

Современные высокоэффективные светодиоды компании Samsung

Юрий Петропавловский (Ростовская обл.)

Компания Samsung, потребляющая большую часть производимых ею светодиодов, в спецификациях и руководствах по применению новых серий осветительных светодиодов приводит достаточно полные данные об их параметрах, что позволяет сравнивать эффективность приборов различных производителей.

По данным ведущих аналитических агентств и специализированных изданий, примерно 70% выпускаемых в мире светодиодов приходится на 10 ведущих производителей. Компания Samsung LED, входящая в корпорацию Samsung, с четвертой позиции в 2009 году поднялась на вторую по доходам от продаж корпусированных светодиодов в 2010 и 2011 годах, обойдя Cree и Osram. В первую десятку мировых производителей светодиодов в 2011 году вошли следующие компании: Nichia, Samsung LED, Osram Opto Semiconductors, LG Innotek, Seoul Semiconductor, Cree, Philips Lumileds, Sharp, Toyoda Gosei, Everlight [1, 2].

В отличие от других производителей из списка лидеров, компания Samsung весьма значительную долю производимых светодиодов направляет на собственные нужды, так как корпорация является одним из ведущих мировых производителей ЖК-панелей, мониторов и телевизоров, задняя подсветка которых всё чаще выполняется на светодиодах. Известно, что 100% проданных в России телевизоров и мониторов Samsung со светодиодной подсветкой с 2011 года производятся на предприятии ООО «Самсунг Электроникс Рус Калуга», расположенном в индустриальном парке «Ворсино» в Калужской области.

Существенную долю производимых светодиодов компания направляет на производство собственных осветительных приборов, номенклатура которых очень широка. Качественные показатели светодиодов компании непрерывно улучшаются. Световая эффективность ряда приборов и модулей последних лет приближается и, во многих случаях, опережает этот показатель изделий у других ведущих производителей осветительных светодиодов.

История производства светодиодов Samsung началась в 1995 году, когда эти приборы начала выпускать Samsung Electro-Mechanics. В 2001 году этой компанией был разработан первый в Корее синий светодиод, а в 2004 году введён в строй завод по производству светодиодов в Тяньцзине (КНР). В 2006–2008 годах начато их массовое производство для ЖК-телевизоров и мониторов.

Компания Samsung LED была образована в 2009 году как совместное предприятие Samsung Electronics и Samsung Electro-Mechanics. В 2010 году основаны предприятия Tianjin Samsung LED в Китае и Samsung LED America в США, в 2011 году – Samsung LED Europe в Германии.

Землетрясение и цунами в Японии в марте 2011 года привели к глобальному дефициту кремниевых пластин, используемых для производства полупроводниковых приборов, в том числе светодиодов. По этой и другим причинам в 2011 году было создано совместное предприятие Samsung LED и Sumitomo Chemical (Япония) по производству сапфировых подложек для осветительных светодиодов.

Однако в 2011 году продажи светодиодов компании существенно снизились из-за недостаточной загрузки производственных мощностей. Для исправления ситуации руководством Samsung Electronics было принято решение о слиянии с Samsung LED, направленное на консолидацию усилий по расширению доступа объединённой компании к рынку осветительных светодиодов. Сделка была завершена к апрелю 2012 года, и с тех пор светодиодный бизнес компании выступает под общим брендом Samsung [3, 4].

Номенклатура корпусированных светодиодов объединённой компании была сокращена, а качественные пара-

метры приборов существенно улучшены, что позволило продукции Samsung занять достойное место среди аналогичных изделий ведущих производителей.

В настоящее время Samsung производит корпусированные светодиоды, светодиодные лампы и осветительные приборы. В каталоги компании 2013 года включены светодиодные продукты следующих категорий:

- светодиодные компоненты для информационных и коммуникационных приложений (IT&C). В данную категорию включены светодиоды для подсветки ЖК-дисплеев семейств Edge LED (торцевая подсветка) и Direct LED (задняя подсветка), светодиодные приборы для мобильных приложений семейства Flash LED (модули с линзами и рефлекторами) и Side View LED (бокового излучения);
- светодиодные компоненты. В эту категорию входят светодиоды средней (Middle Power) и большой (High Power) мощности;
- осветительные приборы (LED Engine) представлены широкой номенклатурой осветительных приборов окружающего и верхнего света, светильники большой яркости;
- светодиодные лампы серий LED Bulb, MR, PAR, Deco и светодиодные трубки (LED Lamp);
- светодиодные компоненты для автомобильных приложений средней и большой мощности (Automotive Lighting) [5].

Классификационные параметры светодиодных компонентов, представленные в каталоге компании 2013 года, приведены в таблице 1. Рассмотрим особенности новых светодиодов и светодиодных модулей компании более подробно.

Светодиоды семейства Edge LED предназначены для применения в системах боковой подсветки ЖК-дисплеев, отличающихся узкой окантовкой панелей. Боковая подсветка основана на применении светораспределителей LGP (Light Guide Plate) и плёночных поляризаторов DBEF (Dual Brightness Enhancement Film), для реализации боковой подсветки требуются све-

диоды особой конструкции. Приборы серий TT721A, TT722A, TT732A предназначены для панелей Normal Bezel с шириной окантовки 10–15 мм, приборы серий TS731A, TS732A – для панелей Super Narrow Bezel с шириной окантовки 4–9 мм. Панели с узкой окантовкой применяются для создания

видеостен или компоновки нескольких панелей в единый панорамный дисплей. Компания Samsung выпускает, например, встроенный монитор на основе ЖК-панелей Super Narrow Bezel типа MD230X3 с разрешением 5760 × 1080 пикселей. Внешний вид монитора показан на рисунке 1.



Рис. 1. Внешний вид монитора Samsung MD230X3

Таблица 1. Классификационные параметры автомобильных светодиодных компонентов

Категория	Семейство	Серия (тип)	$I_{пр}$, кд	$\Phi_{пр}$, лм	$I_{пр}$, мА	$U_{пр}$, В	R_{sp} , CRI	Габариты, мм	Ширина диаграммы, град	T_{amb} (К), координаты X,Y	Примечания
IT & C	Edge LED	TS731A	9,86...13,84		120	2,95...3,40		7 × 3,2 × 1,1	120		
		TS732A	19,47...27,33		120	5,9...6,5		7 × 3,2 × 1,1	120		
		TT732A	17,59...24,64		100	5,75...6,30		7 × 3 × 0,81	120		
		TT721A	9,9...14,0		120	2,95...3,35		7 × 2 × 0,8	120		
		TT722A	12,0 (типичное)		140	6,1 (тип.)		7 × 2 × 0,8	140		
	Direct LED	TT321A	30,81...36,79		400	3,3...3,9		3,2 × 2,8 × 0,8	120		
	Flash LED	FH411B	165...240		1000	2,8...4,0		4,1 × 3,9 × 1,8			
		FH412B	130...210		1000	2,8...4,2		4,1 × 3,9 × 2,1			
		FH411A	180...260	212...306	1000	2,8...4,0		4,1 × 3,9 × 2,1	134	5000–7000	T_{amb} зависит от $I_{пр}$
		FH401A	230...300	245...320	1000	3,2...4,0		4 × 3,9 × 1,9	124	5564–7000	T_{amb} зависит от $I_{пр}$
		FH402A	160...250		1000	2,8...4,3		4 × 3,9 × 1,9	124		
	Side View LED	MS062F	2,9 (типичное)		20			3,8 × 1 × 0,6	115	x0,294, y0,282	
		MS063E	2,65 (типичное)		20			3,8 × 1 × 0,6	115	x0,294, y0,282	
		MS082F	3 (типичное)		20			3,8 × 1 × 0,8	120	x0,294, y0,282	
MS081F		2,75 (типичное)		20			3,8 × 1 × 0,8	120	x0,296, y0,276		
Светодиодные компоненты	большой мощности	LN351A		90...160	350	2,95...3,30	70-80	3,5 × 3,5 × 1,89	125	2700, 3000, 3500, 4000, 5000, 5700, 6500, 7600	8 исполнений
		LC006A		550...755	175	36,5...37,5	70-80	18 × 13,5 × 6,4	115	2700, 5000	2 исполнения
		LC013A		950, 1050	350	36,5...38,5	80	25,25 × 20,25 × 1,5	115	3000, 5000	2 исполнения
		LC026A		1920, 2120	720	36,9...38,5	80	31 × 21 × 1,4	115	3000, 5000	2 исполнения
		LN934A		355...460	29	220...250	80	12,4 × 11,4 × 4,38	136	2700, 3000, 3500, 4000, 5000, 6500	6 исполнений
	средней мощности	LM561A		13,63...19,61	50	2,91...3,30	80		120	2700, 3000, 3500, 4000, 4500, 5000, 5700, 6500	8 исполнений
		LM561B		24,0...32,5	65	2,9...3,2	80	5,6 × 3 × 0,8	120	2700, 3000, 3500, 4000, 5000, 5700, 6500	7 исполнений
		LM231A		19,81...31,87	65	2,86...3,30	80	2,3 × 2,3 × 0,7	120	2700, 3000, 3500, 4000, 4500, 5000, 5700, 6500	8 исполнений
		LM231B		19,0...28,5	65	2,91...3,20	80	2,3 × 2,3 × 0,7	120	2700, 3000, 3500, 4000, 5000, 5700, 6500	7 исполнений
		LM362A		51...105	100	6,0...6,6	80	3,6 × 2,3 × 0,6	120	2700, 3000, 3500, 4000, 5000, 5700, 6500,	8 исполнений
Автомобильные компоненты	большой мощности	SACHSW654XXN-ONNAAA		650...850	700		60–69	16 × 17 × 1,5	120	5400	
		SPHWHTL3D1A3		100...140	350	2,8...3,4			80	белый	
	средней мощности	SPMWHT3215A3	3,2...5,5	9,6...16,5	50	2,7...3,6	70	3,2 × 2,8 × 1,9	120	5500	80 лм/Вт
		SPMWHT3235A3	2...4	6,1...12,0	50	2,7...3,6	70	3,2 × 2,8 × 1,9	120	5500	55 лм/Вт
		SPMWHT345EA3	10...16	27,0...43,2	140	2,9...4,1	70	3,2 × 2,8 × 1,9	120	5500	70 лм/Вт
		SPMWHT346EA3	6...10	16,2...27,0	140	2,9...4,4	70	3,2 × 2,8 × 1,9	120	5500	40 лм/Вт
		SPMRDT3215A0	1,8...2,8	5,4...8,4	50	1,9...2,5		3,2 × 2,8 × 1,9	120	красный	60 лм/Вт
		SPMRDT3225A0	5...8	6,5...13,3	50	1,9...2,5		3,2 × 2,8 × 3,1	60	красный	80 лм/Вт
		SPMRDT3235A0	1,8...2,8	5,4...8,4	50	1,9...2,5		3,2 × 2,8 × 1,9	120	красный	60 лм/Вт
		SPMRDT345EA0	5,6...9,0	16,8...27,0	140	1,9...2,5		3,2 × 2,8 × 1,9	120	красный	60 лм/Вт
		SPMRDT346EA0	4,5...7,1	13,5...21,1	140	1,9...2,5		3,2 × 2,8 × 1,9	120	красный	50 лм/Вт
		SPMAMT3215A0	1,4...2,8	4,2...8,4	140	1,75...2,65		3,2 × 2,8 × 1,9	120	янтарный	60 лм/Вт
		SPMAMT345EA0	3,55...7,10	10,6...21,3	140	1,75...2,65		3,2 × 2,8 × 1,9	120	янтарный	50 лм/Вт



Рис. 2. Зависимость освещенности прибора FH411A от прямого тока

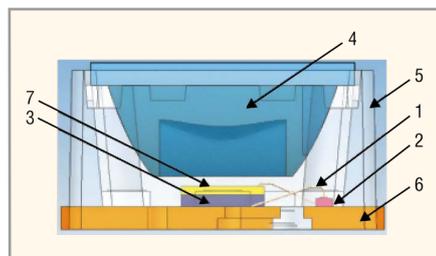


Рис. 3. Структура прибора FH411A

1 – выводная траверса (золото); 2 – защитный кремниевый стабилитрон; 3 – светодиодный кристалл (синий, InGaN/Al2O3); 4 – диффузионная линза (силикон + кремниевый наполнитель); 5 – литой корпус (материал PPA – полифталомид и т.п.); 6 – основание (медь); 7 – спектропреобразующая пластина (силикон с фосфоросодержащим покрытием).

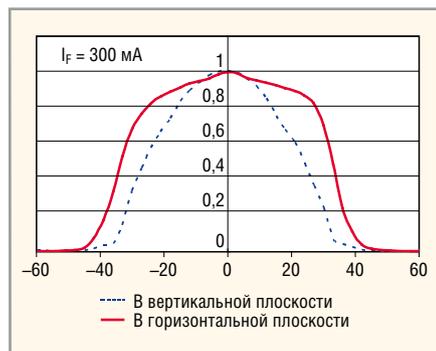


Рис. 4. Диаграмма распределения относительной силы света прибора FH401A



Рис. 5. Внешний вид приборов серии LM351A

Светодиоды семейства Direct LED предназначены для систем прямой и матричной подсветки ЖК-панелей, где требуется большое число единичных светодиодов. Приборы этой серии

имеют широкую диаграмму распределения силы света, что позволяет уменьшить количество светодиодов в системе подсветки.

В приборы серий FH411/412, FH401/402 семейства Flash LED интегрированы светодиодные кристаллы, рефлекторы и линзы. Это упрощает их установку в мобильные устройства. Приборы не требуют использования защитных стёкол и могут быть установлены в электрических фонарях, развлекательных устройствах и др. Все приборы обеспечивают высокую равномерность освещения, достаточную для применения в камерах wide FOV (Field of View) с широким полем обзора. Особенности и некоторые параметры приборов FH411A (исполнение SPFCW04301BL):

- широкий световой пучок ($\Delta\theta = 67^\circ \times 59^\circ$) для обеспечения равномерной освещенности;
- светодиодный кристалл на основе материала InGaN/GaN с высокой долговременной надёжностью;
- максимальный постоянный ток (фонарный режим) 300 мА, импульсный ток 1300 мА ($T_{имп}$ не более 300 мс);
- тепловое сопротивление переход-точка пайки $R_{th,j-s} = 9^\circ\text{C}/\text{Вт}$;
- максимальная температура кристалла 125°C , диапазон рабочих температур $-40...+85^\circ\text{C}$;
- освещенность на расстоянии 1 м составляет 58 лк ($I_{пр} = 300$ мА) и 220 лк (1000 мА) соответственно.

Цветовая температура приборов зависит от величины прямого тока: при $I_{пр} = 300$ мА – $T_{цв} = 5800$ К, при $I_{пр} = 700$ мА – $T_{цв} = 5895$ К, при $I_{пр} = 1$ А – $T_{цв} = 6000$ К (типичные значения). Зависимость освещенности, создаваемой прибором на расстоянии 1 м, от прямого тока приведена на рисунке 2. Эскиз конструкции прибора показан на рисунке 3.

Диффузионная линза прибора формирует световой пучок с резким падением силы света за пределами диаграммы распределения. Прибор FH401A отличается более узкой диаграммой ($\Delta\theta = 62^\circ \times 48^\circ$), приведённой на рисунке 4, и обеспечивает освещенность на расстоянии 1 м в пределах 230–300 лк (типичное значение 245 лк).

Светодиодные компоненты большой мощности

Светодиоды этой категории, по данным спецификаций 2013 года, являются, в основном, модификациями ранее

разработанных компанией Samsung LED InGaN/GaN приборов серий 3533, HV-AC, HV-DC и др. Они выполнены с использованием технологии MQW и отличаются более высокой световой эффективностью. Приборы соответствуют требованиям недавно принятого стандарта IES-LM-80-2008, определяющего изменения параметров осветительных светодиодов в течение срока службы.

Технология MQW (Multiple-quantum well) на «мультиквантовых точках» разработана М. Бауэрсом (М. Bowers). Она заключается в покрытии синих светодиодов «квантовыми точками», излучающими белый свет при облучении синим светом светодиодов. Такая технология позволяет получить тёплый белый свет, подобный свету ламп накаливания. «Квантовые точки» являются нанокристаллами полупроводника, имеющими особые оптические свойства. Цвет излучения приборов, выполненных по этой технологии, может быть изменён в широких пределах.

Прототипами приборов серии LM351A являются светодиоды серии 3535 Samsung LED, их внешний вид показан на рисунке 5. В состав серии входят 8 типов мощных белых светодиодов, отличающихся цветовой температурой. Каждый из них отбирается по световому потоку (от 80...90 лм до 150...160 лм), цветовым координатам, индексу цветопередачи (CRI от 70 до 90) и прямому напряжению (от 2,7...2,8 В до 3,2...3,3 В). Приборы серии выполнены в корпусе с керамической подложкой и удовлетворяют требованиям стандартов JEDEC Level 2 и IES-LM-80-08 (испытания на надёжность). Области применения: приборы верхнего и направленного света для внутреннего освещения; наружное освещение – уличное, охранное, освещение туннелей и парковочных стоянок; промышленное освещение, потребительские приложения, например, фонари.

Светодиоды серии LM351A могут работать при максимальной температуре перехода T_j до 150°C и прямом токе до 1,5 А при $T_j = 25^\circ\text{C}$. При увеличении тока до 800 мА излучаемый световой поток увеличивается в 2 раза относительно номинального значения. Тепловое сопротивление переход-корпус приборов не превышает $6^\circ\text{C}/\text{Вт}$ (типичное значение $4^\circ\text{C}/\text{Вт}$). Приборы можно использовать при повышенных прямых токах,

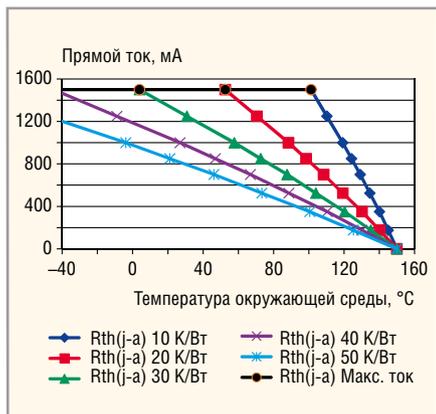


Рис. 6. Зависимости допустимого прямого тока светодиодов LM351A от температуры

не допуская превышения температуры кристалла. На рисунке 6 приведены зависимости допустимого прямого тока светодиодов от температуры окружающей среды при различных тепловых сопротивлениях кристалл-окружающая среда $R_{th,j-s}$.

Световая эффективность приборов существенно зависит от величины прямого тока и температуры кристаллов при эксплуатации. На рисунке 7 приведены температурные зависимости эффективности в лм/Вт и в процентах от номинальных значений для рассма-

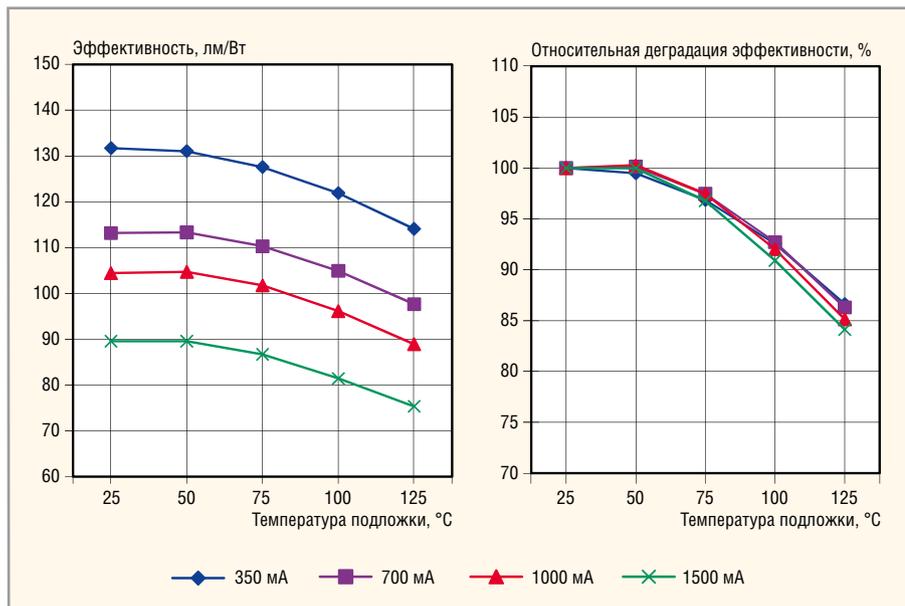


Рис. 7. Температурные зависимости эффективности светодиодов серии LM351A

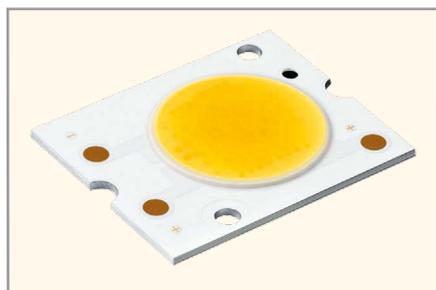


Рис. 8. Внешний вид приборов LC013A

триваемых светодиодов при различных значениях прямого тока.

Приборы серии LC006A выполнены по технологии «кристалл на плате» (COB). В состав серии входят 2 типа приборов, каждый из которых отбирается по цветовой температуре ($T_{цв} = 2700$ К и 5000 К) и цветовым координатам (7 подклассов). Светодиоды серии предназначены для осветительных приборов верхнего и направленного света, светодиодных ламп, для наружного освещения и др.

Приборы отличаются высокой световой эффективностью. Для исполнения с $T_{цв} = 5000$ К – от 114 лм/Вт ($I_{пр} = 210$ мА) до 141 лм/Вт (30 мА). Основные параметры приборов:

- максимальный прямой ток 220 мА, импульсный ток 250 мА (при длительности импульсов не более 10 мс);
- тепловое сопротивление переход-корпус $R_{th,j-s} = 1,9^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$;
- максимальная температура перехода $T_j = 150^{\circ}\text{C}$;
- световой поток 550–605 лм ($T_{цв} = 2700$ К, $I_{пр} = 175$ мА), 650–740 лм (5000 К, 175 мА).

Более мощные приборы серии LC013A (внешний показан на рис. 8)

также выполнены по технологии «кристалл на плате»; параметры, отличные от приборов серии LC006A:

- максимальный прямой ток 450 мА, импульсный ток 470 мА;
- тепловое сопротивление переход-корпус $R_{th,j-s} = 1,5^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$;
- световой поток 950...1050 лм ($T_{цв} = 3000$ К, $I_{пр} = 350$ мА), 1050...1150 лм (5000 К, 350 мА);
- световая эффективность от 85 лм/Вт ($I_{пр} = 450$ мА, $T_{цв} = 3000$ К) до 109 лм/Вт ($I_{пр} = 60$ мА, $T_{цв} = 5000$ К).

Самые мощные приборы компании относятся к серии LC026A (внешний вид соответствует рис. 8):

- максимальный прямой ток 840 мА, импульсный ток 880 мА;
- тепловое сопротивление переход-корпус $1,3^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$;
- световой поток 1920...2120 лм ($T_{цв} = 3000$ К, $I_{пр} = 720$ мА), 2120...2320 лм ($T_{цв} = 5000$ К, 720 мА);
- световая эффективность от 75 лм/Вт ($I_{пр} = 840$ мА, $T_{цв} = 3000$ К) до 104 лм/Вт (5000 К, 120 мА).

Приборы серии LH934A (прототипы HV – AC Samsung LED) предназначены для работы от сетей переменного тока; внешний вид приборов показан на рисунке 9. В приборы интегрированы две независимые группы светодиодов, включённые по мостовой схеме. При параллельном соединении мостов приборы могут работать от сети с напряжением 100–120 В, при последовательном – от сети 220–240 В, как показано на рисунке 10. Номиналы и мощность гасящих резисторов R1, R2 зависят от номинального напряжения сети, прямого напряжения (3 подкласса по $U_{пр}$) и выбранного значения прямого тока. Например, для сети 220 В, $U_{пр} = 200$ –205 В с.к.з. (Rank F5) и прямом токе 29 мА с.к.з. сопротивление гасящих резисторов 1,43 кОм/4,5 Вт. Основные параметры приборов:

- максимальный ток/напряжение (с.к.з.) 29 мА/240 В, 58 мА/120 В;
- мощность рассеяния 4,5 Вт;
- максимальная температура переходов $T_j = 125^{\circ}\text{C}$;
- цветовые температуры: 2700, 3000, 3500, 4000 К (CRI не менее 80), 5000, 6500 К (CRI не менее 70);
- световой поток от 220 лм ($I_{пр} = 22$ мА, $T_{цв} = 2700$ К) до 460 лм (29 мА, 6500 К).

Вариант модуля с установленным прибором и гасящими резисторами показан на рисунке 11, ВАХ приборов приведены на рисунке 12.



Рис. 9. Внешний вид приборов LH934A

СВЕТОДИОДНЫЕ КОМПОНЕНТЫ СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ

К этой категории, по состоянию на 2013 год, относятся светодиоды серий LM561A/B, LM231A/B и LM362A. Они предназначены в основном для установки в светодиодные лампы и осветительные приборы различного назначения.

Серии LM561A/B (прототипы серии 5630, 5630 G2) – GaN/Al₂O₃ светодиоды с интегрированными защитными стабилитронами, выполненные в SMD-корпусах. Приборы отличаются очень высокой световой эффективностью – до 141 лм/Вт (LM561A) и до 160 лм/Вт (LM561B). В состав серий входят 8 и 7 типов приборов с различной цветовой температурой, каждый из них отбирается по световому потоку (по 3 подкласса для каждой T_{цв}), цветовым координатам (8 подклассов для каждой цветовой температуры) и прямому напряжению (5 подклассов).

Диаграммы, характеризующие световую эффективность различных исполнений приборов серии LM561B при различной цветовой температуре (Rank W0, V0, U0, T0, R0, Q0, P0) и различных исполнениях по световому потоку (Rank S1, S2, S3), приведены на рисунке 13. Приборы предназначены для светодиодных ламп и трубок, светильников окружающего и верхнего света, потолочных светильников. Основные параметры приборов серии LM561A (в скобках – LM561B):

- максимальный прямой ток 150 мА;
- тепловое сопротивление кристалл-точка пайки K_{th,j-s} = 16°С/Вт;
- максимальная температура перехода 110°С;
- световой поток – от 24 лм (T_{цв} = 2700 К, I_{пр} = 65 мА) до 32 лм (6500 К).

Серия LM231A (прототип – серия 2323L) содержит миниатюрные GaN/Al₂O₃ светодиоды с защитными стабилитронами в SMD-корпусах. В состав серии входят 8 типов приборов с различной цветовой температурой, каждый из которых отбирается по световому потоку и цветовым координатам. Приборы также характеризуются высокой световой эффективностью – от 108 лм/Вт (T_{цв} = 2700 К, I_{пр} = 150 мА) до 138 лм/Вт (T_{цв} = 4500/5000 К, I_{пр} = 50 мА). Приборы идеально подходят для создания светодиодных ламп и трубок, заменяющих лампы накаливания (Retrofit Lamps), световых панелей, светильников верхнего света и других осветитель-

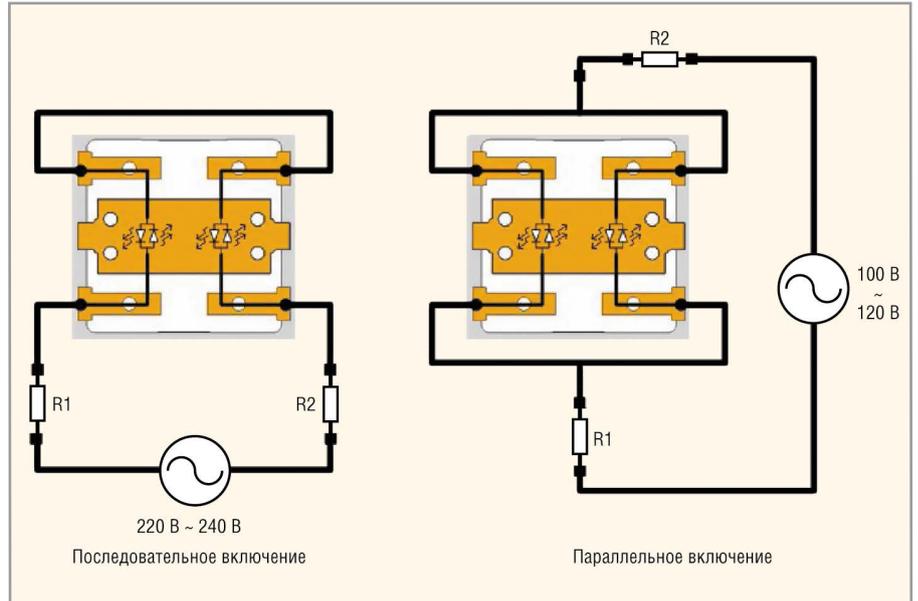


Рис. 10. Включение приборов LM934A

ных приборов с высокой равномерностью освещения.

К серии LM362A (прототип – серия 3623) относятся миниатюрные GaN/Al₂O₃ светодиоды, отличающиеся от приборов серий LM231A/B большими значениями светового потока, более характерными для мощных светодиодов. Световая эффективность приборов также высока и находится в пределах от 87 лм/Вт (T_{цв} = 2700 К, I_{пр} = 200 мА) до 147 лм/Вт (T_{цв} = 5000 К, I_{пр} = 50 мА).

Автомобильные СВЕТОДИОДНЫЕ КОМПОНЕНТЫ

Мощный светодиодный модуль SACHSW654XXN0NNAАА (внешний вид показан на рис. 14) выполнен на подложке с медным основанием. В состав модуля входит светодиодная матрица из четырёх единичных светодиодов, защитный стабилитрон и терморезистор с отрицательным ТКС. Области применения прибора: передние фары ближнего и дальнего света автомобилей, фары мотоциклов, замена ламп ДРЛ, противотуманные фары. Выпускаются 4 исполнения модулей по световому потоку: D0 – 650...700 лм, E0 – 700...750 лм, F0 – 750...800 лм, G0 – 800...850 лм и 2 исполнения по цветовым координатам (R0, S0). Основные параметры модуля:

- максимальный прямой ток 1 А при T = 25°С;
- максимальная температура переходов T_j = 150°С;
- диапазон рабочих температур –40...+125°С.

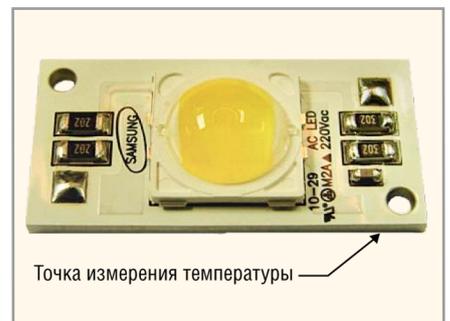


Рис. 11. Модуль с прибором LM934A

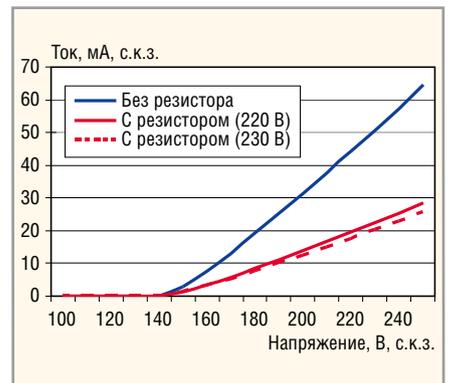


Рис. 12. Вольт-амперные характеристики прибора LM934A

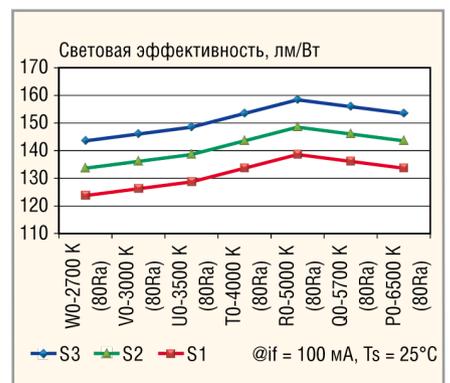


Рис. 13. Диаграммы световой эффективности приборов LM561B

Белые светодиоды средней мощности SPMWHT3xxx выполнены в силиконовых корпусах одинаковых размеров на подложке с серебряным покрытием (внешний вид показан на рис. 15). Приборы соответствуют требованиям стандарта АЕС Q-101 и предназначены для следующих автомобильных приложений: системы подсветки (ЖК-панели, переключатели, кнопки, дисплей, рекламные модули); внутреннее и внешнее освещение, в том числе приборные доски и стоп-сигналы; замена миниатюрных ламп накаливания; маркерное освещение; освещение сигналов и символов. Основные параметры приборов SPMWHT3215A3, SPMWHT3235A3/SPMWHT345EA3 и SPMWHT346EA3:

- максимальный прямой ток 70 мА и 250 мА;
- мощность рассеяния 180 мВт и 500 мВт;
- тепловое сопротивление кристалл-точка пайки 70 К/Вт и 5 К/Вт;
- диапазон рабочих температур $-40...+110^{\circ}\text{C}$ и $-40...+125^{\circ}\text{C}$;
- максимальная температура перехода $T_j = 125^{\circ}\text{C}/150^{\circ}\text{C}$.

Внешний вид красных светодиодов средней мощности с доминирующей длиной волны 620 нм SPMRDT3xxx соответствует рисунку 15 (кроме SPMRDT3225A0, оснащённого собирающей линзой). Области применения приборов такие же, как и у выше рассмотренных белых светодиодов. Основные параметры приборов SPMRDT3215A0, SPMRDT3225A0, SPMRDT3235A0/SPMRDT345EA0 и SPMRDT346EA0:

- максимальный прямой ток 70 мА и 200 мА;
- мощность рассеяния 180 мВт и 560 мВт;
- тепловое сопротивление кристалл-точка пайки 67 К/Вт и 40 К/Вт;
- диапазон рабочих температур $-40...+100^{\circ}\text{C}$ и $-40...+110^{\circ}\text{C}$;
- максимальная температура перехода $T_j = 125^{\circ}\text{C}$.

Внешний вид янтарных светодиодов средней мощности с доминирующей длиной волны 590 нм SPMAMT3xxx также соответствует рисунку 15, а основные параметры – вышеописанным красным светодиодам SPMRDT345/346EA0.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Важнейшими параметрами осветительных светодиодов являются световая эффективность и срок службы,

над улучшением которых работают все ведущие производители. Теоретический максимум световой эффективности составляет 320 ± 20 лм/Вт [6]. Однако при выборе конкретных светодиодов из большого числа предложений не так просто найти варианты с наилучшей световой эффективностью, поскольку не существует однозначного определения этого параметра, признанного всеми производителями светодиодов.

Фактически световая эффективность осветительных светодиодов зависит не только от их физических характеристик (производитель, тип прибора, исполнение/подкласс), но и от режимов их работы и других параметров, в том числе от прямого тока и напряжения, температуры кристаллов, цветовой температуры и величины светового потока. Поэтому прямое сопоставление световой эффективности по спецификациям различных производителей без учёта условий измерений некорректно.

Компания Samsung в спецификациях и руководствах по применению новых серий осветительных светодиодов приводит достаточно полные данные об их параметрах, в том числе о световой эффективности в различных условиях эксплуатации. Рассмотрим в этом ракурсе световую эффективность светодиодов компании на примере приборов серии LM351A.

Параметры приборов этой серии нормируются при температуре кристаллов 25°C и прямом токе 350 мА, конкретные исполнения, определяемые 18-значными буквенно-цифровыми наименованиями, характеризуются различными цветовыми температурами (8 исполнений, от 2700 К до 7600 К), индексами цветопередачи (4 исполнения: CRI не менее 70, 75, 80, 90), прямым напряжением (6 исполнений, от 2,7...2,8 В до 3,2...3,3 В), световым потоком (8 исполнений, от 80...90 лм до 150...160 лм) и цветовыми координатами (от 3 исполнений для $T_{\text{цв}} = 7600$ К, до 24 исполнений для $T_{\text{цв}} = 2700$ К, всего более 100 исполнений).

Минимальным значением световой эффективности характеризуется исполнение с CRI более 90, $T_{\text{цв}} = 2700$ К, $U_{\text{пр}} = 3,3$ В и световым потоком 80 лм. Расчётная эффективность светодиода этого исполнения 69,2 лм/Вт. Максимальным значением световой эффективности характеризуются исполнения с CRI более 70,



Рис. 14. Внешний вид прибора SACHSW654XXNONNAAA



Рис. 15. Внешний вид приборов SPMWHT3xxx

$T_{\text{цв}} = 5000/5700/6500/7600$ К, $U_{\text{пр}} = 2,7$ В и световым потоком 160 лм; расчётная эффективность этих исполнений 169,3 лм/Вт.

С ростом температуры кристаллов свыше 50°C и увеличением прямого тока световая эффективность светодиодов уменьшается, как показано на рисунке 7. Видно, что эффективность светодиода со 133 лм/Вт при $T = 25...50^{\circ}\text{C}$, $I_{\text{пр}} = 350$ мА уменьшается до 75 лм/Вт при увеличении температуры до 125°C и тока до 1,5 А, то есть примерно в 2 раза.

Таким образом, сравнивать эффективность осветительных светодиодов различных производителей следует при равенстве температур кристаллов, цветовых температур, индексов цветопередачи, потребляемой мощности ($P = U_{\text{пр}} \times I_{\text{пр}}$) и световых потоков. Несоблюдение этих требований не позволяет корректно сравнивать светодиоды различных производителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. www.electroiq.com/articles/sst/2012/02/top-10-led-manufacturers-in-2011.html.
2. <http://ledsmagazine.com/news/8/2/29>.
3. <http://ledsmagazine.com/news/9/1/3>.
4. <http://investing.businessweek.com/research/stocks/private/snapshot.asp?privcapId=59018576>.
5. www.samsung.com/global/business/led/.
6. http://beryll.physic.ut.ee:10010/~daniilkin/technical/phosphor-converted%20LEDs/LED_and_luminophor/modernefficiency.html.

