

Ральф Бертрам (Ralph Bertram)

Перевод: Владимир Рентюк

Многокристальные матричные светодиоды в SMD-корпусах: преимущества в долгосрочной перспективе

Не так давно сразу несколько компаний запустили в производство новые продукты, которые в общем виде можно считать новым классом светодиодов (СД), — многокристальные матричные СД в SMD-корпусах. Эти мощные СД-матрицы могут обеспечить световой поток 300–1500 лм, создавая тем самым в данной «весовой категории» серьезную конкуренцию СД-кластерам типа «кристалл-на-плате». В статье предлагается обзор преимуществ и недостатков этого варианта технологии корпусирования СД при их использовании в ретрофитных лампах, а также в светильниках различных видов. Тематические исследования показывают существенные преимущества, которые может дать такой класс СД-излучателей, как CAS, причем при их использовании как в прожекторах, так и в источниках света с широкой диаграммой распределения силы света. Рассматриваются вопросы срока службы СД-излучателей нового класса и проблемы их надежности, а также даются пояснения, как правильный выбор таких продуктов и хорошо выполненная с точки зрения отвода тепла конструкция могут удовлетворить самым высоким требованиям потребителя.



Недавно запущенные в производство светодиодные многокристальные матричные СД в SMD-корпусах (Chip Arrays in SMD packages, CAS) объединяют в себе высокую эффективность (КПД) и светоотдачу СД-излучателей, выполненных по технологии «кристалл-на-плате» (Chip-on-Board, CoB), с экономически эффективной и надежной технологией сборки электроники с использованием установок для поверхностного монтажа элементов, известной как Pick-and-Place (технология с вакуумными захватывающими и позиционирующими инструментами). Печатная плата при этом более не является частью непосредственно самого излучателя, как в случае с технологией CoB, а становится частью светильника, так что здесь имеется большая свобода для производителей в части разработки его конструкции. Это открывает дополнительные возможности для переноса на плату с СД таких функциональных узлов, как термозащиты, разъемы или даже компоненты драйвера. Благодаря указанным возможностям новые СД-элементы высокой мощности представляют серьезную конкуренцию COB в данной категории источников света по уровню светового потока.

Все многокристальные СД-матрицы в SMD-корпусах, которые в настоящее время доступны на рынке, имеют световой поток более 300 лм, однако некоторые могут дать даже более 1200 лм. Благодаря таким высоким уровням ретрофитные лампы со световым потоком, эквивалентным световому потоку от ламп накаливания мощностью 25–75 Вт, теперь возможны для изготовления всего с одним СД-излучателем. Ведущие производители специально приспособили свои продукты к тому диапазону по световому потоку осветительных приборов, который необходим именно для изготовления большинства направленных и ненаправленных ретрофитных ламп. Кроме того, еще одной целью было обеспечение их достаточно высокой эффективности по классу энергопотребления А+ в соответствии с европейской директивой по энергетической эффективности. В общем виде форм-факторы корпусов новых светодиодов включают в себя типоразмеры: 5×5, 7×7 и даже 9,5×9,5 мм.

Как и в случае технологии CoB, световой поток в технологи CAS генериру-

Таблица. Сравнение различных технологий сборки светодиодов

Параметр	COB	CAS в корпусе на базе выводной рамки	CAS в керамическом корпусе	Светодиод типоразмера 3030 в корпусе на базе выводной рамки	Мощный керамический светодиод
Световой поток, лм	300–10 000	300–1200	~400–1600	~110	100–1200
Эффективность (КПД)	++	+	+	+	++
Преимущества	Простота ручной сборки	Экономически эффективны, сборка по технологии SMT	Может работать в условиях высоких температур	Экономически эффективны, но только в многоточечных (мультиспотовых) светильниках	Высокая устойчивость ко внешним воздействиям
Стоимость системы	Относительно высокая стоимость для маломощных приборов	Экономия за счет цены СД, затрат на систему и на сборку	Экономия в затратах на систему и расходах на сборку	Товар широкого применения с низкой ценой	Высокая стоимость самого светодиода
Надежность	Базовая	Базовая	Хорошая	Базовая	Высокая

ется массивом объемных излучающих СД-чипов (Sapphire). Но в отличие от CoB, чипы в CAS установлены непосредственно на подложки из материала с высокой отражающей способностью или на керамической подложке. Все чипы массива излучают голубой свет и залиты силиконовым материалом с наполнением люминофором, который преобразует его в белый свет. Таким образом, простой заменой печатных плат с отражающим материалом производители могут обеспечить легкий монтаж по SMT без ущерба для эффективности (КПД) или других положительных свойств, присущих CoB. В таблице приведено сравнение технологий по уровню светового потока, стоимости системы и ряду других характеристик.

Основные преимущества и недостатки

Первое поколение СД по технологии CAS было разработано для ретрофитных светильников, особенно для их применения в стандартных направленных лампах типов MR и PAR. Таким образом, технология изготовления этих первых продуктов была оптимально настроена именно для того, чтобы заменить галогенные лампы мощностью 20–50 Вт. Соответственно, они могли быть использованы в качестве одиночных (точечных) источников света без характерных для кластерных светильников пятен и множественных теней. Таким образом, они удовлетворяли пожелания многих клиентов, которые хотели иметь с новыми СД такое же качество освещения и чувствовать себя так же, как с галогенными лампами, которые они использовали раньше. При использовании технологии CoB достичь этого было практически невозможно.

Однако новые СД требовали ручной пайки или их части приходилось вручную вставлять в держатели. Между тем уже первые производители поняли, что такой тип корпусирования пригоден также и для более высоких мощностей, что позволит использовать всего лишь один СД для ненаправленных ретрофитных ламп. В этой области применения проявляются и другие преимущества технологии CAS. Теперь, благодаря SMD-корпусам, стала возможной автоматизированная сборка, использование разъемов и даже установка компонентов драйвера непосредственно на СД-плату, что может проложить путь для полной автоматизации производства ретрофитных ламп. Все эти моменты, достигнутые для ретрофитов, также могут быть с успехом применены и к светильникам. С экономически эффективным исполнением СД по технологии CAS, без какого-либо ущерба для внешнего вида, может изготавливаться самый широкий спектр разнообразных источников света, в том числе потолочные светильники типа Downlight и прожекторы различных типов.

Несмотря на все эти преимущества, есть и несколько негативных моментов,



Рис. 1. Новый светодиод Duris S10 (технология CAS)

которые необходимо учитывать при проектировании светильников со СД технологии CAS. Вследствие их более высокого светового потока тепловая нагрузка, которая воздействует на корпус этих СД, находится на уровне нескольких ватт.

Большинство СД технологии CAS выполнены на базе подложек с выводами, т. е. светодиодные кристаллы размещаются непосредственно на медной основе таких рамок (рис. 1). Собственное тепловое сопротивление корпуса (вернее, «*p-n*-переход–точка пайки») мало и даже лучше, чем у CoB-продуктов (например, для прибора мощностью в 10 Вт оно составляет всего 1,2 К/Вт). Однако, в отличие от приборов типа CoB, это тепло не передается непосредственно на металлическую основу печатной платы, оно должно передаться через слой диэлектрика. Таким образом, в расчет необходимо включить дополнительное тепловое сопротивление диэлектрика. Конечно, оно зависит от материала, используемого для печатной платы.

Для печатной платы эффективное значение теплового сопротивления в среднем составляет порядка 1,3 К/Вт, в результате чего общее тепловое сопротивление здесь получается даже несколько выше, чем у технологии CoB. Однако при правильном проектировании печатной платы не должно возникать какой-либо необходимости в дополнительной электрической изоляции СД от радиатора. В этом случае во время ее тестирования при сертификационных испытаниях в соответствии со стандартом IEC 61347 или UL 1310 печатная плата должна обеспечить устойчивость к напряжению пробоя в несколько тысяч вольт. Для упомянутого выше устройства мощностью в 10 Вт наши тепловые расчеты

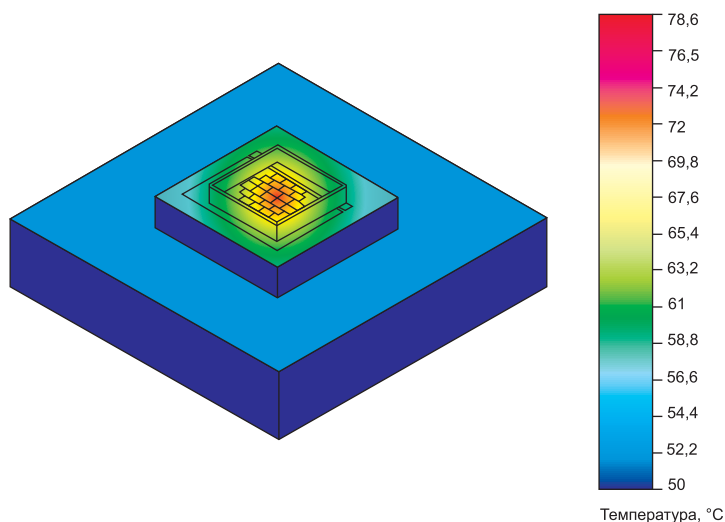


Рис. 2. Тепловое моделирование состояния светодиода Duris S10 на нагретой плате

показали рост типичной температуры перехода по отношению к температуре теплоотвода в 29 К — по сравнению с 21 К для технологии CoB (рис. 2).

Что касается оптики и цветовых характеристик СД технологии CAS, то здесь также имеется несколько интересных моментов. Как и СД технологии CoB, многокристальные матричные СД для поверхностного монтажа первого поколения имели круговую светоизлучающую поверхность (Light-Emitting Surface, LES), что вызывало некоторую озабоченность с точки зрения проектирования и исполнения оптики. Для прибора типоразмера 5050 типичный диаметр равен 4,6 мм, а его излучение лежит в пределах 300–500 лм. Однако, поскольку корпуса являются квадратными, то было обнаружено, что эффективность может быть значительно увеличена, если светоизлучающая поверхность также будет квадратной. Это приводит к увеличению эффективного диаметра до 5,7 мм. Это, как правило, не очень значительное увеличение, но у него есть определенное влияние на конструкцию оптики. По сравнению с СД технологии CoB в том же классе мощности, эффективный диаметр СД типа CAS пока еще мал (6–10 мм).

Еще один важный аспект, который необходимо рассмотреть, — это постоянство цвета. Поскольку СД CAS, вероятнее всего, будет функционировать в качестве одиночного источника света в конечном продукте, то, чтобы избежать неприятных цветовых вариаций от лампы к лампе при их установке в одном и том же светильнике, цветовой биннинг (разбраковка

по цвету) должен осуществляться очень тщательно. К сожалению, из-за разброса параметров производственных процессов ни один производитель пока не может добиться распределения ниже трех ступеней МакАдама, как это обычно достижимо для технологии CoB. Так что здесь необходимо решать, какое изменение цвета может быть приемлемым для проекта, или приобретать за дополнительную плату более дорогие приборы с более тщательным биннингом.

Одной из основных проблем нового класса корпусирования является надежность. Возникает естественный и вполне закономерный вопрос, насколько она достаточна в свете предполагаемых применений. Поскольку большинство доступных на рынке изделий содержит в своей конструкции мягкое металлическое серебро, используемое в материале выводных рамок, и пластик (в качестве материала корпуса), то эти опасения должны быть приняты всерьез.

Рассмотрим влияние различных материалов корпусов СД технологии CAS на надежность изделия.

Кристалл и люминофор

Кристаллы с объемным излучением, а также кремнийорганические смолы (силиконовые смолы) с люминофорным наполнителем, которые отвечают за преобразование цвета, здесь аналогичны тем, что используются в СД других типов. Так что тут не следует ожидать ни снижения, ни какого-либо заметного улучшения в части производительности.

Выводная рамка

Что касается выводных рамок, то они выполняют двойную функцию: являются основой механической конструкции СД и обеспечивают его тепловой и электрический контакт с печатной платой. Как и в технологии CoB, выводные рамки в CAS выполняют еще и роль зеркал для отражения излучаемого света из корпуса СД. Поэтому рамка должна иметь высокие отражающие свойства, что, как правило, обеспечивает серебряное покрытие. Присутствие агрессивных газов (особенно содержащих соединения на основе серы) приводит к ее ускоренному старению, что уменьшает яркость свечения кристаллов. Таким образом, если СД обеих технологий используются в тяжелых условиях окружающей среды, то против вредного воздействия таких веществ рекомендуется применять соответствующие защитные меры.

Материал корпуса

Большинство проблем СД средней мощности, как и у многокристальных матричных СД в SMD-корпусах, вызваны старением пластмасс при высоких температурах и результатом воздействия интенсивных уровней светового излучения. Действительно, в самом начале использование полифталамидных корпусов было, в основном, ограничено именно этими причинами. Тем не менее, грамотно выполненная конструкция будет ограничивать воздействие синего света на материал корпуса. Таким образом, даже этот, упомянутый выше, материал может обладать достаточно большим сроком службы, как это и было недавно продемонстрировано в проекте туннельного освещения в Шанхае [1]. Поскольку в больших корпусах поверхность пластика, которая подвергается воздействию света, может быть минимизирована по отношению к зеркальной отражающей поверхности или поверхности выводных рамок, старение корпуса может быть сведено к минимуму. Если в корпусах используется последнее поколение эпоксидных смол, то они могут показать срок службы, соответствующий требованиям стандарта LM-80, что вполне достаточно для большинства приложений (рис. 3). Испытания второго поколения СД с улучшенной конструкцией в настоящее время еще продолжаются.

Выбор варианта конструктивного исполнения СД по технологии CAS для соответствующего приложения

Как уже упоминалось выше, заказчики СД технологии CAS могут делать свой выбор между их двумя конструктивными исполнениями — на выводных рамках или на основе керамики. При использовании керамики тепловое сопротивление корпуса будет выше, чем при использовании конструкции на основе медных подложек. Тем не менее по своей природе надежность корпуса этого типа выше, и он может выдерживать более высокие температуры, что в некоторой степени увеличивает эффективность СД. Поэтому решение должно быть принято в каждом конкретном случае отдельно и на основании системного подхода, то есть необходимо оценить, какие материалы лучше подходят для достижения заданного КПД, общих затрат и срока службы конкретного конечного продукта.

Характерные бытовые ретрофитные решения, такие как лампы или светильники, должны выдерживать в день по несколько циклов включения/выключения. Именно поэтому температурная циклическая устойчивость для этих приложений имеет такое решающее значение. Поскольку разница в коэффициентах теплового расширения между медью и алюминием, как основы печатной платы, минимальна, то для приложений, в которых ожидаются частые включения/выключения и/или циклические воздействия высоких температур, желательно использовать светодиоды CAS, выполненные именно на базе выводных рамок.

Но здесь из-за расширения увеличиваются внутренние напряжения в точках паяных соединений. Функция от разности температур на рис. 4 показывает, через какое количество циклов начнут обнаруживаться отказы в паяных соединениях. На этом графике есть точки данных для СД в типовых керамических корпусах 3030, а также расчеты в соответствии с моделью Коффина — Мэнсона для 30-минутного температурного цикла. Видно, что число допустимых термоциклов зависит от разности температур.

Проверка на практике. Использование светодиодов CAS в системах освещения

Определенные преимущества можно получить, используя многокристалльные

матричные СД в SMD-корпусах для обоих типов ретрофитных ламп — с оптической системой и без нее. В обычных грибовидных (тип А) и свечеобразных лампах (тип В) один СД технологии CAS при сопоставимой цене может заменить несколько небольших СД средней мощности. Это позволяет применять светодиодные аналоги ламп накаливания в более широком диапазоне классов мощности, чем это имеет место в настоящее время.

В ретрофитных лампах типа MR16 (стандартный типоразмер галогенных

ламп с отражателем) СД технологии CAS могут использоваться для создания точного двойника такой одиночной галогенной лампы, причем без наличия раздражающего эффекта в виде множественных теней. Тем не менее в этом случае проектирование оптики является достаточно сложной задачей. Размер линзы при большем по размеру источнике света должен быть пропорционально больше, чем тот, что использовался для меньших источников. Таким образом, необходимо иметь всего одну, а не три или четыре линзы, но диаметр оптики

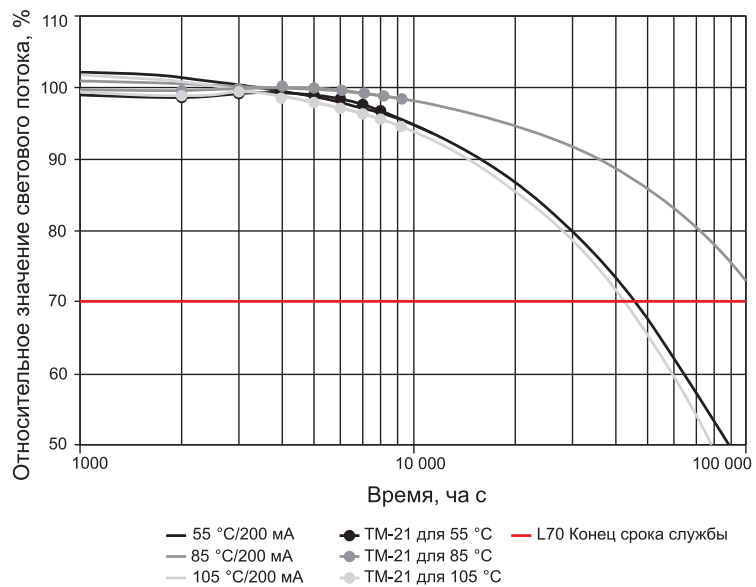


Рис. 3. Данные по сроку службы, полученные при испытаниях на соответствие стандарту LM-80 первого поколения светодиодов Osram Duris S8

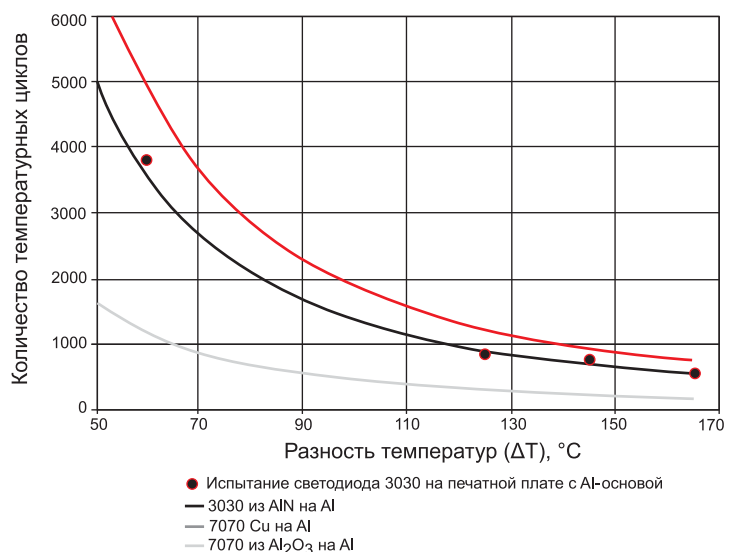


Рис. 4. Первые отказы паяных соединений определялись по внезапному резкому увеличению прямого падения напряжения (3030 и 7070 — типоразмер корпуса светодиода)



Рис. 5. Один СД технологии CAS заменяет от трех до четырех СД средней мощности в лампах MR16

должен соответствовать источнику света (рис. 5). С другой стороны, линза больших размеров требует дополнительного пространства внутри лампы MR16, а оно весьма ограничено.

Также количество СД-чипов в CAS схоже с уже существующими конструкциями, поэтому требования к прямому падению напряжения и мощности здесь совместимы с уже имеющимися драйверами. В настоящее время имеется достаточное разнообразие СД CAS в различных классах мощности, так что на них могут быть легко реализованы все типичные ретрофитные решения. Но есть еще один дополнительный фактор, который часто упускается при разработке ламп такого типа. Когда дело доходит до их массового производства, то именно расходы на монтаж составляют значительную часть от общего уровня себестоимости продукции. Так что там, где это возможно, должна использоваться автоматизированная сборка. Сегодня все больше и больше ретрофитных ламп разработаны с использованием SMD-разъемов на СД-плате, что, естественно, несколько увеличивает перечень элементов, но зато дает весомый положительный результат с точки зрения экономии общих затрат и обеспечения дополнительной надежности сборки. Это главная причина, почему весьма вероятен тот факт, что именно SMD-компоненты, в конечном счете, будут превалировать над полуавтоматической сборкой СД технологии CoB во всех приложениях с большими объемами выпуска.

Светодиоды CAS в профессиональных потолочных светильниках Downlight

Профессиональные (6 и 8") потолочные светильники верхнего освещения типа Downlight, используемые в офисных зданиях и магазинах, обычно основаны на технологии CoB, так как этот источник света, расположенный по центру светильника, дает определенную степень управления освещением. Именно такого управления не хватало в компактных люминесцентных потолочных светильниках в течение нескольких последних десятилетий. И такой подход, кроме всего, обеспечивает внешний вид, характерный для галогенной или люминесцентной лампы.

Тем не менее требуемые световые потоки в 2000–3000 лм все еще слишком высоки, чтобы они могли быть достигнуты с помощью одного СД технологии CAS. За счет чего можно снизить стоимость осветительной системы? Ответ заключается в том, чтобы использовать кластер из СД CAS. Кластер 2×2 из СД типоразмера 7070 меньше по габаритам, чем аналогичный ему по световому потоку кластер СД CoB с эффективной LES диаметром 22 мм. После разработки новой печатной платы, ранее использовавшаяся для СД CoB плата может быть заменена без внесения каких-либо изменений в схему светильника или его конструкцию. Такой подход даст больший выход светового потока или больший КПД по сравнению с технологией CoB. Аналогичные конструкции могут быть изготовлены с использованием СД CAS типоразмера 5050 или СД CoB с LES диаметром 14,5 мм.

Однако основные преимущества могут быть достигнуты только тогда, когда печатная плата используется не просто для обеспечения отвода тепла от СД. Например, плавкие предохранители или даже части драйвера или управляющей электроники могут быть включены непосредственно в состав СД-платы. Монтажные отверстия могут быть размещены именно там, где производитель нуждается в них, а не там, где производитель платы для технологии CoB их поместил. Также могут быть использованы соединители с непосредственным подключением проводов (соединители «провод–плата» типа Poke-In), которые могут быть установлены вместе со СД, так что здесь уже не будет необходимости в дополнительной ручной пайке или применении неудобных держателей.

Заключение

Детальное изучение показывает, что у СД технологии CAS есть несколько недостатков, которые должны быть приняты во внимание, например наличие дополнительного теплового сопротивления в зависимости от материала, используемого для печатных плат, или цветового биннинга, который должен осуществляться более тщательно, чтобы избежать неприятных цветовых вариаций от лампы к лампе. Но, тем не менее, у этого нового типа СД есть преимущества, в частности меньший диаметр LES и более низкая цена. Но главной причиной для использования СД CAS является, пожалуй, упрощение сборки, что, в конечном счете, во всех приложениях с большим объемом выпуска дает существенный выигрыш по отношению к полуавтоматической сборке, используемой для СД CoB. Кроме того, поскольку производители должны придерживаться определенных компромиссов в части проблем с обеспечением отвода тепла, а также срока службы и ограничений по разбраковке СД CAS по цветовой гамме (биннингу), новая технология позволит им легко выбрать именно тот тип СД, который оптимально подходит для использования в конкретных приложениях в области освещения. ●

Оригинал статьи опубликован на сайте www.led-professional.com

Литература

1. Alexander Wilm. LED Tunnel Lamp — A Reality Check: 50,000 Hours Field Data and Lifetime. // Osram Opto Semiconductors. LED professional Symposium. Bregenz. 2015.