

Мощные светодиоды Philips Lumileds – от истоков до новинок рынка

Игорь Матешев, Алина Муленкова, Андрей Туркин,
Константин Шамков (Москва)

Данная статья является обзором полупроводниковых светодиодов Philips Lumileds. Компания Philips в начале 2000-х годов впервые разработала мощные светодиоды, ставшие в последнее время самыми перспективными источниками света для осветительных приборов настоящего и будущего.

ВВЕДЕНИЕ

Реалии современного рынка светотехнических изделий значительно меняются благодаря новинкам светодиодной промышленности. В последнее время появилось большое количество приборов, созданных на основе мощных светодиодов. Их разработка – результат значительного прорыва в физике и технологии изготовления светодиодов, который произошёл в середине 90-х годов XX века, благодаря созданию гетероструктур на основе нитрида галлия и его твёрдых растворов [1–4]. Новые эффективные светодиоды на основе этих материалов, получившие название «сверхъяркие», перекрыли коротковолновую часть видимого спектра – от ультрафиолетовой до жёлтой области [1–5]. Кроме того, на этих светодиодах были получены невиданные до того времени значения квантового выхода и КПД [1–6]. Одновременно существенно повысилась эффективность светодиодов на основе гетероструктур других полупроводниковых соединений типа $A^{III}B^V$, излучающих свет от жёлто-зелёного до ближнего инфракрасного диапазона. В основном это были структуры на основе фосфида галлия (GaP) и арсенида галлия (GaAs) и их твёрдых растворов – фосфида алюминия-индия-галлия (AlInGaP) и арсенида алюминия-галлия (AlGaAs), а также твёрдого раствора арсенида-фосфида галлия (GaAsP). Как следствие, светодиоды стали рассматриваться как источники света не только для индикации, но и для сигнализации, отображения и передачи информации, а впоследствии и для общего освещения.

Немного истории

В начале 1960-х годов появились первые светодиоды на основе GaP красного и зелёного свечения [3, 7, 8]. В то время полупроводниковые материалы уже стали применяться для создания биполярных и полевых транзисторов [7]. В процессе исследований и разработок было установлено, что полупроводники являются наилучшими материалами для изготовления излучающих устройств [7].

Серийный выпуск светодиодов на основе GaAsP был налажен в 1968 году компанией Monsanto Corporation [3, 7, 8]. Светодиодные кристаллы, выпускаемые этой компанией, представляли собой GaAsP структуры с p–n-переходом, выращенные на GaAs подложках и излучающие фотоны с длиной волны, соответствующей красному диапазону видимого спектра [7]. Вообще, 1968 год можно назвать началом эры твердотельных излучателей. В течение нескольких последующих лет продажи таких светодиодов стремительно росли, практически удваиваясь каждые несколько месяцев [7].

В 1968 году компания Hewlett Packard занялась разработками и производством светодиодов на основе GaP и его твёрдых растворов с использованием разработанной в то время технологии получения пластин GaP из расплавов при высоких температурах и давлениях [3, 7, 8]. Из таких пластин при помощи резки формировались подложки, на основе которых выращивались структуры четверного соединения AlInGaP [7].

Аналогичная технология используется и в настоящее время. Дело в том, что структуры на основе AlInGaP под-

ходят для получения яркого свечения в красном (626 нм), оранжевом (610 нм) и жёлтом (590 нм) спектральных диапазонах, и в данный момент являются основой для изготовления светодиодов повышенной яркости, излучающих свет в данном интервале длин волн [7].

Разработав технологию выращивания структур на основе AlInGaP [7], компания Hewlett Packard получила линейку светодиодов, перекрывающих длинноволновую область спектра, а именно красный, оранжевый и жёлтый цветовые диапазоны свечения.

Особое развитие технология производства светодиодов на основе AlInGaP получила в конце 1980-х. Это было связано, во-первых, с созданием в активной области, состоящей из нескольких квантовых ям, распределённых отражателей Брэгга и, во-вторых, разработкой технологии изготовления прозрачных GaP подложек [3, 7, 8]. Специалисты компании Hewlett Packard активно участвовали в работах по совершенствованию технологии выращивания AlInGaP структур [7] и добились значительных успехов: к концу 1980-х – началу 1990-х годов светодиоды Hewlett Packard красного и жёлтого свечения устанавливались во многих устройствах, а кристаллы, выпускаемые этой компанией, использовали в своих изделиях многие производители светодиодов. В том числе красные и жёлтые светодиоды Hewlett Packard были применены разработчиками НПФ «Свеча» в первых светодиодных светофорах, установленных к 850-летнему юбилею в Москве в 1997 году [7, 9, 10].

Для создания светодиодов коротковолнового излучения в синей и зелёной областях нужно было найти материал с более высоким значением ширины запрещённой зоны [3, 7, 8]. Таким материалом стал GaN. Исследования этого материала, проводившиеся различными исследовательскими группами на протяжении более

20 лет [2–4], показали, что без легирования он обладает проводимостью n-типа, и для получения p–n-перехода требовалось подобрать соответствующую примесь p-типа [7]. Данную проблему в середине 90-х годов XX века решили сотрудники японской компании Nichia Chemical во главе с Шуджи Накамурой [1–9], которые, разработав новую систему выращивания GaN методом металлоорганической газофазной эпитаксии, получили первые светодиоды синего, голубого и зелёного цвета свечения на основе гетероструктур GaN и его твёрдых растворов InGaN и AlGaN. КПД этих светодиодов достигал 10% [3, 6, 7].

Полученные результаты дали импульс развитию работ во всем мире. Вслед за компанией Nichia технологию выращивания светодиодных кристаллов на подложках из сапфира (Al_2O_3) освоили специалисты и других компаний, одними из первых были сотрудники компании Hewlett Packard [7], зелёные светодиоды которой появились на рынке уже в 1997 году.

В 1999 году корпорациями Philips и Hewlett Packard была создана компания Lumileds. Новая компания создавалась одновременно двумя концернами-лидерами в своих областях – светотехнике и полупроводниковой оптоэлектронике соответственно. Целью создания этой компании была разработка источника света на основе светодиодов. Этот источник должен был стать принципиально новым источником света для применения в светотехнике. Дело в том, что за несколько лет до этого, в середине 90-х годов XX века, исследователи фирмы Nichia показали, что кристаллы на основе GaN и его твёрдых растворов подходят для получения светодиодов белого свечения. Был предложен метод использования люминофоров, преобразующих длину волны синего свечения кристалла в жёлто-зелёное свечение [3, 7, 8], и как результат, сложения сигналов в указанных диапазонах, получался белый цвет.

В 2003 году компанией Lumileds был сделан первый мощный светодиод бе-

лого цвета свечения Luxeon I со световым потоком более 25 лм и световой отдачей более 20 лм/Вт [3, 7, 8]. Светодиоды Luxeon I сразу превзошли по световой отдаче лампы накаливания почти в два раза, что позволило начать говорить о светодиодах как о новых и эффективных источниках света. Это было принципиально новое изделие [7] по многим параметрам – по размеру кристалла, значению рабочего тока, корпусу и т.д. Именно этим своим изделием компания Lumileds открыла новый класс светодиодов, получивших название мощных светодиодов – тех светодиодов, которые можно использовать как источники света для осветительных приборов [7].

В дальнейшем мощные светодиоды стали выпускать и другие производители. Они провели доработку конструкции корпуса за счёт применения разных материалов с высоким коэффициентом теплопроводности, а также используя линзы из различных материалов – пластика, кварцевого стекла или силикона.

ОБЗОР МОДЕЛЕЙ СВЕТОДИОДОВ LUXEON REBEL КОМПАНИИ PHILIPS LUMILEDS

В 2006 году компания Lumileds поменяла собственника и название – концерн Philips выкупил все акции компании, а сама компания стала называться Philips Lumileds [7]. Под этим новым названием компания разработала новую серию светодиодов – Luxeon Rebel. Применение новых материалов с более высоким коэффициентом теплопроводности для корпуса позволило существенно сократить его размеры, а применения новых материалов для линз – увеличить коэффициент вывода света из корпуса светодиода. Кроме того, кристаллы для серии Luxeon Rebel изготавливают с применением технологии отсоединения структуры от подложки Al₂O₃ (lift-off-технология) [2, 4, 7], что уменьшает количество дефектов и дислокаций и, тем самым, повышает их квантовый выход.

Отличительным свойством светодиодов Luxeon Rebel являются высокие значения светового потока и световой отдачи, а также их высокая надёжность. В серию входят несколько семейств, которые можно чётко разделить по типам применений.

Рассмотрим кратко основные характеристики нескольких семейств, входящих в серию Luxeon Rebel.

Светодиоды семейства Luxeon Rebel General Purpose White (GPW) выпускаются всех оттенков белого цвета и рекомендуются производителем для разработки источников света белого цвета свечения. Данные светодиоды могут использоваться в любых устройствах, где требуется получить хороший белый цвет [7].

Светодиоды семейства Luxeon Rebel Illumination могут быть использованы в осветительных приборах и системах освещения [7]. Светодиоды данного семейства соответствуют оптимальным для освещения областям белого цвета и имеют

оптимизированный индекс цветопередачи для разных областей белого цвета.

Серия мощных светодиодов различного цвета свечения Luxeon Rebel Direct Color имеет все цвета свечения, соответствующие видимому диапазону спектра – от красного до синего [7]. Эти светодиоды рекомендуются для применения в архитектурно-художественном и декоративном освещении.

Характерной особенностью мощных светодиодов Luxeon Rebel ES, предназначенных для разработки светильников и ламп [7], является сниженное значение прямого напряжения. При токе 350 мА потребляемая мощность составляет ровно 1 Вт, поэтому значение светового потока соответствует значению световой отдачи. Данные светодиоды имеют рекомендуемый рабочий ток 700 мА, что позволяет получить больший световой поток со светодиода в излучении, при этом эффективность остаётся достаточно высокой [7]. Вследствие этого становится возможным получить более яркий источник света.

Кроме описанных выше светодиодов серии Luxeon Rebel стоит отметить ещё два семейства светодиодов Luxeon, также выпускаемых компанией Philips Lumileds.

Серия мощных светодиодов Luxeon H предназначена для разработки светодиодных ламп. Данные светодиоды имеют хороший тепловой дизайн корпуса и обладают стабильной цветовой температурой [7]. Кроме того, возможно питание данных светодиодов непосредственно от источника переменного тока, что для разработки светодиодных ламп является особенно важным [7].

Серия мощных светодиодов Luxeon A оптимальна для применения в светотехнических приборах, где требуется не только стабильность цветовой температуры, но и её однородность по поверхности источника света или изделия [7]. Данные светодиоды выпускаются с очень маленьким разбросом цветовой температуры (порядка ±45 К, что соответствует 3-шаговому эллипсу Мак-Адама [7, 8]). Это приводит к отсутствию необходимости разбивки светодиодов по цветовой температуре. Приобретая такие светодиоды, разработчик устройства

Таблица 1. Основные характеристики мощных светодиодов Luxeon

Угол, °	Макс. ток, мА	Напряжение, В @ 350 мА (T _j = 25 °C)	RQ, C/Вт	Цвет	CRI	Цветовая температура, К		Световой поток лм @ 350 мА (T _j = 85 °C)
						мин.	макс.	
Luxeon Rebel General Purpose White (GPW)								
160	700	3,00	10	Холодный белый		4500	10000	90
								100
								110
								120
				Естественный белый		3500	4500	90
								100
								110
								120
Luxeon Rebel Illumination								
160	700	3,00	10	Тёплый белый	85	2700	3000	65
								70
								75
								66
								50
				Естественный белый	85	3500		67
				Холодный белый	70	4000	6500	90
								85
								75
70								
Luxeon A								
160	1000	2,72	6	Тёплый белый	85	2700	3000	89
								97
								75
				Холодный белый	85	4000	5000	102
								106

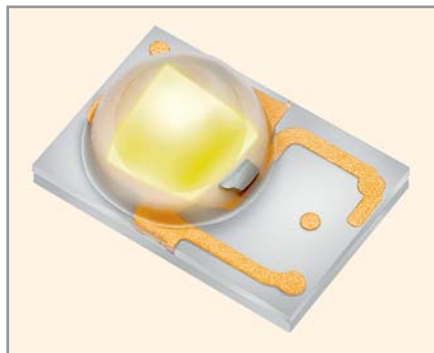


Рис. 1. Мощный светодиод Luxeon Rebel Plus

заранее может знать цветовую температуру своего изделия с высокой степенью точности. Также стоит отметить, что производитель даёт характеристики данных светодиодов при температуре р–п-перехода 85°C.

Основные характеристики упомянутых выше светодиодов приведены в таблице 1.

НОВЫЕ МОДЕЛИ СВЕТОДИОДОВ LUXEON REBEL КОМПАНИИ PHILIPS LUMILEDS

Более подробно стоит остановиться на обзоре новых серий светодиодов компании Philips Lumileds, которые были выпущены на рынок в последние несколько месяцев.

Светодиоды нового семейства Luxeon Rebel Plus (см. рис. 1) представляют собой новое поколение светодиодов Luxeon Rebel GPW. Они также выпускаются всех оттенков белого цвета и рекомендуются производителем для разработки источников света белого цвета свечения. Светодиоды Luxeon Rebel Plus имеют высокий индекс цветопередачи и низкое прямое напряжение.

Кроме того, стоит отметить, что для данных светодиодов, а также для всех новых моделей Luxeon отсутствует необходимость разбивки по цветовой температуре, и их характеристики приведены производителем при температуре р–п-перехода 85°C.

Светодиоды Luxeon Rebel Plus следует использовать для получения хорошего белого цвета. Их основные характеристики приведены в таблице 2.

Светодиоды нового семейства Luxeon R (см. рис. 2) отличаются высокой световой отдачей – до 115 лм/Вт при токе 700 мА, и стабильностью цветовой температуры. Данный светодиод, как и светодиод Luxeon Rebel Plus,



Рис. 2. Мощный светодиод Luxeon R

выполнен в стандартном корпусе Luxeon Rebel. Светодиоды Luxeon R выпускаются всех оттенков белого цвета, и рекомендуются производителем для разработки светодиодных ламп и светильников.

Основные характеристики Luxeon R приведены в таблице 3.

Светодиоды нового семейства Luxeon M (см. рис. 3) работают от источника напряжения 12 В, что делает их идеальными для создания на их основе эффективных источников света – светодиодных ламп – для систем низковольтного питания. При токе 700 мА



Рис. 3. Мощный светодиод Luxeon M

потребляемая мощность составит всего 8 Вт, а световая отдача в таком режиме будет равна приблизительно 114 лм/Вт.

Также стоит отметить, что данный светодиод имеет достаточно низкое значение теплового сопротивления от активной области (р–п-перехода) кристалла до точки пайки (обратной стороны основания) светодиода, которое составляет 1,25°C/Вт.

Светодиоды также отличаются стабильностью цветовой температуры.

Основные характеристики светодиодов Luxeon M приведены в таблице 4.

Таблица 2. Основные характеристики Luxeon Rebel Plus

Цвет	Угол, °	Макс. ток, мА	Напряжение, В @ 350 мА ($T_j = 85^\circ\text{C}$)	Мин. CRI	Цветовая температура, К	Световой поток, лм @ 350 мА ($T_j = 85^\circ\text{C}$)		Код заказа
						мин.	тип.	
Холодный белый	120	700	2,76	80	5000	95	106	LX18-PI50-Y
Естественный белый	120	700	2,76	80	4000	90	103	LX18-PI40-Y
					3500	90	98	LX18-PI35-Y
Тёплый белый	120	700	2,76	80	3000	85	95	LX18-PI30-Y
					2700	80	89	LX18-PI27-Y

Таблица 3. Основные характеристики Luxeon R

Цвет	Угол, °	Макс. ток, мА	Напряжение, В @ 700 мА ($T_j = 85^\circ\text{C}$)	Мин. CRI	Цветовая температура, К	Световой поток, лм @ 350 мА ($T_j = 85^\circ\text{C}$)		Код заказа
						мин.	тип.	
Холодный белый	120	1000	2,88	70	6500	200	220	LXA7-PW65
					5700	200	220	LXA7-PW57
Естественный белый	120	1000	2,88	70	5000	200	225	LXML-PWN2
					4000	200	220	LXM8-PW35
Тёплый белый	120	1000	2,88	70	3000	160	185	LXW9-PW30

Таблица 4. Основные характеристики Luxeon M

Цвет	Угол, °	Макс. ток, мА	Напряжение, В @ 700 мА ($T_j = 85^\circ\text{C}$)	Мин. CRI	Цветовая температура, К	Световой поток, лм @ 350 мА ($T_j = 85^\circ\text{C}$)		Код заказа
						мин.	тип.	
Холодный белый	120	1050	11,2	70	5700	840	905	LXR7-SW57
Естественный белый	120	1050	11,2	70	4000	840	905	LXH8-SW40



Рис. 4. Мощный светодиод Luxeon T

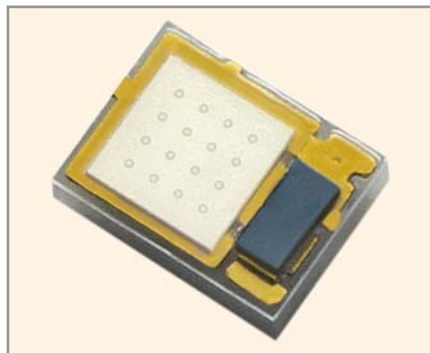


Рис. 5. Мощный светодиод Luxeon Z



Рис. 6. Светодиодный модуль Luxeon K

Новая серия светодиодов Luxeon T (см. рис. 4) предназначена как для внешнего, так и для внутреннего освеще-

нения. Благодаря высокой световой отдаче, надёжности и однородности цвета светодиоды этой серии хорошо

подходят для производителей светильников типа downlight и промышленного освещения.

Их основные характеристики приведены в таблице 5.

Таблица 5. Основные характеристики Luxeon T

Цвет	Угол, °	Макс. ток, мА	Напряжение, В @ 700 мА ($T_j = 85^\circ\text{C}$)	Мин. CRI	Цветовая температура, К	Световой поток, лм @ 350 мА ($T_j = 85^\circ\text{C}$)		Код заказа
						мин.	тип.	
Холодный белый	120	1000	2,80	80	2700	170	186	LXH8-FW27-Y
	120			80	3000	180	197	LXH8-FW30-Y
	120			80	3500	190	208	LXH8-FW35-Y
Естественный белый	120			80	5000	190	222	LXH8-FW40-Y
								LXH8-FW50-Y
Тёплый белый	120			95	3000	130	160	LXH9-FW30-Y

Таблица 6. Основные характеристики Luxeon Z

Цвет	Угол, °	Макс. ток, мА	Напряжение, В @ 500 мА ($T_j = 85^\circ\text{C}$)	Длина волны, нм		Световой поток, лм @ 500 мА ($T_j = 25^\circ\text{C}$)		Код заказа
				мин.	макс.	мин.	тип.	
Зелёный	128	700	3,00	520	540	104	106	LXZ1-PM01-0104
Сине-зелёный				490	508	72	73	LXZ1-PE01-0072
Голубой				460	480	48	50	LXZ1-PB01-0048
Синий	124			440	460	600	620	LXZ1-PR01-0600
Красный				620	645	350	360	LXZ1-PA01-0350
Тёмно-красный	140			2,15	650	670	56	57
Оранжевый		610	620		72	74	LXZ1-PH01-0072	
Жёлтый		584,5	597		64	66	LXZ1-PL01-0064	

Таблица 7. Основные характеристики Luxeon K

Цвет	Угол, °	Макс. ток, мА	Напряжение, В @ 700 мА ($T_j = 85^\circ\text{C}$)	Мин. CRI	Цветовая температура, К	Световой поток, лм @ 700 мА ($T_j = 25^\circ\text{C}$)		Код заказа
						мин.	тип.	
Естественный белый	100	1050	10,5	80	4000	355	410	LXK8-PW40-0004
			21			800	815	LXK8-PW40-0008
			31,5			1175	1240	LXK8-PW40-0012
			42			1620	1650	LXK8-PW40-0016
			63			2300	2375	LXK8-PW40-0024
Тёплый белый	120		10,5	80	3000	330	370	LXK8-PW30-0004
			21			730	740	LXK8-PW30-0008
			31,5			1070	1125	LXK8-PW30-0012
			42			1475	1500	LXK8-PW30-0016
			63			2100	2250	LXK8-PW30-0024
		10,5	2700			80	3000	310
		21		680	690			LXK8-PW27-0008
		31,5		990	1045			LXK8-PW27-0012
		42		1380	1395			LXK8-PW27-0016
		63		1960	2090			LXK8-PW27-0024

Совсем недавно компания Philips пополнила свой ассортимент мощных светодиодов новой серией светодиодов Luxeon Z (см. рис. 5). Отличительной особенностью нового светодиода стал очень маленький размер – площадь основания составляет всего 2,2 мм². В сочетании с широким диапазоном цветов и открытым корпусом это позволяет создавать огромное количество комбинаций, необходимых для самых разных светильников.

Возможность создавать светодиодные модули в формате 2 × 2, 3 × 2, 6 × 1, как с единым, так и смешанным цветом, открывает новые горизонты для производителей. Помимо этого, конструкция Luxeon Z позволяет отказаться от использования вторичной оптики и сразу включать в конструкцию необходимые линзы.

Основные характеристики светодиодов Luxeon Z приведены в таблице 6.

В последнее время всё большую популярность приобретают светодиодные модули. Сочетая в себе такие качества, как яркость, простота установки и проектирования, светодиодные модули обеспечили себе прочное положение на рынке. Всё больше производителей включают их в свою линейку продукции [11].

Не осталась в стороне и компания Philips Lumileds, выпустившая свой новый светодиодный модуль Luxeon K (см. рис. 6). Он отличается высоким световым потоком (до 2500 лм), стабильностью цветовой температуры и высокой надёжностью. Механическое крепление также упрощает разработку и изготовление систем освещения на их основе.

Основные характеристики светодиодных модулей Luxeon K приведены в таблице 7.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренный исторический обзор светодиодов компании Philips Lumileds, а до неё компании Hewlett Packard, позволяет продемонстрировать основные направления, в которых компания, являвшаяся одним из лидеров светодиодного рынка, развивала свою технологию производства светодиодов. Специалисты компании в разное время были в числе основных разработчиков сначала технологии GaP и его соединений, а затем и GaN и его твёрдых растворов. Они вслед за японскими компаниями отработали технологию выращивания гетероструктур GaN и его твёрдых растворов на подложках Al_2O_3 .

Особо стоит ещё раз отметить, что именно разработчики Philips Lumileds, создав первый мощный светодиод Luxeon I, подарили миру возможность использования светодиодов в качестве источников света для осветительных приборов.

В настоящее время специалисты компании Philips Lumileds, принявшие эстафету у своих предшественников, продолжают разрабатывать интересные продукты, оставаясь среди лидеров светодиодного рынка. Чёткая сегментация светодиодов компании Philips Lumileds под то или иное направление светотехники делает их весьма привлекательными для разработчиков конечных изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Юнович А.Э. Светодиоды на основе гетероструктур из нитрида галлия и его твёрдых растворов. Светотехника, 1996, вып. 5/6, С. 2–7.
2. Туркин А.Н. Нитрид галлия как один из перспективных материалов в современной оптоэлектронике. Компоненты и технологии, 2011, № 5, С. 176–180.
3. Туркин А.Н. Полупроводниковые светодиоды: история, факты, перспективы. Полупроводниковая светотехника, 2011, № 5, С. 28–33.
4. Туркин А.Н. Обзор развития технологии полупроводниковых гетероструктур на основе нитрида галлия (GaN). Полу-

проводниковая светотехника, 2011, № 6, С. 44–47.

5. Золнина К.Г., Кудряшов В.Е., Туркин А.Н., Юнович А.Э. Спектры люминесценции голубых и зелёных светодиодов на основе многослойных гетероструктур InGaN/AlGaIn/GaN с квантовыми ямами. ФТП, 1997, том 31, №9, С. 1055–1061.
6. Туркин А.Н., Юнович А.Э. Измерения мощности излучения голубых и зелёных InGaIn/AlGaIn/GaN светодиодов с помощью фотопреобразователей из аморфного кремния. Письма в ЖТФ, 1996, том 22, вып. 23, С. 82–86, .
7. Туркин А.Н. Светодиоды Lumileds: прошлое, настоящее, будущее. Полупроводниковая светотехника, 2012, № 2, С. 6–9.
8. Шуберт Ф.Е. Светодиоды. М.: ФизМатЛит, 2008.
9. Юнович А.Э. Ключ к синему лучу или о светодиодах и лазерах, голубых и зелёных. Химия и жизнь, 1999, № 5–6, С. 46–48.
10. Тринчук Б.Ф. Светосигнальная аппаратура на светодиодах. Светотехника, 1997, № 5, С. 6–11.
11. Дорожкин Ю., Матешев И., Туркин А. Светодиодные модули серии CXA компании Cree. Полупроводниковая светотехника, 2013, № 1, С. 36–39.

