

УДК 628.9.041

В. Н. Борщов, докт. техн. наук,
А. М. Листратенко, канд. техн. наук,
В. А. Антонова, канд. техн. наук,
Я. Я. Костышин, И. Т. Тымчук,
М. А. Проценко
 Государственное предприятие
 Научно-исследовательский
 технологический институт
 приборостроения,
 Тел./факс: +38-057-733-06-62
 e-mail: borshchov@kharkov.ukrtel.net

Н. И. Колосов,
Г. И. Никитский
 ООО «Светодиодные технологии
 Украина»

Л. А. Назаренко, докт. техн. наук
 Харьковская национальная академия
 городского хозяйства

ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ МНОГОКРИСТАЛЬНЫЕ МОЩНЫЕ СВЕТОДИОДНЫЕ МОДУЛИ ДЛЯ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

В настоящее время все мировое сообщество является свидетелем стремительного прихода на смену традиционным источникам света светодиодных систем освещения. Тем не менее, светильники на светоизлучающих диодах (СИД), особенно мощные, являются довольно дорогими изделиями. Поэтому практически все разработчики светотехнических изделий занимаются упрощением конструктивных решений светодиодных осветительных систем и поиском способов сокращения расходов на их производство до такой степени, чтобы новые изделия перестали создавать впечатление элементов роскоши и превратились в такой же недорогой и массовый продукт, как «лампочка Ильича». [1]

По прогнозам Министерства энергетики США к 2015 г. стоимость производства осветительных систем на светоизлучающих диодах должна снизиться на 70% (рис.1). Основная доля этого снижения будет достигнута за счет уменьшения затрат на сборочно-монтажные операции. При сборке особо мощных многокристальных светодиодных модулей по технологии «Chip-on-Board» на высокотеплопроводных металлических платах стоимость производства будет снижена более чем в 7 раз [2]. Это направление развития светодиодной техники быстро набирает темпы во всем мире, следуя за ростом популярности изделий на их основе. Такие изделия выполняются на базе стандартных корпусов для различных вариантов конструктивного использования и монтажа и представляют собой компактные светодиодные многокристальные матрицы. Конструкция корпусов обеспечивает эффективный теплоотвод в широком диапазоне температур окружающей среды. Стандартные модули применяются при сборке нестандартных светильников, то есть везде, где без дополнительных затрат можно скомпоновать и разместить светодиодные

модули заданных размеров и форм как элементы светодиодных светильников. Но если стандартными формами трудно или невозможно обойтись, то тогда разрабатывается свой индивидуальный дизайн светодиодного модуля – технологичный и адаптированный под лучшие решения для системы освещения (светоотдача, кривая силы света, тепловые параметры, стоимость и т.п.) [3], [4].

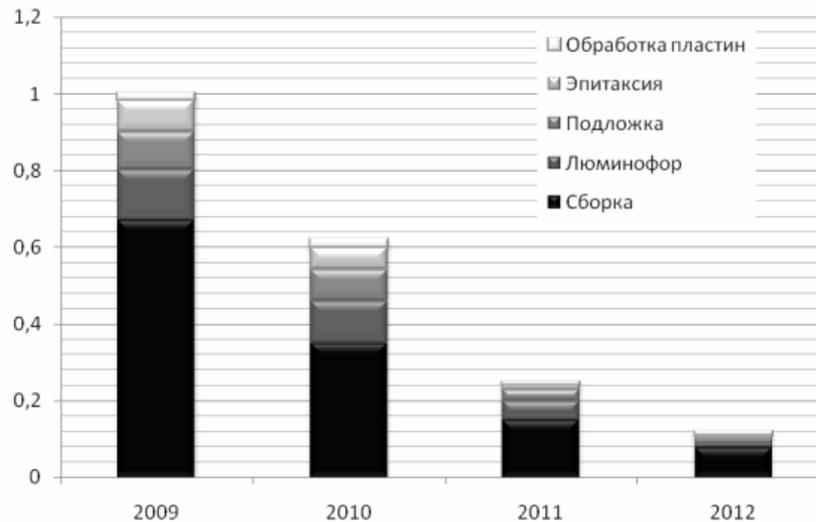


Рис. 1. - Прогнозируемая стоимость корпусированных СИД и потенциал ее снижения.
Источник: DOE Manufacturing Workshop

Компания ООО «Светодиодные технологии Украина» (г. Харьков) с 2009 г. начала собственную разработку и производство систем освещения на сверхъярких мощных светодиодах. Сфера деятельности компании – разработка, производство и реализация светодиодных устройств освещения для различных областей применения: от общественных и офисных зданий, объектов жилищно-коммунального хозяйства до автомагистралей и промышленных объектов. Тщательно изучив наиболее прогрессивные конструктивно- технологические решения и инновационные подходы в разработке и изготовлении осветительных систем на светодиодных модулях ведущих разработчиков и изготовителей Украины, ООО «Светодиодные технологии Украина» (сокр. ООО «СТУ») за основу своей стратегии создания мощных отечественных конкурентоспособных светодиодных модулей и светодиодных осветительных систем на их основе выбрало инновационные разработки Государственного предприятия Научно-исследовательский технологический институт приборостроения (ГП НИТИП), г. Харьков. В результате сотрудничества с ГП НИТИП разработаны гибко-жесткие светодиодные сверхъяркие модули белого цвета свечения мощностью от 50 до 200 Вт. Были изготовлены и испытаны прототипы светодиодных модулей мощностью 50 Вт со световым потоком более 4000 лм в номинальном токовом режиме (350 мА). Эти разработки содержат новейшие технологии, аналогов которым нет не только в России и Европейском Союзе, но и в мире. В них использованы инновационные технологии, в том числе самая современная и прогрессивная технология сборки «кристалл на гибкой плате» или «Chip-on-Flex» (COF–технология сборки) [5], которая защищена авторским правом Украины №15115 и патентами Украины на изобретение №83968 и №85333 [6], [7].

ГП НИТИП входит в структуру Государственного космического агентства Украины и специализируется в области техники космического и радиационного приборостроения, космического материаловедения, а также разработки и изготовления

солнечных модулей и батарей космического и наземного назначения. В течение последних десяти лет институт принимал участие в подготовке международного эксперимента ALICE (CERN, Швейцария) на базе самого большого в мире ускорителя – Большого Адронного Коллайдера. В частности, для эксперимента были разработаны, спроектированы и изготовлены на уровне лучших мировых достижений, а в некоторых случаях и выше, микростриповые и дрейфовые детекторные модули с использованием усовершенствованной мультичиповой технологии сборки на основе гибких безадгезивных алюминий-полиимидных плат и автоматизированных процессов ультразвуковой сварки плоских алюминиевых выводов. В период с 2004 г. по 2010 г. ГП НИТИП впервые в Украине разработал и изготовил летные комплекты солнечных батарей на арсенид-галлиевых солнечных элементах для первого египетского космического аппарата EgyptSat-1, который был успешно запущен в 2006 г., а также для украинского космического аппарата Січ-2, который так же был успешно выведен на орбиту Земли в 2011 г.

Практически все разработанные инновационные технологии изготовления светодиодных модулей характеризуются общими концептуальными подходами, заключающимися в применении:

- бескорпусной полупроводниковой элементной базы, в том числе на монокристаллическом кремнии и полупроводниковых материалах АПВV;
- плоских одно- и многослойных гибких и гибко-жестких коммутационных плат, кабелей микросхем и соединительных кабелей;
- конструктивно-технологических решений сборочных узлов, позволяющих использовать трехмерную компоновку с улучшенными массогабаритными и тепловыми параметрами;
- коррозионно-устойчивых и радиационно-стойких материалов, дающих возможность работать в широких температурных диапазонах, а также при термоциклических воздействиях;
- автоматизации основных производственных процессов.

Эти технологии позволили впервые в Украине изготовить сборочные узлы гибко-жестких мощных многокристалльных светодиодных модулей с использованием импортных бескорпусных мощных светодиодных кристаллов высокого качества. Инновационные подходы при создании светодиодных модулей с помощью COF-технологии сборки с применением автоматизированных процессов ультразвуковой точечной сварки и процессов поверхностного монтажа на специально разработанной плате на основе металлической подложки, фольгированной алюминием, обеспечили возможность создания отечественных конкурентоспособных светодиодных осветительных систем широкого применения.

Разработанная COF-технология сборки светодиодных модулей имеет несколько KNOW-HOW, позволяющих реализовать эффективный отвод тепла от кристаллов светодиодов (рис. 2). Согласование межсоединений материалов с различными температурными коэффициентами линейного расширения, устойчивость светодиодных модулей к воздействию большого количества термоциклов (включений-выключений светодиодов) обеспечивают увеличение срока эксплуатации, а применение силиконовых герметизирующих компаундов обеспечивает долговременную стабильность и устойчивость к внешним воздействиям. При этом затраты на изготовление плат на металлических подложках, фольгированных алюминием, могут быть уменьшены в несколько раз по сравнению с импортными аналогами за счет существенно более низкой стоимости применяемых диэлектрических и электропроводящих теплопроводящих клеев собственной разработки. В то же время

применение недорогих, но надежных светодиодных кристаллов позволяет снизить затраты на изготовление светодиодных модулей почти в два раза.

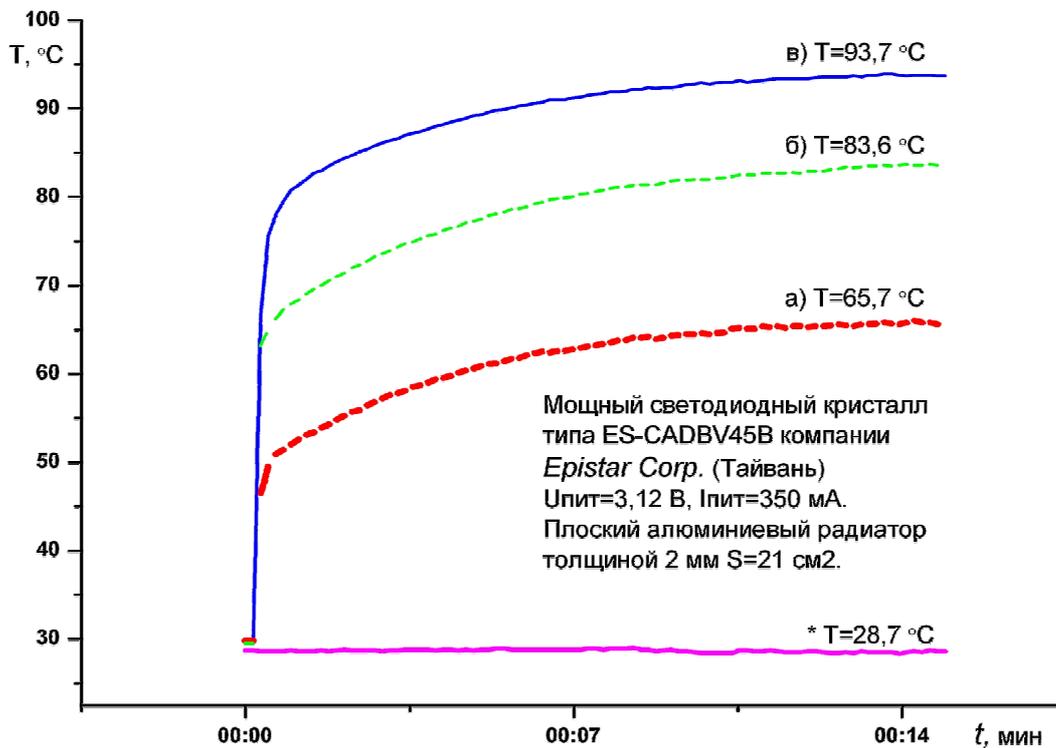


Рис. 2. - Зависимость температуры на фронтальной поверхности кристалла для различных вариантов технологии изготовления светодиодных модулей
а) COF– технология сборки (KNOW HOW №1)
б) COF – технология сборки (KNOW HOW №2)
в) COB – технология сборки (аналог технологии компании GITIAN, Китай)
Примечание: *T-температура окружающей среды

Кроме того, разработанная в ГП НИТИП COF-технология сборки позволила применить гибкие платы с плоскими алюминиевыми выводами толщиной 30-50 мкм для последовательно-параллельной коммутации кристаллов в светодиодных модулях. По сравнению с широко распространенной в мире COB- технологией сборки «Chip-on-Board» (кристалл-на-плате), которая использует проволочный монтаж и встречается с существенной сложностью осуществления последовательно-параллельного соединения кристаллов на одном уровне, инновационная COF-технология сборки позволяет изготавливать такие сборочные узлы с помощью автоматизированных установок ультразвуковой сварки просто и эффективно.

На рис. 3 изображены электрические схемы светодиодных модулей мощностью 50 Вт GT-P50-50W компании GITIAN (Китай) и светодиодного модуля разработки ГП НИТИП.

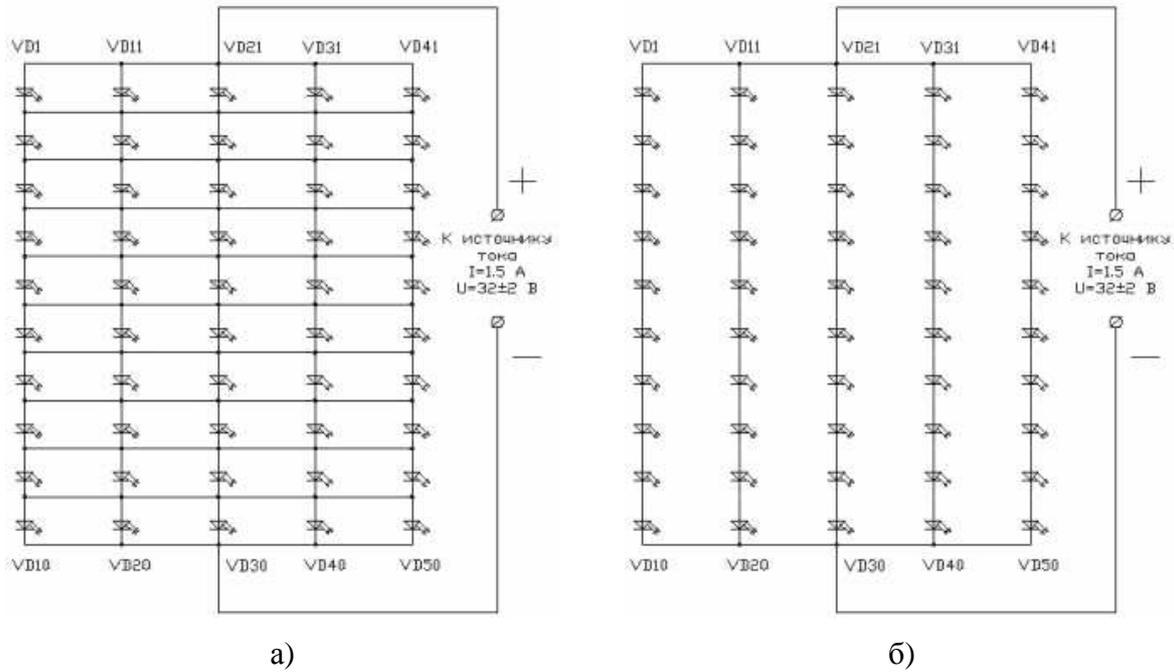


Рис.3. Принципиальные электрические схемы светодиодных модулей мощностью 50 Вт: а) – разработка ГП НИТИП, Украина; б) – разработка компании GITAN, Китай

На рис. 4 приведена фотографии гибкой платы и фрагмента гибкой платы с установленными на ней кристаллами светодиодов синего свечения типа VXSE4545445-F2-z компании Bridgelux Corporation (США), а на рис. 5 – собранный на их основе светодиодный модуль мощностью 50 Вт (ГП НИТИП). Ускоренные форсированные термоциклические испытания модулей подтвердили ожидаемый календарный срок службы более чем двенадцать лет или более 75000 часов срок эксплуатации в непрерывном рабочем режиме.

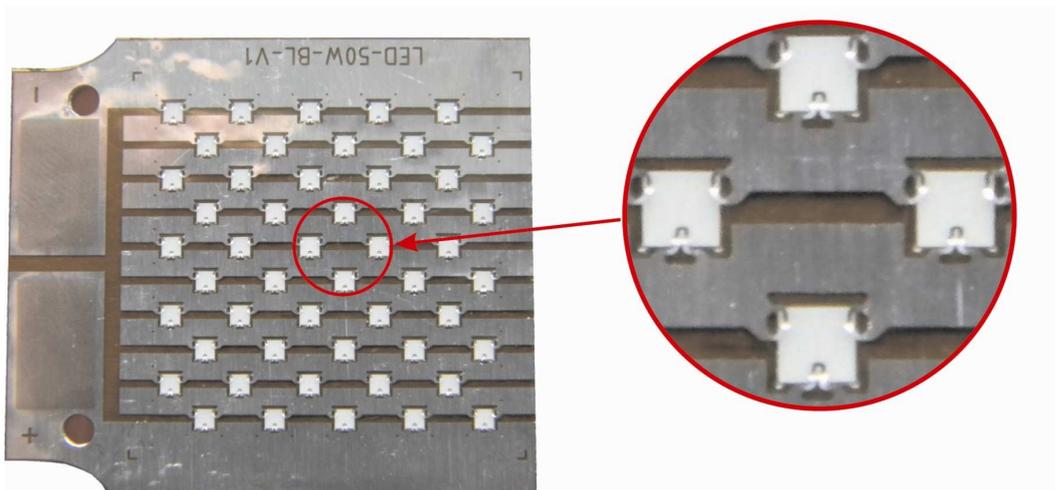


Рис. 4. - Фотография гибкой платы с установленными кристаллами



Рис. 5. - Фотография светодиодного модуля

Для питания светодиодных модулей компанией ООО «СТУ» была разработана, испытана и сертифицирована линейка драйверов мощностью от 8 до 300 Вт. Входная схема драйвера содержит PFC (корректор мощности), с помощью которого достигается коэффициент мощности (power factor) на уровне 0,95-0,97. Оригинальные схемотехнические решения позволили создать драйверы с реальным КПД = 88-90%. Диапазон входного напряжения драйверов от 160 до 240 В. Предусмотрена их защита от замыкания фазовых проводов (380 В на линии) – нередкое явление в воздушных линиях электропередач. Использование специально подобранной элементной базы позволило расширить рабочий температурный диапазон драйверов от -40 до +65 °С и обеспечить токовую стабилизацию. Драйверы конструктивно могут быть выполнены с различной степенью защиты от влаги. Коэффициент пульсаций выходного тока может быть реализован в диапазоне от 10 до 20 %.

Активная финансовая поддержка проводимых в ГП НИТИП работ со стороны ООО «СТУ» позволила сосредоточить значительные усилия не только на создании высокотехнологичных изделий, но и на поиске дополнительных ресурсов для существенного снижения затрат на их изготовление. Это обеспечило возможность производства светодиодных модулей не только для светильников «Ecomom» и «VIP» классов, но и конкурирующей с китайскими производителями массовой светодиодной продукции.

При серийном выпуске светодиодных осветительных систем на основе импортных комплектующих необходимо иметь устойчивые каналы их приобретения. Однако, работа с компаниями – мировыми брендами, такими как Cree Lighting (США), Nichia Corporation (Япония), Philips Lighting (Нидерланды), Osram Opto Semiconductors (Германия), Seoul Semiconductors Inc. (Корея), и др., которые наряду с поставками светодиодов и светодиодных многокристалльных модулей сами занимаются разработкой и изготовлением светодиодной техники и, следовательно, являются

потенциальными конкурентами на рынке Украины, не всегда эффективна. Такие компании всегда могут по конкурентным причинам в самый ответственный момент прекратить поставки, либо увеличить их стоимость. Таким образом, для успешной конкурентной работы на рынке светодиодной техники необходимо иметь независимые каналы поставки светодиодной элементной базы, желательно напрямую от производителя. Особенно это относится к поставщикам бескорпусных мощных светодиодных кристаллов. В настоящее время в Юго-Восточной Азии и в Китае появляются молодые энергичные компании, производящие светодиодные кристаллы, которые имеют достаточно хорошее качество и технические характеристики, не уступающие мировому уровню. При этом цены на их продукцию по сравнению с ценами известных мировых производителей могут быть в 2-3 раза ниже.

В табл. 1 приведен сравнительный анализ усредненных стоимостных показателей мощных светодиодных кристаллов синего цвета свечения известных компаний Epistar (Тайвань) и Bridgelux (США), а так же начинающих компаний Orion (Китай) и Lextar (Тайвань).

Таблица 1.

Стоимостные параметры кристаллов*

Компания-производитель кристаллов	Размеры кристалла, мкм×мкм	Стоимость кристалла, грн	Стоимость 1мм ² кристалла, грн
Bridgelux	1143×1143	3,75	2,88
Epistar	1143×1143	3,12	2,39
Lextar	956×965	1,87	2,01
Orion	956×965	1,25	1,34

* – Цены предоставлены менеджерами компаний-производителей кристаллов и соответствуют первой половине 2011 г.

В табл. 2 приведен сравнительный анализ усредненных стоимостных показателей мощных сверхъярких многокристалльных светодиодных модулей белого цвета свечения мощностью 50 Вт и их основные технические параметры некоторых китайских компаний, использующих различные типы светодиодных кристаллов.

Таблица 2.

Стоимостные параметры светодиодных модулей*

Компания-производитель модулей	Компания производитель кристаллов/размер кристалла, мкм×мкм	Светоотдача, лм/Вт	Стоимость модуля, грн/Вт
Shenzhen Torch	Epileds (США)/ 965×965	80-90	3,75
Zhongshan Shifei	Bridgelux (США)/ 1143×1143	≥100	5,62
Dpower	Bridgelux (США)/ 1143×1143	90-100	5,87
Gems	Bridgelux (США)/ 1143×1143	до 100	6,1

* – Цены предоставлены менеджерами компаний-производителей многокристалльных светодиодных модулей и соответствуют первой половине 2011 г.

Как следует из данных, представленных в табл.1 и табл.2 на рынке Украины стоимость китайских светодиодных модулей мощностью 50 Вт, в зависимости от

компаний-производителя и типа кристаллов после прохождения таможенных процедур и оплаты за доставку, может колебаться от 550 до 900 грн. Применение кристаллов компании Orion Corporation в пятидесятиватных светодиодных модулях ГП НИТИП, изготовленных по инновационной COF-технологии сборки, при программе выпуска до 5000 шт. в год, позволяет снизить стоимость модулей до коммерчески приемлемого уровня. Цена светодиодного модуля, показанного на рис.5, на настоящий момент предположительно составляет от 400 до 600 грн. в зависимости от стоимости применяемых материалов и KNOW HOW в процессе сборки. На наш взгляд, предложенный диапазон цен достаточно конкурентоспособен по сравнению со стоимостью продукции из Китая. Кроме того, при этом обеспечена высокая надежность и долговременная стабильность наших модулей, а также их технический ресурс: 75000÷100000 часов до перехода в предельное состояние (уменьшение светового потока на 30%).

Разработанная нами инновационная технология изготовления светодиодных модулей имеет возможность дальнейшего ее совершенствования с учетом постоянно обновляющейся номенклатуры светодиодных кристаллов с более высокими значениями световых потоков и световой эффективности. Тем не менее, перед нами стоит задача снизить все еще высокие расходы на изготовление светодиодных модулей и постепенно довести их до такого уровня, чтобы отечественные светодиодные системы стали для потребителя доступным массовым продуктом не только на рынке Украины, но и в СНГ, и Европейском Союзе.

Государственное предприятие Научно-исследовательский технологический институт приборостроения и ООО «Светодиодные технологии Украина» предлагают услуги по проектированию и изготовлению на заказ специализированных мощных и сверхмощных многокристалльных светодиодных модулей «Ecom» и «VIP» классов. В соответствии с требованиями заказчика многокристалльные модули могут адаптироваться по общей потребляемой мощности, рабочему току, рабочему напряжению и электрической схеме соединений кристаллов в диапазоне мощностей от 5 до 200 Вт и светового потока от 600 до 16000 лм, в том числе при высоких рабочих напряжениях. Инновационная запатентованная COF-технология сборки и “KNOW HOW” обеспечивают световую отдачу модулей до 100 лм/Вт и более [6]. Срок службы светодиодных модулей и их долговременная стабильность увеличены до 75000÷100000 часов за счет более эффективного рассеяния тепла. Все светодиодные модули могут быть изготовлены в диапазоне цветовых температур от 2700 до 6500 К в соответствии с рекомендациями ANSI NEMA C78.377-2008. При необходимости в светодиодные модули может быть интегрирована первичная оптика в виде металлических рефлекторов с различными диаграммами направленности и коэффициентом зеркального отражения до 95%.

Литература

1. Новиков А. Светодиодные лампы на пути к массовому рынку// Полупроводниковая светотехника. – 2010. - №6. – С. 4-8.
2. Паула Доу (Paula Doe). Как снизить стоимость светодиодных светотехнических устройств// Электронные компоненты Украины. – 2010. – № 5-6. – С. 4-8
3. Назаренко А.А., Литвиненко А.С., Полищук В.Н., Борщов В.Н., Листратенко А.М., Костышин Я.Я., Старченко А.П., Житный В.Н. Перспективы использования светодиодных источников света в коммунальном хозяйстве городов// Світлотехніка та електроенергетика. – 2009. - №3. – С. 9 – 15.
4. Загдай О. Энергоэффективность та енергозбереження – завтрашній день України. Отечественные конкурентоспособные светодиодных модули // Діловий вісник. Журнал торгово-промислової палати України. – 2011. – №6 (205). – С. 12-15.

5. Замирец Н.В., Борщов В.Н., Листратенко А.М., Антонова В.А., Семенов Л.П., Проценко М.А., Тимчук И.Т. Алюминиевая «Chip on flex» (COF) технология в радиационном приборостроении // Технология приборостроения.–2007.–№2.–С.3-9

6. Патент України на винахід № 83968 від 26.08.2008 р. «Спосіб виготовлення гнучкого світлодіодного модуля».

7. Патент України на винахід № 85333 від 12.01.2009 р. «Спосіб виготовлення гнучкого модуля сонячної батареї».

ВІТЧИЗНЯНІ БАГАТОКРИСТАЛЬНІ ПОТУЖНІ СВІТЛОДІОДНІ МОДУЛІ ДЛЯ ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ

В. Н. Борщов, О. М. Лістратенко, В. А. Антонова, Я. Я. Костишин, І. Т. Тимчук, .
М. А. Проценко, М. І. Колосов, Г. І. Нікітський, Л. А. Назаренко.

В роботі розглядаються техніко-економічні аспекти розробки та виробництва вітчизняних багатокристалльних потужних та надпотужних світлодіодних модулів у діапазоні потужностей від 5 до 200 Вт. Вперше в Україні виготовлені інноваційні модулі з покращеними тепловими параметрами, що призначені для інтеграції у світлодіодні світильники та прилади широкого вжитку.

DOMESTIC MULTICHIP HIGH-POWERFUL LED MODULES FOR THE LIGHTING SYSTEMS

V. Borshchov, O. Listratenko, V. Antonova, Ya. Kostyshyn, I. Tymchuk, M. Protsenko,
M. Kolosov, G. Nikitskiy, L. Nazarenko

Technical and economic aspects of development and manufacture of domestic multichip high-power and extra-super-power LED modules in a power range from 5 up to 200 W are considered in paper. First time in Ukraine an innovative modules with an improved thermal parameters intended for integration into LED lighter and wide application devices are made.