

Юрий Петропавловский |

# Перспективные светодиоды

## компании Avago Technologies

**На долю американских компаний приходится значительный объем мирового производства светодиодов, а такие фирмы, как Cree (Дарем, штат Северная Каролина), Avago Technologies (Сан-Хосе, Калифорния), Philips Lumileds (Сан-Хосе), являются признанными технологическими лидерами в области разработки и изготовления светодиодной продукции. В данной статье рассматриваются особенности и параметры некоторых перспективных серий приборов, выпускаемых Avago.**

Деятельность компании Avago Technologies началась еще в составе подразделения электронных компонентов корпорации Hewlett-Packard (HP), основанной в 1939 г. однокурсниками Стэнфордского университета. На фотографии (рис. 1) Билл Хьюлетт (Bill Hewlett, 1913–2001 гг.) и Дэйв Паккард (Dave Packard, 1912–1996 гг.) запечатлены 1 января 1939 г. в «гаражной» лаборатории HP (рис. 2) [1]. В 1999-м из головной корпорации HP была выделена компания Agilent Technologies, в которую вошла Semiconductor Products Group (SPG). В 2005 г. за \$2,66 млрд она была выкуплена компаниями KKR и Silver Lake Partners, основавшими затем Avago Technologies. В последующие годы в новой компании собралась команда из более чем 2000 разработчиков и конструкторов, поддерживающая сотрудничество со специалистами по разработке и проектированию во всем

мире, что позволило создать множество принципиально новых технологий [2].

Компания выпускает широкую номенклатуру изделий электроники (более 6500 продуктов) для четырех основных целевых рынков: беспроводная связь, приборы для сетевых инфраструктур, промышленная и автомобильная электроника, бытовая и вычислительная техника. Продукты компании применяются в сотовых телефонах, сетях передачи и хранения данных, телекоммуникационном оборудовании, системах автоматизации производства, энергетике, альтернативных источниках электроэнергии, мониторах, оптических «мышках», принтерах и в других приложениях. Фирма владеет более чем пятью тысячами американских и зарубежных патентов и патентных заявок [3], капитализация компании \$7,515 млрд (по данным на 12.09.2011), президент и CEO — Хок Тан (Hock E. Tan). Продукцию компании в России представляют известные мировые

и отечественные дистрибьюторы электронных компонентов: Arrow Electronics Russia, EBV Electronik, «ЭФО», «ЭЛКОТЕХ», Farnell, ГАММА, Макро Групп и др.

Укажем некоторые ключевые моменты в развитии бизнеса и технологий компании:

- 1960-е гг. (в составе HP) — первые серийно выпускаемые светодиоды для точно-матричных индикаторов. Разработка качественно новых GaAsP-светодиодов, впоследствии нашедших применение в алфавитно-цифровых индикаторах, светофорах, указателях.
- 1970-е гг. (в составе HP) — выпуск первых волоконно-оптических приемников и передатчиков для передачи данных.
- 1990-е гг. (в составе HP, SPG) — выпуск самого яркого в мире светодиода с высокой надежностью и низким потреблением электроэнергии, способного заменить лампы накаливания.
- 2005 г. — создание одной из крупнейших в мире частной независимой компании Avago Technologies, специализировавшейся на полупроводниковых приборах.
- 2007 г. — приобретение оптоволоконного подразделения компании Infineon.
- 2009 г. — первичное размещение акций на бирже NASDAQ (биржевое сокращение AVGO).



Рис. 1. Б. Хьюлетт и Д. Паккард



Рис. 2. Гаражная лаборатория HP

- 2010 г. — получение рекордного годового дохода — \$2,1 млрд.
- 2011 г. — выход на новый уровень качества изображения электронных информационных панелей и полноцветных дисплеев (благодаря самым ярким на рынке овальным светодиодам для сквозного монтажа).

Компания является одним из крупнейших производителей светодиодов в мире и ежегодно выпускает миллиарды единиц высоконадежной продукции в широчайшем ассортименте. Светодиоды и светодиодные блоки предназначены для широкого применения, в том числе для электронных знаков и сигналов, в автомобильной промышленности, системах освещения и для подсветки ЖК-дисплеев. Потребителям доступны, кроме белых, светодиоды различных цветов: оранжевые, голубые, янтарные, красные, темно-красные, синие, зеленые, желтые и др., а также двух- и трехцветные. Производство продукции осуществляется в соответствии с требованиями стандарта качества ISO 9001.

В каталоге компании 2011 г. представлены следующие категории светодиодов:

- цветные AlInGaP ChipLED для автомобильной электроники (три типа приборов);
- цветные AlInGaP и InGaN высокой яркости для поверхностного монтажа (восемь серий по четыре цвета);
- цветные AlInGaP и InGaN высокой яркости для сквозного монтажа (19 серий, более 500 типов) в круглых и овальных корпусах диаметром 3, 4 и 5 мм;
- цветные AlInGaP, InGaN и белые InGaN высокой мощности (65 типов);
- цветные AlInGaP, InGaN и белые InGaN высокой мощности Moonstone (77 типов);
- цветные и двухцветные AlInGaP и InGaN со встроенным резистором стандартной яркости для сквозного монтажа (более 250 типов) выпускаются в прямоугольных и круглых корпусах диаметром 3 и 5 мм;
- цветные AlInGaP и InGaN сверхминиатюрные в корпусах размерами 2,2x2,1x2,2; 3,2x2,4x2,4; 2,2x2,1x2,9 мм с куполообразными линзами (185 типов);
- цветные, двух- и трехцветные AlInGaP и InGaN ChipLED для поверхностного монтажа (54 типа);
- цветные, многоцветные и белые InGaN в PLCC-корпусах для поверхностного монтажа (семь серий, более 130 типов);
- одноцветные для поверхностного монтажа (66 типов) в сверхминиатюрных корпусах размерами 1,6x(0,4/0,6/0,8)x(0,35/0,4/0,6/0,8) мм;
- светодиоды для вспышек фотокамер (четыре типа) [4].

Классификационные параметры большинства белых светодиодов компании для систем освещения и подсветки из каталога 2011 г. приведены в таблице.

Рассмотрим особенности и параметры некоторых перспективных серий приборов более подробно.

### Серия ASMT-Ax00

Кроме приведенных в таблице приборов, в состав серии входят красные ( $\lambda_d = 620-635$  нм),

**Таблица.** Параметры белых светодиодов Avago для систем освещения и подсветки из каталога 2011 г.

Серия	Тип прибора	Оттенок	$\Phi_v$ , лм	$I_{пр}$ , мА	Эффективность, лм/Вт	Угол $2 \Theta_{1/2}$ , °	CRI						
ASMT-Ax00	ASMT-AW00-NTU00	Холодный	80	350	71	140							
			70		63								
	ASMT-AN00-NSU00	Нейтральный	70		63								
			80		71								
	ASMT-AY00-NRT00	Теплый	60		54								
			65		58								
ASMT-Ax3x	ASMT-AW31-NUV00	Холодный	100	350	89	140							
			115		103								
	ASMT-AN31-NUV00	Нейтральный	100		89								
			115		103								
	ASMT-AY31-NTU00	Теплый	90		80								
			90		80								
ASMT-Jx1x	ASMT-JW11-NTV01	Холодный	90	350	80	140							
			90		80								
	ASMT-JN11-NTV01	Нейтральный	90		80								
78			70										
ASMT-Jx3	ASMT-JW31-NTV01	Холодный	85		350			76	140				
			95					85					
	ASMT-JN31-NTV01	Нейтральный	85	76									
95			85										
ASMT-JY31-NSU01	Теплый	70	63										
		100	89										
		105	94										
ASMT-Jx32	ASMT-JW32-NUV01	Холодный	105	350	94	140							
			110		98								
			125		112								
	ASMT-JN32-NUV01	Нейтральный	100		89								
			105		94								
			110		98								
ASMT-JN32-NVW01	Нейтральный	110	98										
		125	112										
		90	80										
ASMT-Jx33	ASMT-JY32-NTV01	Теплый	105	350	94	140							
			105		94								
	ASMT-JW33-NSU01	Холодный	70		63								
			100		89								
	ASMT-JN33-NSU01	Нейтральный	70		63								
			100		89								
ASMT-JY33-NQS01	Теплый	45	40										
		60	54										
ASMT-JY33-NRS01	90	80											
ASMT-JY33-NST01	70	63											
ASMT-Mx2x	ASMT-MW20-NLN00	Холодный	85	350	76	140							
			85		76								
	ASMT-MY20-NLM00	Теплый	75		67								
			75		67								
ASMT-MWE0-NLM00	Холодный	80	71										
		80	71										
ASMT-MYE0-NKM00	Теплый	70	63										
		70	63										
ASMT-MW62-NGJ00	Холодный	41	83										
		49	77										
ASMT-MW62-NHK00	Теплый	38	77										
		38	77										
ASMT-Mx22	ASMT-MW22-NNP00	Холодный	120	350	107	140							
			100		89								
ASMT-Mx22	ASMT-MY22-NMP00	Теплый	100		350			89	140				
			115					103					
ASMT-Mx22	ASMT-MWE2-NNP00	Холодный	115					350			103	140	
			98								88		
ASMT-Mx22	ASMT-MYE2-NMP00	Теплый	98	350		88	140						
			98			88							
ASMT-MxA0	ASMT-MWA0	Холодный	60		350	48			140				
			50			40							
ASMT-MxK0	ASMT-MWK0	Холодный	60			350		48				140	
			50					40					
ASMT-MxK0	ASMT-MYK0	Теплый	50	350			40	140					
			50				40						
ASMT-Mxx4	ASMT-MWx24-NKL00	Холодный	75		350		67		140				
			80				71						
	ASMT-MYx24-NKL00	Теплый	75			63							
75			63										
ASMT-Mxx5	ASMT-MW05-NLM00	Холодный	80	350		71	140						
			73			65							
	ASMT-MY05-NKM00	Теплый	73		65								
73			65										
ASMT-Mxx6	ASMT-MW06-NLM00	Холодный	80		350	71			140				
			73			65							
	ASMT-MY06-NKM00	Теплый	73	65									
73			65										
ASMT-Mxx6	ASMT-MWB6-NLM00	Холодный	70	350		63	140						
			65			58							
	ASMT-MYB6-NKM00	Теплый	65		58								
65			58										
ASMT-Mxx9	ASMT-MW09-NLM00	Холодный	90		350	71			140				
			100			79							
	ASMT-MY09-NKM00	Теплый	75	60									
			80	63									
	ASMT-MW09-NMM00	Холодный	87	69									
			87	69									
ASMT-MYB9-NKM00	72	57											
ASMT-QWBF	ASMT-QWBF-NKL0E	Холодный	46	150	94	120							
			24		47								
ASMT-QYBC	ASMT-QYBC-NGJ0E	Теплый	31		150			47	120				
			31					47					
ASMT-QYBF	ASMT-QYBF-NJK0E	Теплый	37					150			78	120	
			37								78		
ASMT-TWBM	ASMT-TWBM-NT902	Холодный	650 мкд	150		-	120						
			30			59							
ASMT-QWBC	ASMT-QWBC-NHJ0E	Холодный	38		150	59			120				
			38			59							
ASMT-UWB1	ASMT-UWB1-NX302	4500-8000 K	2300 мкд			20		100				70	
			2300 мкд					100					

оранжево-красные ( $\lambda_d = 610\text{--}620$  нм), янтарные ( $\lambda_d = 587\text{--}597$  нм, четыре бина), синие ( $\lambda_d = 455\text{--}475$  нм, четыре бина), ярко-синие ( $\lambda_d = 440\text{--}460$  нм, четыре бина), голубые ( $\lambda_d = 490\text{--}520$  нм, шесть бинов) и зеленые ( $\lambda_d = 515\text{--}535$  нм, четыре бина) светодиоды. Белые светодиоды в круглых корпусах размерами  $8 \times 4,1$  мм выпускаются в сорока различных исполнениях с цветовыми температурами 2700–10000 К, их внешний вид показан на рис. 3. Особенности приборов серии:

- металлическая вставка (Metal Slug) в корпусах для улучшения отвода тепла;
- возможность пайки оплавлением припоя;
- возможность работы при больших токах;
- длительный срок службы;
- широкий угол распределения силы света;
- герметизация силиконом (Silicon encapsulation);
- высокая устойчивость к статическим зарядам (порог  $>16$  кВ);
- чувствительность к воздействию влаги уровня 2a MSL (Moister Sensivity Level).



Рис. 3. Внешний вид светодиодов серии ASMT-Ax00

Области применения светодиодов серии, рекомендованные производителем: архитектурное, дорожное (Channel Backlighting) и контурное (Contour Lighting) освещение, подсветка витрин, декоративное и парковое освещение. Приборы на основе AlInGaP (красные, оранжево-красные, янтарные) могут эксплуатироваться при температурах окружающей среды  $-40 \dots +115$  °С и максимальной температуре кристаллов  $+125$  °С, а на основе InGaN (остальные цвета и белые) — при  $-40 \dots +120$  °С/ $+135$  °С. Максимально допустимый постоянный прямой

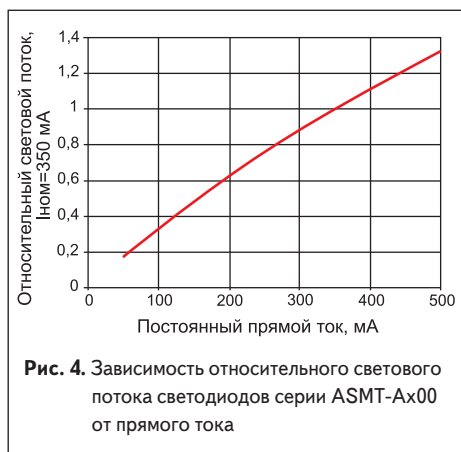


Рис. 4. Зависимость относительного светового потока светодиодов серии ASMT-Ax00 от прямого тока

ток светодиодов 500 мА; потребляемая мощность AlInGaP-приборов — 1,23 Вт, InGaN — 1,83 Вт (1,98 Вт для голубых светодиодов). На рис. 4 приведена зависимость относительного светового потока InGaN-светодиодов от прямого тока. Прямое напряжение AlInGaP-светодиодов находится в пределах 1,7–2,3 В, белых InGaN-светодиодов — 2,8–3,5 В.

### Серия ASMT-Ax3x

В данную серию входят светодиоды с такими же цветами, основными параметрами и областями применения. Отличиями, кроме приведенных в таблице, являются более высокий максимальный прямой ток (до 700 мА) и потребляемая мощность: 1,82 Вт для AlInGaP, 2,73 Вт для InGaN. Внешний вид приборов соответствует приведенному на рис. 3. Спектральные характеристики белых InGaN-светодиодов серии показаны на рис. 5.

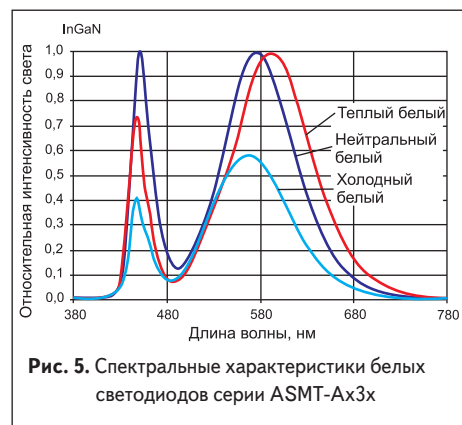


Рис. 5. Спектральные характеристики белых светодиодов серии ASMT-Ax3x

### Серии ASMT-Jx1x, ASMT-Jx3x

В состав этих серий входят приборы тех же цветов, что и рассмотренных выше светодиодов (в серии ASMT-Jx3x добавлен глубоко красный цвет — Deep Red), а также белые приборы в 29 исполнениях с цветовой температурой 2700–10000 К. Внешний вид приборов показан на рис. 6. Размеры корпусов светодиодов  $4 \times 4 \times 1,85$  мм, чувствительность к воздействию влаги уровня 1 MSL, другие особенности те же, что и у приборов серий Ax00, Ax3x. К областям применения светодиодов рассматриваемых серий добавлены:



Рис. 6. Внешний вид светодиодов серии ASMT-Jx1x

подсветка указателей и знаков, освещение рабочих мест, настольные лампы, коммерческое освещение (на потолках, стенах и т. д.), световые линейки и массивы, портативное освещение, фары велосипедов, фонари, освещение улиц, тротуаров и тоннелей, садов и огородов. Параметры приборов в основном такие же, как и у светодиодов серий ASMT-Ax00/Ax3x (отличия в таблице), максимальная температура переходов кристаллов  $T_j$  для InGaN-светодиодов серии ASMT-Jx1x составляет  $+150$  °С.

### Серии ASMT-Jx32, ASMT-Jx33

В этих сериях представлены холодные, нейтральные и теплые белые InGaN-светодиоды в 29 исполнениях с цветовой температурой 2700–10000 К. Для приборов серии ASMT-Jx33 нормированы индексы цветопередачи CRI (см. таблицу). Внешний вид приборов соответствует показанному на рис. 6 (прибор с желтой линзой). Максимальный прямой ток — 700 мА; потребляемая мощность 2,73 Вт. Спектральные характеристики светодиодов серии ASMT-Jx33 приведены на рис. 7. Как видно по графикам, минимальный уровень составляющих спектра в диапазоне длин волн 480–500 нм (синие-зеленые цвета) обеспечивают теплые светодиоды, имеющие наибольший индекс цветопередачи в данной серии.

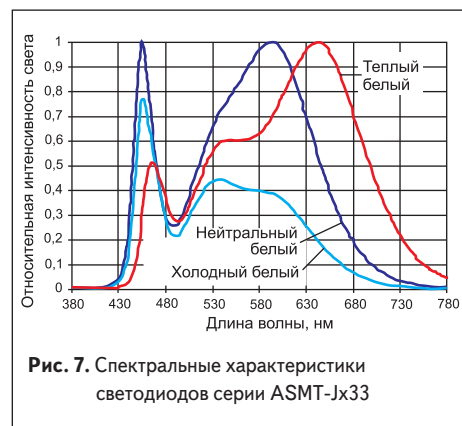


Рис. 7. Спектральные характеристики светодиодов серии ASMT-Jx33

### Серии Moonstone ASMT-Mx00, ASMT-Mx6x, ASMT-Mx22, ASMT-MxЕ2

В серию ASMT-Mx00 входят следующие светодиоды:

- красные AlInGaP ASMT-MR00-AGH00 ( $\Phi_v \approx 35$  лм, эффективность 48 лм/Вт), ASMT-MR00-AHJ00 ( $\Phi_v \approx 40$  лм, эффективность 54 лм/Вт);
- янтарные AlInGaP ASMT-MA00-AGH00 в пяти исполнениях ( $\Phi_v \approx 35$  лм, эффективность 48 лм/Вт);
- зеленые InGaN ASMT-MG00 в четырех исполнениях ( $\Phi_v \approx 60$  лм, эффективность 54 лм/Вт);
- синие InGaN ASMT-MB00 в четырех исполнениях ( $\Phi_v \approx 15$  лм, эффективность 13 лм/Вт).

Другие параметры приборов:

- диапазон рабочих температур  $-40...+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , максимальная температура переходов кристаллов  $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- максимальный прямой ток 350 мА;
- потребляемая мощность 805 мВт (AlInGaP), 1,225 Вт (InGaN);
- прямое напряжение 1,7–2,3 В (AlInGaP), 2,8–3,5 В (InGaN);
- ширина диаграммы углового распределения силы света  $2\Theta_{1/2} = 120\text{ }^{\circ}$ ;
- тепловое сопротивление —  $12\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$  (AlInGaP),  $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$  (InGaN).

В состав серии ASMT-Mx6x входят холодные (4000–10 000 К) и теплые (2600–4000 К) белые InGaN-светодиоды в 14 исполнениях. Приборы допускают работу при максимальной температуре кристаллов  $+145\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $T_{\text{раб.окр.ср.}} = -40...+120\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Чувствительность к воздействию влаги соответствует уровню 4 MSL, устойчивости к статическим зарядам 8 кВ (ESD HBM Class 3). Пример изделий данной серии приведен на рис. 8.



Рис. 8. Внешний вид светодиодов серии ASMT-Mx6x

В состав серий ASMT-Mx22, ASMT-MxE2 также входят холодные (4000–10 000 К) и теплые (2600–4000 К) белые InGaN-светодиоды в 38 исполнениях. Максимальная температура кристаллов  $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ , диапазон рабочих температур при прямом токе 350 мА —  $-40...+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ , при 700 мА —  $-40...+90\text{ }^{\circ}\text{C}$  (внешний вид приборов соответствует рис. 8).

В состав светодиодов серий Moonstown ASMT-Mxxx входят также защитные стабилизаторы, размеры корпусов приборов  $10\times 8,5\times 3,3\text{ мм}$ .

### Серия Moonstone ASMT-MxK0

Серия представлена следующими светодиодами:

- красные AlInGaP ASMT-MRK0 в пяти исполнениях ( $\Phi_v \approx 40\text{ лм}$ , эффективность 48 лм/Вт);
- янтарные AlInGaP ASMT-MAK0 в четырех исполнениях ( $\Phi_v \approx 35\text{ лм}$ , эффективность 42 лм/Вт);
- зеленые InGaN ASMT-MGK0 в четырех исполнениях ( $\Phi_v \approx 60\text{ лм}$ , эффективность 48 лм/Вт);
- синие InGaN ASMT-MBK0 в четырех исполнениях ( $\Phi_v \approx 15\text{ лм}$ , эффективность 12 лм/Вт);

- холодные и теплые белые InGaN (таблица) в 54 исполнениях с цветовыми температурами 2600–10000 К.
- Другие параметры изделий:
- работа при температуре окружающей среды  $-40...+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- конструктивное исполнение на радиаторах типа «звезда»  $\varnothing 19,9\text{ мм}$  (в принципе, приборы могут быть использованы без дополнительных теплопроводов, если максимальная температура кристаллов не будет превышать  $+110\text{ }^{\circ}\text{C}$  (InGaN);
- максимальный прямой ток 350 мА;
- потребляемая мощность 1,05 Вт (AlInGaP), 1,4 Вт (InGaN);
- прямое напряжение 2–3 В (AlInGaP), 3,2–4 В (InGaN);
- ширина диаграммы углового распределения силы света  $2\Theta_{1/2} = 120\text{ }^{\circ}$ ;
- тепловое сопротивление  $12\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$  (AlInGaP),  $18\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$  (InGaN).

Внешний вид приборов показан на рис. 9, спектральные характеристики белых, синих и зеленых светодиодов серии приведены на рис. 10.



Рис. 9. Внешний вид светодиодов серии ASMT-MxK0

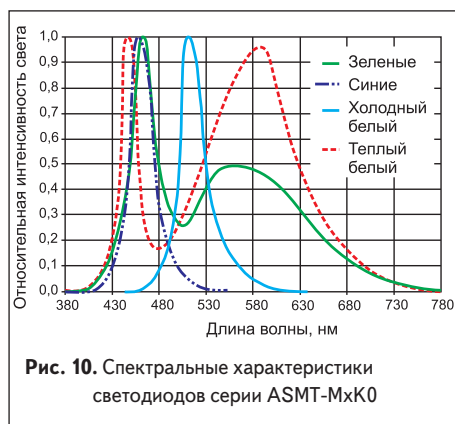


Рис. 10. Спектральные характеристики светодиодов серии ASMT-MxK0

### Приборы промышленного назначения в корпусах PLCC-4

#### ASMT-QWBF-NKL0E, ASMT-QWBC-Nxxx

Серию составляют холодные белые InGaN-светодиоды с цветовой температурой 4500–10000 К. Приборы выпускаются в 12 исполнениях по световому потоку (от 3,4–4,3 до 56–73 лм) и в 23 исполнениях по цветовой температуре. Области применения приборов, рекомендованные производителем: электронные сигналы и знаки, декоративное освещение, офисные и домашние приложения, промышленное оборудование, подсветка информационных панелей и кнопок.

#### ASMT-QYBC-NGJ0E, ASMT-QYBC-NHJ0E, ASMT-QYBF-NJK0E

В этих сериях представлены теплые белые InGaN-светодиоды. Они выпускаются в десяти исполнениях по световому потоку и восьми исполнениях по цветовой температуре (2500–4800 К). Внешний вид светодиодов показан на рис. 11. В дополнение к перечисленным выше областям применения добавлены автомобильные приложения: подсветка измерительных панелей, центральной консоли, панелей навигационных и звуковых устройств, кнопок управления, подсветка околodверного пространства (Puddle Lamp), бардачков, автомобильных номеров.



Рис. 11. Внешний вид светодиодов в корпусах PLCC-4

#### ASMT-QWBC-NHJ0E, ASMT-QWBC-NJK0

В состав данных серий входят холодные белые InGaN-светодиоды в 12 исполнениях по световому потоку и в 18 по цветовой температуре. Все рассматриваемые светодиоды выполнены в малогабаритных корпусах размерами  $3,2\times 2,8\times 1,9\text{ мм}$  и работоспособны в диапазоне температур  $-40...+120\text{ }^{\circ}\text{C}$ , максимальная температура переходов кристаллов  $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Основные параметры приборов:

- максимальный прямой ток 150 мА;
- мощность рассеяния 570 мВт;
- прямое напряжение 3,3–3,8 В;
- тепловое сопротивление  $40\text{--}50\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ .

### Приборы промышленного назначения в корпусах PLCC-6

К одной из последних разработок компании относятся трехцветные светодиодные сборки промышленного назначения ASMT-YTB2-0VB02, ASMT-YTC2-0AA02, ASMT-YTD2-0VB02 в высоконадежных корпусах PLCC-6 черного (рис. 12) и белого цвета (рис. 13). Светодиоды каждого цвета в составе приборов имеют отдельные выводы. Основное назначение приборов — полноцветные видео- и информационные дисплеи для помещений и наружных приложений. Светодиоды сборок отличаются высокой яркостью, широкой диаграммой углового распределения силы света ( $120^{\circ}$ ). Влаго- и брызгозащитные корпуса приборов размерами  $3\times 2,8\times 1,8\text{ мм}$  удовлетворяют требованиям IPX6 стандарта IEC 60529:2001. Диапазон рабочих температур  $-40...+110\text{ }^{\circ}\text{C}$ , максимальная температура переходов кристаллов  $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



Рис. 12. Внешний вид приборов ASMT-YTB2-0BB02



Рис. 13. Внешний вид приборов ASMT-YTD2-0BB02

Приборы состоят из красных AlInGaP ( $I_v \approx 745$  мкд,  $\lambda_d \approx 622$  нм), зеленых InGaN ( $I_v \approx 1600$  мкд,  $\lambda_d \approx 530$  нм) и синих ( $I_v \approx 380$  мкд,  $\lambda_d \approx 470$  нм) светодиодов. Сила света указана для прямого тока 20 мА. Зависимость относительной силы света от прямого тока приборов приведена на рис. 14. Максимальный постоянный прямой ток не должен превышать 50 мА (AlInGaP) и 30 мА (InGaN), импульсный — 100 мА (коэффициент заполнения 10%, частота следования импульсов 1 кГц).

### Миниатюрные светодиодные лампы

К последним разработкам компании также относятся миниатюрные светодиодные лампы

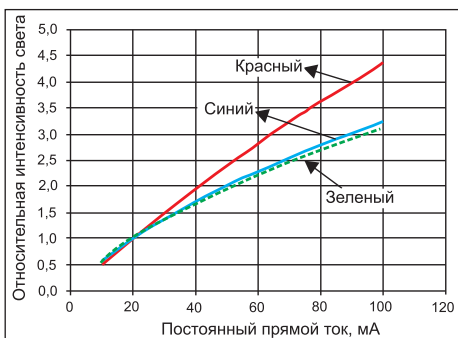


Рис. 14. Зависимость относительной силы света приборов в корпусах PLCC-6 от прямого тока

AMLD-EG3D-VX002 (красная,  $\lambda_d \approx 626$  нм,  $I_v$  — 4200–9300 мкд), ALMD-EL3D-VX002 (янтарная,  $\lambda_d \approx 590$  нм,  $I_v$  — 4200–9300 мкд), ALMD-СМ3D-ХХ002 (зеленая,  $\lambda_d \approx 525$  нм,  $I_v$  — 7200–16000 мкд), ALMD-СВ3D-SU002 (синяя,  $\lambda_d \approx 470$  нм,  $I_v$  — 1900–4200 мкд). Все приборы имеют узкую ( $30^\circ$ ) диаграмму распределения силы света и выполнены в компактных корпусах размерами 4,2×4,2×6,5 мм (с выводами). Внешний вид приборов показан на рис. 15. Основное назначение изделий — подсветка различных знаков, указателей и т. п.



Рис. 15. Внешний вид миниатюрных светодиодных ламп

### Тестовые испытания приборов Avago

Компания уделяет большое внимание надежности выпускаемых светодиодов, тестовые испытания проводятся в соответствии с последними редакциями стандартов JEDEC. Рассмотрим параметры и результаты испытаний на примере светодиодов серии ASMT-Jx1x [5]. Структура прибора, установленного на радиатор охлаждения, приведена на рис. 16.

Испытания на длительность работы при максимально возможной температуре кристаллов  $T_j = +150^\circ\text{C}$  проводились для 160 InGaN-приборов ( $T_{hs} = +132^\circ\text{C}$ ); при  $T_j = +125^\circ\text{C}$  — для 80 AlInGaP-приборов. Общее время испытаний составило 160 000 ч (Total Device Hrs, 160×1000 ч) и 80 000 часов соответственно (80×1000 ч). Результаты испытаний: отказов нет,

среднее время безотказной работы (MTBF) — 174600/94200 ч, интенсивность отказов (Failure Rate) — менее 0,57%/1000 ч и менее 1,06%/1000 ч соответственно. Температура переходов кристаллов светодиодов определяется выражением  $T_j(^\circ\text{C}) = T_{hs}(^\circ\text{C}) + R_{\Theta j-hs} \times P_{avg}$ , где  $T_{hs}$  — температура в центре радиатора охлаждения;  $R_{\Theta j-hs}$  — тепловое сопротивление кристалл–теплоотвод ( $^\circ\text{C}/\text{Вт}$ );  $P_{avg}$  — средняя мощность рассеяния (Вт).

Кроме того, приборы серии проходили ряд дополнительных испытаний:

- на воздействие термоциклирования по стандарту JESD22-A104 — 100 циклов по 5 мин. при  $-40 \dots +120^\circ\text{C}$  (2159 приборов);
- на длительность работы при комнатной температуре по стандарту JESD22-A108 —  $T_{hs} = +25^\circ\text{C}$ ,  $I_{np} = 350$  мА, 1000 ч (280 приборов);
- на длительность работы при низкой температуре по стандарту JESD22-A108 —  $T_{hs} = -40^\circ\text{C}$ ,  $I_{np} = 350$  мА, 1000 ч (320 приборов);
- на длительность работы при высокой температуре и влажности по стандарту JESD22-A101 ( $T_{hs} = +85^\circ\text{C}$ , влажность 85 %) —  $I_{np} = 350$  мА, 1000 ч (160 приборов);
- на воздействие вибрации по стандарту JESD22-B103 — 10/2000/10 Гц с линейным свипшированием, ускорение 2G (1 мин., 1,5 мм по трем осям);
- на воздействие ударов по стандарту JESD22-B104 — ускорение 1500 G (0,5 мс, пять ударов по шести направлениям).

Проводятся также и некоторые другие испытания, в том числе по собственным методикам компании.

Чертежи приборов, рассмотренных в статье, и системы их обозначений приведены на сайте журнала ([http://www.led-e.ru/filez/drawing\\_packages.zip](http://www.led-e.ru/filez/drawing_packages.zip)).

### Литература

1. <http://www8.hp.com/us/en/hp-information/about-hp/history/history.html>
2. <http://www.avagotech.ru/docs/22001>
3. <http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=203541&p=irol-irhome>
4. [http://www.avagotech.ru/pages/ru/leds/avago\\_led\\_through\\_hole\\_lamps/](http://www.avagotech.ru/pages/ru/leds/avago_led_through_hole_lamps/)
5. <http://www.avagotech.ru/docs/AV02-1775EN>

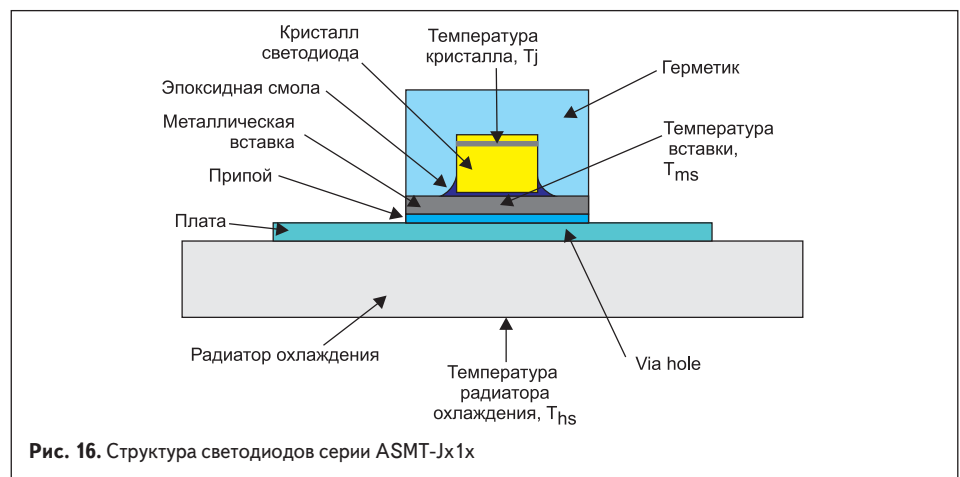


Рис. 16. Структура светодиодов серии ASMT-Jx1x