

Юрий Петропавловский

Светодиодные продукты и технологии компании Bridgelux



Вridgelux Inc. (г. Ливермор, Калифорния, США) является одним из ведущих разработчиков и производителей светодиодных кристаллов и матриц (массивов) — компания выпускает более 45 млн чипов в месяц. Фирма была основана доктором Хэн Лю (Heng Liu, рис. 1) в 2002 г. в г. Саннивейл (Калифорния, США) и первоначально имела название eLite Optoelectronics. До этого времени Хэн Лю работал над созданием первого GaN MOCVD-реактора в компании Emcore, внес большой вклад в развитие технологий синих светодиодов компании Hewlett-Packard, внедренных затем в производство совместного предприятия Philips Lumileds Lightning, образованного компаниями Philips и Agilent Technologies (в настоящее время Lumileds Holding B.V.) [1].

Современное название Bridgelux носит после получения в 2006 г. венчурного капитала (\$8,5 млн) от компаний Capital Management, El Dorado Ventures и Harris & Harris Group. Финансирование было направлено на усиление исследований в области светодиодных технологий, создание новой штаб-квартиры и центра разработок в г. Ливермор [2].



Рис. 1. Доктор Хэн Лю



Рис. 2. Доктор Дэвид Бур

В том же 2006 г. на должность главного научного руководителя (Chief Scientist) компании был назначен доктор Дэвид Бур (Dr. Dave Bour, рис. 2). Дэвид Бур в течение более 20 лет работал в области технологий синие-зеленых светодиодов и лазерных диодов на основе нитрида галлия [3].

В коллективе разработчиков Bridgelux работали и работают многие другие известные специалисты в области полупроводниковой светотехники, в том числе: доктор Гулам Хаснайн (Ghulam Hasnain), ранее вице-президент Advanced Technology/LuxNet corporation; доктор Джефф Рамер (Dr. Jeff Ramer), внесший значительный вклад в разработку GaN MOCVD-реакторов компаний Emcore/Veeco; доктор Стив Лестер (Steve Lester), разработчик одних из первых InGaN-светодиодов компаний Hewlett-Packard/Agilent Technologies [4].

В 2012 г. компании Bridgelux и Toshiba заключили соглашение о сотрудничестве и совместной разработке инновационных технологий выращивания нитрида галлия на кремниевой подложке (GaN-on-Si) с целью создания осветительных светодиодов с параметрами мирового класса и их массового производства. Совместная деятельность в этом направлении привела к успешному созданию 8" GaN-on-Si полупроводниковых пластин для белых светодиодов мирового уровня. Применение разработанной технологии позволило снизить стоимость светодиодных чипов на 70–75% по сравнению с кристаллами, выращенными на основе сапфира или карбида кремния. В 2013 г. Bridgelux передала Toshiba технологию производства кристаллов GaN-on-Si и связанные с ней активы, а японская компания (Kaga Toshiba Electronics Co. Ltd.) начала массовое производство белых светодиодов, выполненных по новой технологии, на своем заводе в г. Кага (префектура Исикава) [5].

В последнее время компания активно расширяет свое присутствие в КНР. В 2014 г. в сотрудничестве с китайской компанией Kaistar Lighting Co., Ltd. открыт центр разработок в г. Сямынь. Центр обеспечивает поддержку разработок и производства новых приборов для твердотельного освещения (SSL), в том числе линейки «чипов-на-плате» (COB) Bridgelux V SERIES [6].

В июле 2015 г. был дан старт сделке по приобретению компании Bridgelux

группой инвесторов во главе с China Electronics Corporation (CEC) и ChongQing Linkong Development Investment Company. CEC, основанная в 1989 г., является одной из крупнейших китайских ИТ-корпораций, контролирующей более шести десятков дочерних компаний и имеющей производственные мощности в Пекине, Шанхае, Шеньчжэне, Нанкине, Сямыне и других городах и районах КНР. После закрытия сделки Bridgelux станет дочерней компанией CEC, но будет работать в обычном режиме с прежним руководством и командой разработчиков [7].

Также в июле 2015 г. Bridgelux объявила о выделении бизнеса «интеллектуального» светодиодного освещения (LED Smart-Lighting Business) в отдельную компанию Xenio Corporation со штаб-квартирой в Сан-Франциско. Новая компания будет осуществлять разработку программных платформ поддержки светодиодных модулей для быстроразвивающегося рынка «Интернета вещей» (IoT) и «умных домов» в партнерстве с Bridgelux, Toshiba, DCM Ventures и др. [8].

Bridgelux является членом ряда промышленных альянсов и ассоциаций, в том числе: LIRC (Lighting Industry Resource Council — Совет по ресурсам в индустрии освещения), ASSIST (Alliance for Solid-State Illumination System and Technologies — Альянс полупроводниковых систем и технологий освещения), CSA (China Solid State Lighting Alliance — Китайский альянс твердотельного освещения), ASSIL (National Association Lighting Manufacturer — Национальная ассоциация производителей освещения) [9].

Продукцию компании в России представляют дистрибьюторы электронных компонентов Digi-Key, EBV Elektronik, Farnell и другие, а также «MT-Систем» (Санкт-Петербург) и «КТЛ» (Зеленоград).

«КТЛ» использует кристаллы Bridgelux в своих светодиодах средней и большой мощности. Светодиодная продукция «КТЛ» известна в России и СНГ с 1992 г., с 2005 г. приоритетным направлением ее деятельности стало производство сверхъярких светодиодов и матриц. С 2012 г. «КТЛ» перешла на новые технологии производства целого ряда оптоэлектронных компонентов и светодиодных осветительных приборов, позволяющих снизить стоимость систем светодиодного освещения до уровня цен люминесцентного [10].

Bridgelux выпускает широкий спектр продуктов, предназначенных для применения в системах наружного и внутреннего светодиодного освещения (SSL), в том числе для освещения магазинов и учреждений здравоохранения, офисов и учебных заведений, музеев, промышленных объектов, парков, дорог, подсветки зданий, ландшафтов и архитектурной подсветки. В ассортименте компании представлены как светодиодные кристаллы и корпусированные светодиоды, так и светодиодные модули на платах (COB) и готовые компоненты для осветительных приборов. Рассмотрим серии светодиодных продуктов, представленные в каталоге 2016 г. [11].

Светодиодные модули серии OLM

Серия светодиодных модулей для систем наружного освещения OLM (рис. 3) является одной из последних разработок компании. Приборы предназначены для замены натриевых ламп высокого давления (HPS) в уличных светильниках. Применение модулей открывает новый способ их реализации, заключающийся в объединении оптики с защитой от воздействий окружающей среды с мощными светодиодными излучателями.



Рис. 3. Модули OLM

Продуктовая линейка серии охватывает несколько исполнений модулей, отличающихся набором основных параметров, таких как цветовая температура, индекс цветопередачи, световой поток, эффективность, а также оптические характеристики направленности. При монтаже модулей не требуются пайка и использование эпоксидных смол: установка в светильники осуществляется с помощью четырех винтов. Это обеспечивает большую гибкость при разработке различных систем наружного освещения. Причем модули могут использоваться не только в уличных светильниках, но и практически в любых осветительных приборах, работающих на открытом воздухе в широком диапазоне температур.

Модули OLM отличаются высокими световой эффективностью (90–118 лм/Вт) и световым потоком (2100–4500 лм), цветовая температура 4000–5600 К. При

этом, в сравнении с лампами HPS, обеспечивается высокое качество освещения (CRI = 70–80). Длительный срок службы модулей в жестких условиях наружного освещения (степень защиты IP66) подтверждается пятилетней заводской гарантией, классификационные параметры модулей приведены в таблице 1.

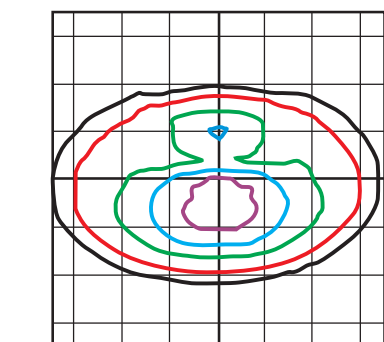
В наименованиях модулей (xx-xx в графе «Тип модуля») также обозначены оптические характеристики модулей — ориентация направления излучения (асимметричная и симметричная) и форма светового пятна (Optical Pattern). В серии

предусмотрено пять асимметричных исполнений, соответствующих классификациям IES, NEMA, EN13-201. На рис. 4 показаны примеры фотометрических характеристик асимметричных исполнений модулей и их реализация в уличном освещении.

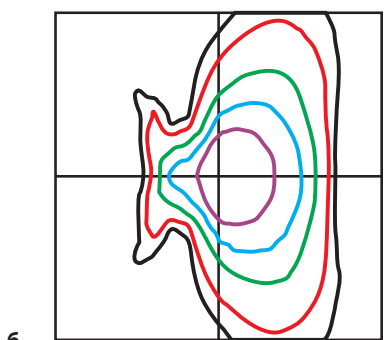
Модули могут работать при максимальной температуре корпуса +70 °С, конструкция приборов допускает непосредственное крепление радиаторов охлаждения к оборотной стороне корпуса винтами со стандартной резьбой М4, зона для крепления радиаторов показана

Таблица 1. Характеристики модулей серии OLM

Тип модуля	T _{цв} , К	CRI	I _{пр} , мА	U _{пр} , В	φ _в , лм	P, Вт	Эффективность, лм/Вт
OLMA-50C-xx-xx	5000	70	350	53	2144	18,6	115
			500	55,3	2932	27,6	105
			700	58	3894	40,6	96
OLMA-40E-xx-xx	4000	80	350	53	2022	18,6	109
			500	55,3	2765	27,6	100
			700	58	3665	40,6	90
OLMA-40C-xx-xx	4000	70	350	53	2115	53	114
			500	55,3	2892	55,3	105
			700	58	3833	58	94
OLMA-56C-xx-xx	5600	70	350	53	2196	18,6	118
			500	55,3	3005	27,6	109
			700	58	3987	40,6	98



а



б



Рис. 4. а, б) Фотометрические характеристики асимметричных исполнений модулей OLM; в) вариант реализации

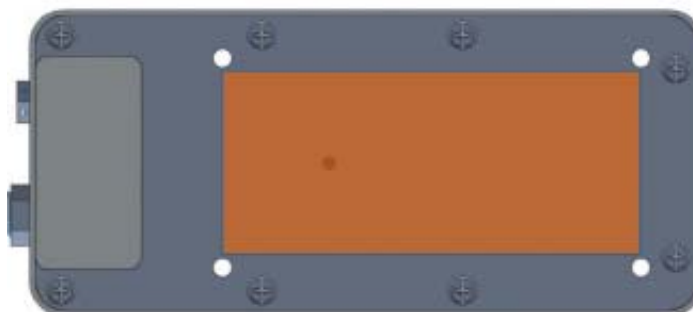


Рис. 5. Зона крепления теплоотвода модулей OLM

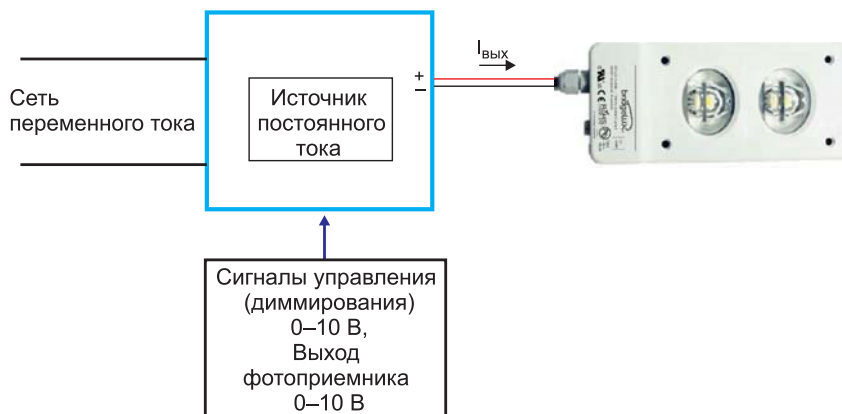


Рис. 6. Схема управления модулями OLM

на рис. 5 (габариты корпуса модулей 164×73 мм). Регулировка уровня светового потока модулей осуществляется управляемыми драйверами (рис. 6), возможны варианты управления (или диммирования) внешним сигналом и автоматическое управление, определяемое датчиком уровня местной освещенности.

Светодиодные матрицы Vero

Флагманская линейка светодиодных матриц высокой яркости Vero выпускается в четырех конструктивных исполнениях — Vero 10/13/18/29 Array Series (рис. 7). В каждом исполнении представлено несколько типов матриц с цветовыми температурами 2700–5000 К и световым потоком 480–19 400 лм. Приборы линейки отличаются высокой световой эффективностью (100–130 лм/Вт при $T_{корп.} = +85\text{ }^\circ\text{C}$), высоким качеством белого света (CRI = 80–90) и его однородностью: приборы с $T_{цв} = 2700\text{--}4000\text{ К}$ классифицируются по двух- и трехступенчатым эллипсам Мак-Адама. Высокая надежность приборов подтверждается десятилетней заводской гарантией, причем максимальная температура кристаллов матриц +150 °С, корпуса — +105 °С.

Классификационные параметры приборов при температуре корпуса +85 °С приведены в таблице 2 (по спецификациям 2015 г.). Компания допускает работу матриц с превышением номинального прямого тока до двух раз. На рис. 8 приведена зависимость светового потока Vero 29 от рабочего тока, для других моделей зависимости аналогичны. При уменьшении тока световая эффективность матриц увеличивается, например самые мощные приборы Vero 29 при токе 500–1000 мА обеспечивают световую эффективность до 180–166 лм/Вт соответственно (исполнение BXRХ-50С10К0-L24), причем рассеиваемая на приборе мощность и температура его корпуса в этом случае уменьшаются.

Устройство матриц на примере серии Vero 29 приведено на рис. 9, электрическое подключение приборов возможно как при помощи пайки (рис. 10), так и через распространенные разъемы Molex PicoEZmate Harness с отрезками проводников (рис. 11, поставляются отдельно). Сборка осветительных приборов при использовании таких соединителей упрощена. Для

Т а б л и ц а 2. Классификационные параметры приборов при температуре корпуса +85 °С

Тип матрицы	$T_{цв}$, К	CRI	φ, мм	Эффективность, лм/Вт
Vero 10 Array Series				
$I_{np} = 350\text{ мА}, U_{np} = 25,7\text{ В}, P = 9\text{ Вт}$				
BXRC-27E1000-B-2X	2700	80	1022	114
BXRC-27G1000-B-2X		90	858	96
BXRC-30E1000-B-2X	3000	80	1073	120
BXRC-30G1000-B-2X		90	891	99
BXRC-35E1000-B-2X	3500	80	1074	120
BXRC-35G1000-B-2X		90	932	104
BXRC-40E1000-B-2X	4000	80	1128	126
BXRC-40G1000-B-2X		90	953	106
BXRC-50C1000-B-24	5000	70	1169	130
BXRC-50E1000-B-24		80	1120	125
BXRC-50G1000-B-24		90	972	108
Vero 13 Array Series				
$I_{np} = 500\text{ мА}, U_{np} = 31,3\text{ В}, P = 15,6\text{ Вт}$				
BXRC-27E2000-C-2X	2700	80	1849	118
BXRC-27G2000-C-2X		90	1478	95
BXRC-30E2000-C-2X	3000	80	1910	122
BXRC-30G2000-C-2X		90	1549	99
BXRC-35E2000-C-2X	3500	80	1947	124
BXRC-35G2000-C-2X		90	1620	104
BXRC-40E2000-C-2X	4000	80	1996	138
BXRC-40G2000-C-2X		90	1678	107
BXRC-50C2000-C-24	5000	70	2061	132
BXRC-50E2000-C-24		80	1976	126
BXRC-50G2000-C-24		90	1773	113
Vero 18 Array Series				
$I_{np} = 1050\text{ мА}, U_{np} = 28,6\text{ В}, P = 30\text{ Вт}$				
BXRC-27E4000-F-2X	2700	80	3512	117
BXRC-27G4000-F-2X		90	2834	94
BXRC-30E4000-F-2X	3000	80	3662	122
BXRC-30G4000-F-2X		90	2971	99
BXRC-35E4000-F-2X	3500	80	3770	126
BXRC-35G4000-F-2X		90	3216	107
BXRC-40E4000-F-2X	4000	80	3833	128
BXRC-40G4000-F-2X		90	3230	108
BXRC-50C4000-F-24	5000	70	3952	132
BXRC-50E4000-F-24		80	3762	126
Vero 29 Array Series				
$I_{np} = 2,1\text{ А}, U_{np} = 36,8\text{ В}, P = 77,3\text{ Вт}$				
BXRC-27E10K0-L-2X	2700	80	8855	115
BXRC-27G10K0-L-2X		90	7303	95
BXRC-30E10K0-L-2X	3000	80	9509	123
BXRC-30G10K0-L-2X		90	7654	99
BXRC-35E10K0-L-2X	3500	80	9597	124
BXRC-35G10K0-L-2X		90	8146	105
BXRC-40E10K0-L-2X	4000	80	9820	127
BXRC-40G10K0-L-2X		90	8285	107
BXRC-50C10K0-L-24	5000	70	10182	132
BXRC-50E10K0-L-24		80	9691	125
BXRC-50G10K0-L-24		90	8809	114



Рис. 7. Линейка матриц Vero

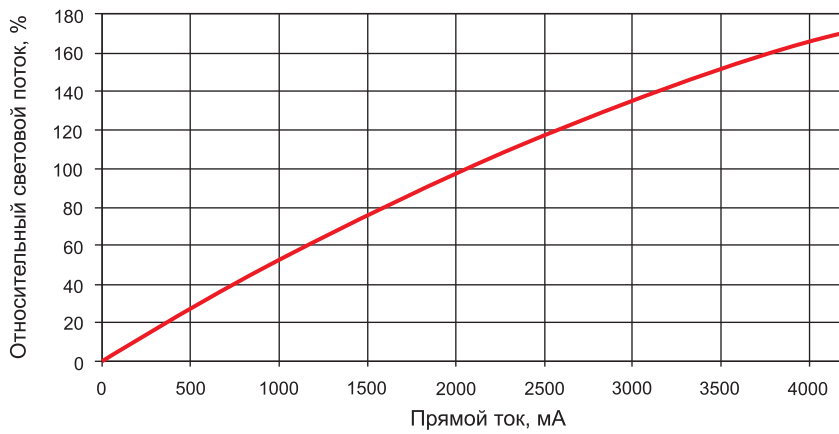


Рис. 8. Зависимость относительного светового потока матриц Vero 29 от прямого тока

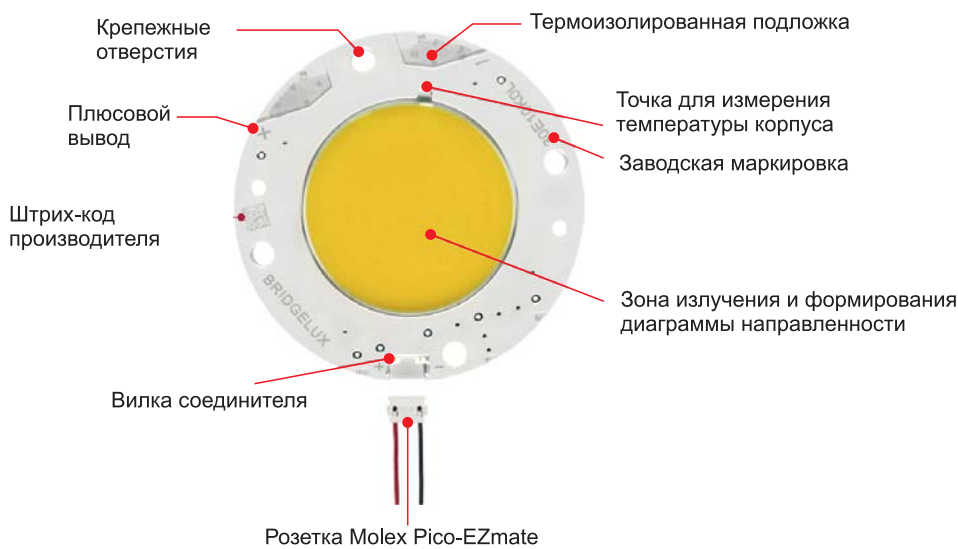


Рис. 9. Устройство матриц Vero



Рис. 10. Пайка проводников



Рис. 11. Розетка соединителя Molex Pico-EZmate

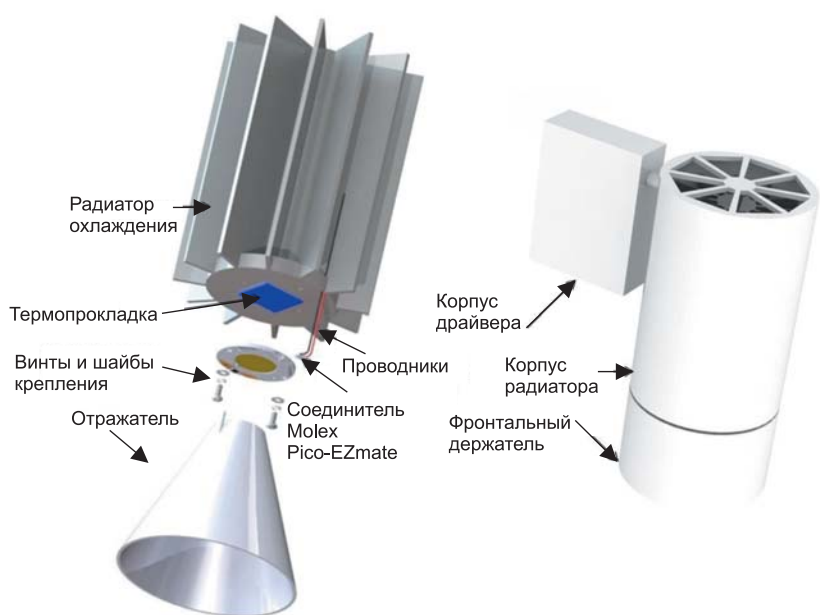


Рис. 12. Устройство светильника

примера на рис. 12 показано устройство настенного светильника, сборка оптической части которого осуществляется при помощи двух винтов.

Светодиодные матрицы Décor Series

Приборы данной линейки выполнены в таких же конструктивах, что и матрицы Vero, их отличия касаются, в основном, оптических характеристик:

- повышено качество белого света исполнений с цветовой температурой 2700–3000 К (CRI не менее 97);
- добавлены исполнения с $T_{\text{цв}} = 1750/2500/5600$ К (CRI = 80), нет исполнений с $T_{\text{цв}} = 5000$ К;
- добавлены исполнения с $T_{\text{цв}} = 3300/3500/4000$ К, CRI = 93 и GAI = 80.

В серии Décor Series выпускаются четыре группы приборов: Ultra, Food, Specialty, Class A.

Матрицы группы Ultra обеспечивают высококачественный белый свет с высокой однородностью и естественной цветопередачей. Компания позиционирует приборы этой группы для применения в системах освещения магазинов класса «люкс» и крупных музеев. В группу входят шесть приборов, соответствующих типоразмерам Vero 10/13/18, с цветовой температурой 2700/3000 К и индексом цветопередачи R_a не менее 97. При этом из всех специальных индексов цветопередачи (R_1-R_{15}) только два имеют значения около 90 ($R_{11} = 92$, $R_{12} = 87$), все остальные специальные

индексы не менее 96 ($R_9 = 98, R_{15} = 98$). При прямом токе 350/500/1050 мА и температуре корпуса +85 °С матрицы обеспечивают световой поток 632–2288 лм, однако, по сравнению с матрицами Vero, они характеризуются меньшей световой эффективностью: 69–76 лм/Вт.

Приборы группы Food обеспечивают цветовую температуру 1750 и 2500 К, а их целевое назначение — системы специального (акцентированного) освещения мясных и хлебобулочных изделий, бакалейных товаров, а также специальное освещение в ресторанной индустрии и религиозных учреждениях (свет «пламени свечи»). Группа представлена четырьмя видами приборов с типоразмерами Vero 18/29, обеспечивающих световой поток 2002/3243/4803/8047 лм ($I_{пр} = 1050\text{--}2100$ мА). Типовая эффективность матриц 62–66 лм/Вт ($T_{цв} = 1750$ К), 104–107 лм/Вт (2500 К), индекс цветопередачи CRI = 80–90.

Для применения в учреждениях здравоохранения и индустрии развлечений компания разработала приборы группы Specialty, обеспечивающие цветовую температуру 5600 К в сочетании с высоким индексом цветопередачи (CRI = 90). В группе представлено два типа матриц типоразмеров Vero18/29 со световым потоком 3407 и 8839 лм ($I_{пр} = 1050/2100$ мА), световая эффективность матриц 113/114 лм/Вт при $T_{корп.} = +85$ °С.

Высококачественный белый свет обеспечивают и матрицы группы Class A, предназначенные для тех же областей применения, что и приборы группы Ultra. Для характеристики качества белого света приборов этой группы, наряду с индексом цветопередачи CRI, приведены и индексы охвата цветового пространства GAI (Gamut Area Index). Этот параметр характеризует верность цветов с точки зрения их плотности и обычно рассчитывается как площадь многоугольников, вершины которых определяются цветностью восьми образцов цвета R1–R8, используемых для расчета CRI, как показано на рис. 13. На рис. 14 приведены диаграммы GAI некоторых источников света.

Матрицы Décor Series Class A компания Bridgelux впервые продемонстрировала на международной выставке освещения в Гонконге в 2014 г. Разработка приборов этой серии была направлена на новый, «ориентированный на человека» (“Human-centric”) подход к освещению, предполагающий использование GAI как показатель

качества освещения. Исследования и разработки в этом направлении проводились исследовательским центром по освещению (Lighting Research Center, LRC) Политехнического института Ренсселера (г. Трой, шт. Нью-Йорк) и Альянсом твердотельных технологий и систем освещения (ASSIST) с 2002 г. На основе этих исследований Bridgelux и разработала матрицы Class A, массовое производство которых началось в ноябре 2014 г. [12].

Оптимальные характеристики освещения по критерию его наилучшего восприятия человеком реализуются при следующих, по мнению фирмы, параметрах светодиодов: $T_{цв} = 3000\text{--}4000$ К, CRI = 93, GAI = 80, что и реализовано в приборах группы Class A. В группу входят 12 типов матриц, выполненных в конструктивах Vero 10/13/18/29 с $T_{цв} = 3000/3500/4000$ К.

При температуре корпуса +85 °С приборы обеспечивают световой поток 752–888 лм ($I_{пр} = 350$ мА), 1377–1597 лм (500 мА), 2638–3120 лм (1050 мА), 6886–7977 лм (2100 мА). Световая эффективность приборов находится в пределах 83–103 лм/Вт.

Светодиодные матрицы V Series

Данная линейка светодиодных матриц является бюджетным вариантом приборов Vero с меньшим сроком заводской гарантии (5 лет) и предназначена для применения в бытовых и коммерческих приложениях, для которых важна стоимость систем освещения. В линейку входят шесть групп матриц с $T_{цв} = 2700\text{--}5000$ К различных типоразмеров (V6, V8, V10, V13, V15, V18) по 10–20 наименований в каждом. Цифры типоразмеров соответствуют диаметру

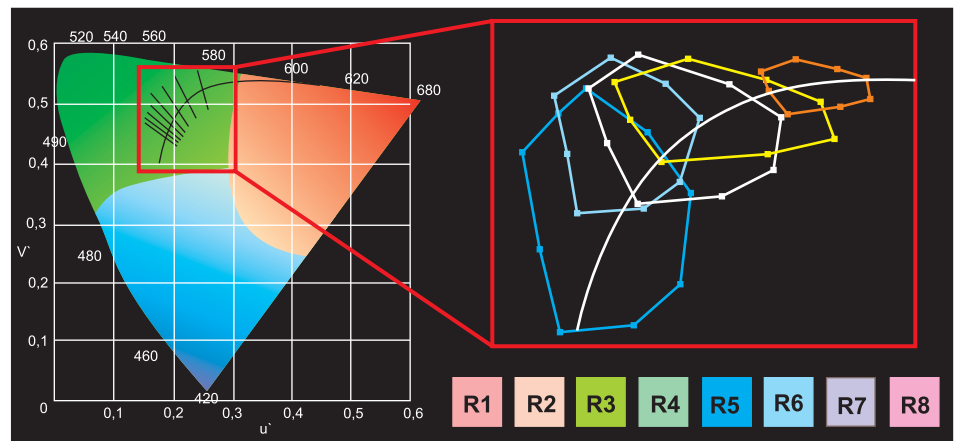


Рис. 13. Диаграммы GAI

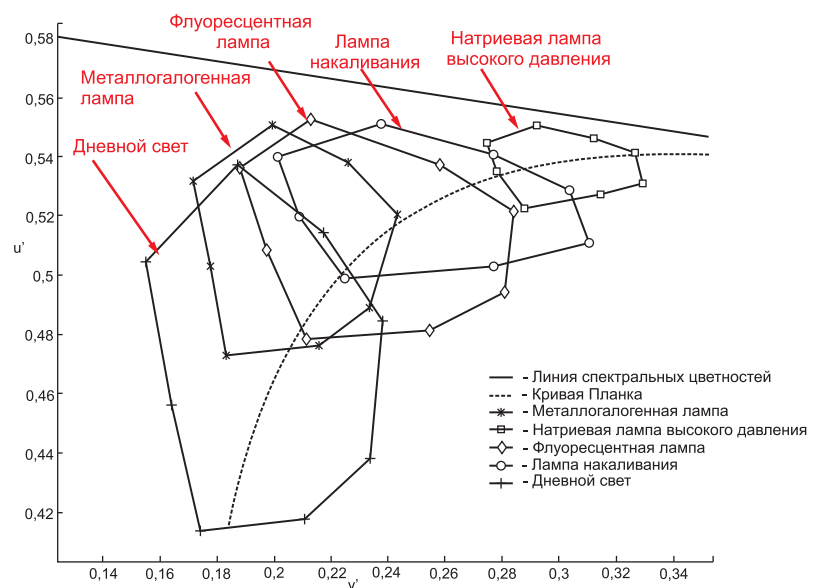


Рис. 14. Диаграммы GAI некоторых источников света

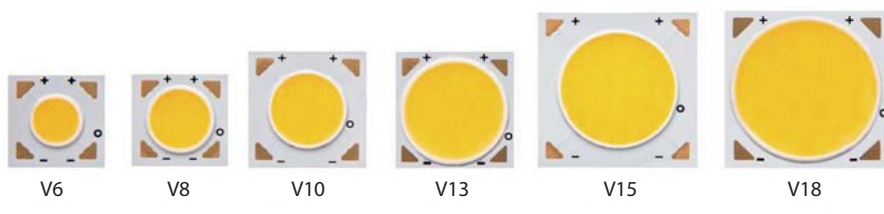


Рис. 15. Линейка матриц V Series

Таблица 3. Характеристики матриц V Series

Группа	φV, мм	P, Вт	I _{пр.} , мА	U _{пр.} , В	Эффективность, лм/Вт
V6	281-381	3,1	175	17,6	91-124
			350	8,8	
V8	554-779	6,1	175	34,6	91-128
			350	17,4	
V10	841-1090	9	350	25,7	94-128
V13	1478-2061	15,6	500	31,3	95-132
V15	2248-3169	24,5	700	35	92-129
V18	2834-3952	30	1050	28	94-132



Рис. 16. Линейка матриц BXRA

излучающей зоны матриц, внешний вид приборов показан на рис. 15. Основные особенности и параметры матриц линейки при температуре корпуса +85 °С (по спецификациям 2015 г.) приведены в таблице 3.

Индекс цветопередачи CRI составляет 80–90 для исполнений с T_{цв} = 2700/3500 К, 70–80 для исполнений с T_{цв} = 4000/5000 К.

Светодиодные матрицы BXRA

Предшественница рассмотренных выше приборов — линейка популярных светодиодных матриц COB BXRA с пятилетней заводской гарантией — предназначена для бытовых и коммерческих приложений (рис. 16). В семейство входят четыре группы приборов, их характеристики приведены в таблице 4.

Светодиодные кристаллы

Bridgelux производит также синие светодиодные кристаллы (рис. 17), используемые и в ее собственных светодиодных матрицах. При их производстве применяется как технология GaN на сапфире, так и GaN-on-Si, последняя является наиболее перспективной с точки зрения сокращения затрат и снижения цены конечных светодиодных продуктов. По утверждению компании, потенциальными ценовыми преимуще-

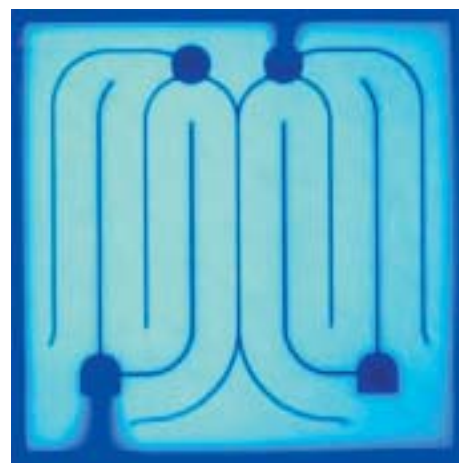


Рис. 17. Светодиодный кристалл

Таблица 4. Характеристики представителей линейки светодиодных матриц COB BXRA

Группа	Корпус	Кол-во моделей в группе	T _{цв} , К	I _{пр.} , мА	U _{пр.} , В	φV, мм (при +85 °С)	Эффективность, лм/Вт	CRI
ES Star Array	Типа «звезда»	13	2700-5600	350	18,2/27,3	505-1000	75-124	70-90
ES Rectangle Array	Прямоугольный	24		500/700	20,5/29,3/36,2	850-2740	81-132	
RS Array	Прямоугольный	24		1750/2100/2800	17,5/23,5/29,4	2190-8750	76-128	
Décor Ultra High CRI Array	Различные варианты	12	2700-3500	350-2100	23,6/27,3/29,4/36,2	510-4920	60-76	97

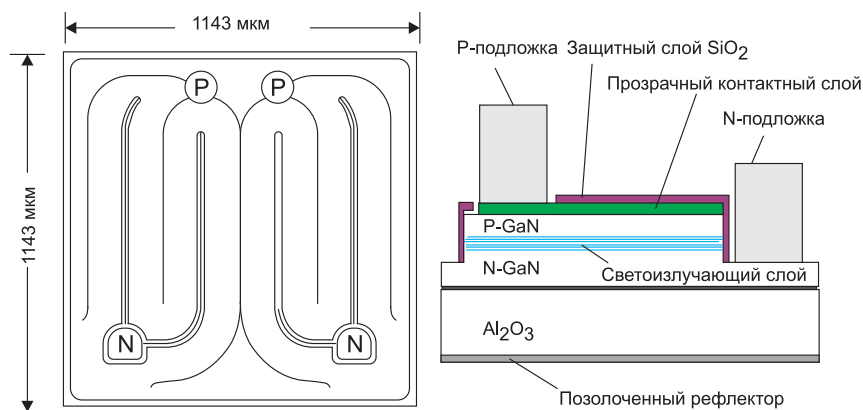


Рис. 18. Структура светодиодного кристалла

Таблица 5. Основные параметры синих светодиодных кристаллов, выпускаемых Bridgelux

Маркировка чипа	Длина волны, нм	Радиометрическая мощность излучения, мВт	Упр, В	Ипр, мА
BXCD4545xx	450–460	420–480 (3 бина)	3–3,4 (4 бина)	350
BXTA4545xx				1500
BXCD4040xx		380–440		
BXCD3333xx	450–465	295–400 (5 бинов)	3,2–3,6 (3 бина)	450
BXCD2345xx			3,2–3,8	450

ствами технологии GaN-on-Si по сравнению с традиционными являются:

- снижение стоимости кристаллов на 50% за счет использования 8" пластин и проверенных методов производства кремниевых полупроводниковых приборов;
- снижение затрат еще на 20–40% за счет использования традиционных методов корпусирования;
- возможность дальнейшего значительного снижения затрат при использовании принципиально новых архитектур корпусов приборов.

В долгосрочной перспективе технология GaN-on-Si может принести значительные финансовые выгоды для систем освещения в целом, так как светодиоды, произведенные по этой технологии, вполне могут быть выполнены в едином технологическом процессе совместно с драйверами и различными схемами управления. Bridgelux является первой компанией, предложившей GaN-on-Si коммерческие светодиодные кристаллы в 2014 г. В каталоге 2016 г. представлены восемь серий синих светодиодных кристаллов (табл. 5). В маркировке чипа четыре цифры после буквенного обозначения означают размеры кристалла в mil (1 mil = 0,0254 мм). Например, BXCD3333 имеет размеры 33×33 mil, или 838×838 мкм.

Кристаллы с маркировкой BXCE4545xx, BXFE4545xx, BXFD4545xx отличаются от BXCD4545xx в основном количеством исполнений (бинов).

Все выпускаемые чипы сортируются по длине волны, мощности излучения и прямому напряжению. После нанесения люминофора приборы могут быть использованы практически для любых осветительных приложений, в том числе для производства белых светодиодов и матриц высокой яркости, а также для подсветки ЖК-панелей.

Литература

1. www.silicon-core.com/news/siliconcore-appoints-Heng-Lui
2. www.bridgelux.com/resources/elite-optoelectronics-raises-85-million-venture-capital-funding-changes-name-bridgelux-inc
3. www.bridgelux.com/resources/bridgelux-adds-top-talent-management-team
4. www.zoominfo.com/p/Ghulam-Hasnain/209072662
5. www.semiconductor-today.com/news_items/2013/APR/BRIDGELUX_230413.html
6. www.bridgelux.com/resources/kaistar-lighting-invests-25-million-bridgelux
7. www.svmi.com/bridgelux-to-be-acquired-by-group-led-by-china-electroni
8. www.bridgelux.com/resources/bridgelux-spin-led-smart-lighting-busines
9. www.bridgelux.com/company
10. <http://bridgelux.ru/leds.html>
11. www.bridgelux.com/products
12. <http://news.thomasnet.com/fullstory/cob-led-arrays-correlate-to-gamut-area-index-gai-20035291>