Николаенко Ю. Е., Рассамкин Б. М., Хайрнатов С. М. Исследование рабочих характеристик

тепловых труб для светодиодных осветительных приборов // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2014. — № 5–6. — С. 32–38. <http://dx.doi.org/10.15222/TKEA2014.2.32>

4. Kozak D. V., Nikolaenko Yu. E. The working characteristics of two-phase heat transfer devices for LED modules // 2016 IEEE International Conference on Electronics and Information Technology (EIT'16). — 2016. — Ukraine, Odessa. — P. 10–13. <http://dx.doi.org/10.1109/ICEAIT.2016.7500980>

5. Зубиков А. Мировой рынок светотехники Исследуемые регионы: США, Латинская Америка, Китай, Индия, Западная Европа, Россия // Световые технологии. — Ноябрь 2014. <http://ltcompany.com/media/uploads/2015/05/08/2014-11122014-11-14-3.pdf>

6. Сысун В. В. Состояние разработок компактных светодиодных излучателей и ламп с удаленным люминофором // Полупроводниковая светотехника. — 2013. — № 6. — С. 39–48.

7. Антипин С., Королев Г. Светодиодные матрицы против одиночных светодиодов // Полупроводниковая светотехника. — 2011. — № 5. — С. 52–57.

8. Глухов А. Конструкция светодиодной лампы для прямой замены лампы накаливания общего назначения // Полупроводниковая светотехника. — 2011. — № 2. — С. 45–48.

9. Борщев В. Н., Листратенко А. М., Антонова В. А. и др. Отечественные многокристалльные мощные светодиодные модули и светильники на их основе // Світлотехніка та електроенергетика. — 2011. — № 3. — С. 4–12.

10. Пат. 94999 Украины на полезную модель. Многокристалльный светодиодный модуль / Г. И. Никитский, В. Н. Борщев, А. М. Листратенко, В. М. Сорокин и др. — 2014.

11. Пат. 111099 Украины. Многокристалльный светодиодный модуль / Г. И. Никитский, В. Н. Борщев, А. М. Листратенко, В. М. Сорокин и др. — 2016.

12. Пат. 108776 Украины. Лампа с объемным светодиодным модулем / Г. И. Никитский, В. Н. Борщев, А. М. Листратенко, В. М. Сорокин и др. — 2016.

13. Заявка на изобретение № а 201601853 Украины. Лампа с объемным светодиодным модулем / Г. И. Никитский, В. Н. Борщев, А. М. Листратенко, В. М. Сорокин и др. — 2016.

14. Сводный тест светодиодных ламп 2016. — Режим доступа: <http://ichip.ru/svodnyjj-test-svetodiodnykh-lamp-2016.html>

Дата поступления рукописи
в редакцию 27.10.2016 г.

В. М. БОРЩОВ¹, О. М. ЛИСТРАТЕНКО¹, І. Т. ТИМЧУК¹,
М. А. ПРОЦЕНКО¹, Г. І. НІКІТСЬКИЙ¹, О. О. ФОМІН¹,
Л. А. НАЗАРЕНКО², В. М. СОРОКІН³, А. В. РИБАЛОЧКА³, О. С. ОЛІЙНИК³

Україна, м. Харків, ¹ТОВ «Світлодіодні технології Україна»,
²Харківська національна академія міського господарства ім. О. М. Бекетова;
м. Київ, ³Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАНУ

НОВІ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ СВІТЛОДІОДНИХ МОДУЛІВ ДЛЯ ЛАМП-РЕТРОФІТІВ

Запропоновано принципово нові конструктивно-технологічні рішення компактних об'ємних дзеркалізованих світлодіодних модулів підвищеної потужності. На їх основі при застосуванні високо-ефективних світлодіодів третього покоління виготовлено експериментальні зразки ламп-ретрофитів потужністю 10 та 15 Вт зі світловіддачею від 105 до 160 лм/Вт.

Ключові слова: об'ємний світлодіодний модуль, світлодіодна лампа, конструктивно-технологічні рішення.

DOI: 10.15222/TKEA2016.6.03
UDC 628.9.041

¹V. M. BORSHCHOV, ¹O. M. LISTRATENKO,
¹M. A. PROTSENKO, ¹I. T. TYMCHUK, ¹G. I. NIKITSKIY,
¹O. O. FOMIN, ²L. A. NAZARENKO, ³V. M. SOROKIN,
³A. V. RYBALOCHKA, ³O. S. OLEINIK

Ukraine, Kharkiv ¹LED Technologies of Ukraine», Ltd,
²O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv,
Kyiv, ³V.E. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics NAS of Ukraine

THE NEW DESIGN AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR THE LED MODULES FOR RETROFIT LAMPS

The authors propose fundamentally new design-technological solutions for compact volumetric mirrorized LED modules with increased power. Test samples of volumetric light-effective LED light effective modules with a power of 10–15 W and light output of 105–160 lm/W for domestic retrofit lamps based on high-efficiency SMD, mini COB, and COB LEDs of third generation were manufactured and tested.

Positive technical and practical results were obtained by increasing by over 4–6 times the size of holders – heat sinks (compared to LED modules of flat holders) for heat dissipation from the LEDs by conduction and heat radiation, as well as by increasing light efficiency of LED lamps due to the additional light re-reflection by mirrorized reflectors-radiators in the bulb which is diffuser of the lamp light.

Key words: volumetric LED module, LED lamp, design-technology solutions.

REFERENCES

1. Sorokin V. M. [LED lighting. Problems. Solutions. Prospects]. *Promislova elektroenergetika ta elektrotehnika*, 2014, vol. 5 (89), pp. 28-38. (Rus)
2. Naumova A.N., Nikolaenko Yu. E., Kravets V.Yu., Sorokin V.M., Olejnik A.S. [Cooling LED module using various heat sinks]. *Tekhnologiya i konstruirovaniye v elektronnoy apparature*, 2015, no 5-6, pp. 35-40. <http://dx.doi.org/10.15222/TKEA2015.5-6.35> (Rus)
3. Lozovoy M.A., Nikolaenko J.E., Rassamakin B.M., Hayrnasov S.M. Study the performance of heat pipes for LED lighting // *Tekhnologiya i konstruirovaniye v elektronnoy apparature*, 2014, no 5-6, pp. 32-38. <http://dx.doi.org/10.15222/TKEA2014.2.32> (Rus)
4. Kozak D.V., Nikolaenko Yu. E. The working characteristics of two-phase heat transfer devices for LED Modules // *Proceed. of 2016 IEEE International Conference on Electronics and Information Technology (EIT'16)*, Ukraine, Odessa, 2016, pp. 10-13. <http://dx.doi.org/10.1109/ICEAIT.2016.7500980>
5. Zubikov A. [The global market for light engineering. Study regions: the USA, Latin America, China, India, Western Europe, Russia]. *Svetovye tekhnologii*, November 2014, <http://ltcompany.com/media/uploads/2015/05/08/2014-11122014-11-14-3.pdf> (Rus)
6. Sysun V. V. [Status of development of compact LED emitters and lamps with remote luminophore]. *Poluprovodnikovaya svetotekhnika*, 2013, vol. 6, pp. 39–48. (Rus)
7. Antipin S., Korolev G. [LED matrix against single LEDs]. *Poluprovodnikovaya svetotekhnika*, 2011, vol. 5, pp 52-57. (Rus)
8. Gluhov A. [Construction of LED lamps for direct replacement of incandescent general purpose lighting]. *Poluprovodnikovaya svetotekhnika*, 2011, vol. 2, pp. 45-48. (Rus)
9. Borshchov V. N., Listratenko O. M., Antonova V. A., Kostyshin Ya. Ya., Tymchuk I. T., Protsenko M. A., Kolosov M. I., Nikitskiy G. I., Nazarenko L. A. [Domestic multichip modules and high-power LED lamps on their basis]. *Svitlotekhnika ta elektroenergetika*, 2011, vol. 3, pp. 4-12. (Ukr)
10. Nikitskiy G. I., Borshchev V. N., Listratenko O. M., Sorokin V. M. et al. [Multi-chip LED module]. Ukr. Patent, no 94999.
11. Nikitskiy G. I., Borshchev V. N., Listratenko O. M., Sorokin V. M. et al. Multi-chip LED module. Ukr. Patent, 111099.
12. Nikitskiy G. I., Borshchev V. N., Listratenko O. M., Sorokin V. M. et al. [Lamp with volumetric LED module. Ukr. Patent for utility model], no 108776.
13. Nikitskiy G. I., Borshchev V. N., Listratenko O. M., Sorokin V. M. et al. [Lamp with volumetric LED module]. Application of Ukraine for invention no a 201601853.
14. [Summary test of LED lamps, 2016]. Access mode: <http://ichip.ru/svodnyjj-test-svetodiodnykh-lamp-2016/html> `1(Rus)