

Анатолий Феопёнтов

# Модули Chip-On-Board

## Часть 1. Технология, конструкция, применение

Корпуса современных светодиодных модулей, как правило, производятся под технологию поверхностного монтажа дискретных светодиодов, реализуемых в металлопластиковом и металлокерамическом конструктивных исполнениях. Также существуют конструкции светоизлучающих приборов, в которых светодиодные модули выполнены по технологии CoB (Chip-On-Board, «чип-на-плате»), без применения дискретных светодиодов. Основными проблемами, которые решают все разработчики светодиодов и светодиодных светильников, являются повышение световой отдачи изделий и организация теплоотвода (светодиод выделяет, но не излучает тепло, и поэтому нуждается во внешнем эффективном теплоотводе). В статье будет дана информация по принципам создания и конструирования белых светодиодных модулей CoB для общего освещения, которая прежде всего может быть интересна производителям светодиодной светотехники и всем тем, кто ищет альтернативные технические решения для разработки светильников и светодиодных модулей.

Принципиальное отличие конструкции модуля CoB — монтаж чипа не в отдельный корпус, как в дискретных светодиодах, а непосредственно на плату модуля. Можно выделить несколько типов конструкций светодиодных модулей CoB, принципиальное отличие которых состоит в способе формирования люминофорного слоя и оптической системы.

В связи с употреблением новых терминов раскроем некоторые основные понятия.

Главным элементом конструкции как дискретного светодиода, так и модуля CoB является полупроводниковый чип (здесь и далее под чипом понимается полупроводниковая структура, выращенная по планарной технологии на монокристаллической подложке, имеющая активную область и сформированные контактные площадки, которая по своим электрическим свойствам относится к диодам). При протекании через чип электрического тока в прямом направлении структура рассеивает энергию в виде излучения и тепла. Излучаемый свет лежит в узком диапазоне спектра. В системах освещения используют, как правило, чипы, излучающие синий свет (440–470 нм). Чип устанавливается на слой

теплопроводящего адгезива, который затем полимеризуется нагреванием. Электрически чип соединяется с цепью питания с помощью разварок, часто выполняемых из золотой проволоки диаметром 20–25 мкм.

Печатная плата (Printed Circuit Board, PCB) — пластина, выполненная из диэлектрика, на которой сформирована (обычно печатным методом) хотя бы одна электропроводящая цепь (электронная схема). Наиболее часто в производстве плат используются такие материалы, как текстолит, стеклотекстолит, гетинакс. Однако в производстве светодиодных модулей CoB белого цвета излучения наиболее приемлемый тип платы — MCPCB, отличающийся тем, что основой платы является алюминиевая пластина толщиной 1–1,5 мм, на которой находится слой теплопроводящего диэлектрика толщиной 50–100 микрон и поверх него — слой меди (не менее 35 мкм) с финишной металлизацией.

Световая отдача напрямую зависит не только от эффективности чипа, но и от характеристик люминофорного слоя, представляющего собой отвержденную люминофорную смесь из собственно люминофора и некоторой связки, в качестве которой чаще всего используется стабильный аморфный компаунд. Соотношение количества компаунда и люминофора рассчитывается таким образом, чтобы часть синего излучения возбуждала люминофор, а часть — проходила без поглощения. Именно сложение синего спектра излучения чипа и желто-красного спектра излучения люминофора дает суммарный спектр белого излучения светодиодного модуля.

При этом используются неорганические порошковые кристаллические фотолюминофоры, которые выбираются из соединений, обладающих достаточной устойчивостью к внешним воз-

действиям и стабильностью в условиях работы светодиода. Наиболее распространено применение в качестве таких люминофоров твердых растворов на основе гранатов, силикатов, оксинитридов. В качестве компаунда наиболее часто используются силиконы. Основные преимущества силиконовых компаундов — устойчивость к излучению и воздействию тепла. Кроме того, в объеме силиконового компаунда, благодаря его эластичности, практически не возникают опасные для проволочных разварок механические напряжения, что повышает стойкость конструкции в целом.

Оптическая система модуля формируется с целью эффективного вывода излучения и формирования заданной диаграммы направленности излучения (кривой силы света). Ее конструкция, согласованная по размерам с источником белого света — люминофорным слоем, обеспечивает распространение излучения в нужном телесном угле. Форма и размеры оптики, как правило, определяются требуемыми диаграммой направленности и силой света. Элементы оптической системы изготавливают из высококачественного светопрозрачного материала с коэффициентом пропускания в видимой части спектра не менее 90%. При этом показатель преломления материала выбирается так, чтобы увеличить коэффициент вывода излучения. В качестве распространенных материалов могут быть названы поликарбонат, силиконовый полимер и полиметилметакрилат. Наиболее устойчивым из них и обеспечивающим наибольшее время жизни светодиода является силиконовый полимер.

На рис. 1 продемонстрирован основной принцип сборки CoB. Чип установлен на плате модуля, соединен с электрической цепью платы проволочными разварками и закрыт люмино-

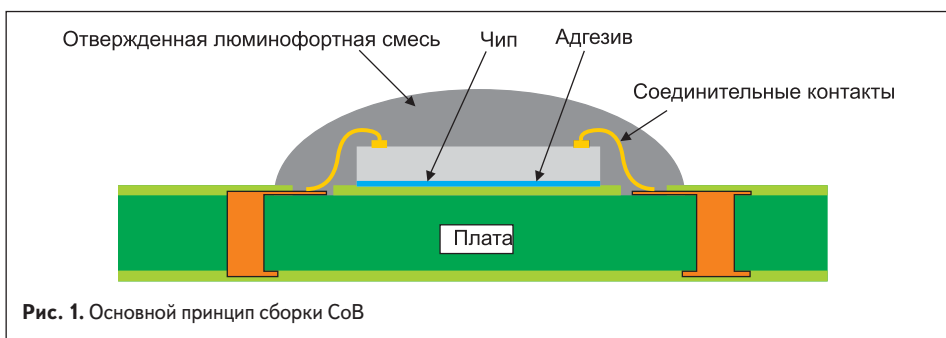
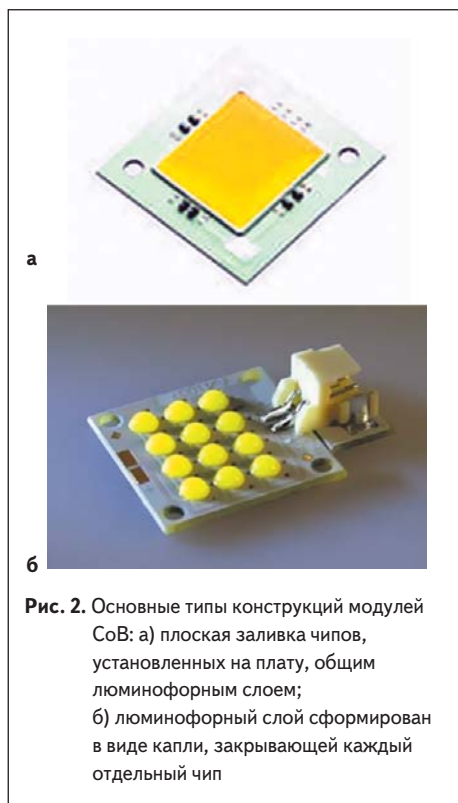


Рис. 1. Основной принцип сборки CoB

форным слоем, выполняющим здесь как роль защиты чипа и разварок от воздействия внешней среды, так и роль фотолюминесцентного преобразователя излучения.

Рассмотрим основные типы конструкций модулей CoB. Отличительной чертой конструктива, показанного на рис. 2а, является плоская заливка чипов, установленных на плату, общим люминофорным слоем. Световая отдача такой конструкции практически соответствует световой отдаче модуля, построенного на дискретных светодиодах аналогичной конструкции (т. е. с плоской заливкой). Здесь и далее световая отдача и другие оптические параметры изделий сравниваются при условии, что чипы в них работают при одной и той же температуре, что, в свою очередь, должно быть обеспечено применением соответствующих систем теплоотвода. Преимущества конструктива состоят в относительной простоте технологии изготовления, компактности и возможности применения вторичной оптики. Таким образом, данный вариант может быть использован в тех системах освещения, где требуется определенная форма диаграммы направленности излучения светильника. Как недостаток можно указать повышенный расход люминофора и силикона, что, однако, может быть нивелировано снижением стоимости корпуса по сравнению с суммарной стоимостью корпусов дискретных светодиодов. Также не следует забывать, что применение этого конструктива требует повышенного внимания к обеспечению необходимого теплоотвода в конечном изделии.

В конструктиве, показанном на рис. 2б, люминофорный слой сформирован в виде капли, закрывающей каждый отдельный чип. Световая отдача в данном случае определяется несколькими значащими факторами. С одной стороны, повышению световой отдачи способствует линзоподобная форма капли, обеспечивающая более эффективный вывод излучения по сравнению с плоской заливкой. С другой стороны, то обстоятельство, что для изготовления подобной конструкции требуется использовать тиксотропный силикон, вносит ограничения по его коэффициенту преломления (как правило, не более 1,41) и способствует максимально однородному распределению люминофора по объему слоя. Оба этих фактора снижают световую отдачу. В конечном итоге световая отдача во многом зависит от того, насколько хороша адгезия силикона к поверхности чипа и частиц люминофора: чем выше, тем меньше будут потери излучения на границах «чип–люминофорный слой» и «люминофор–силикон». Преимуществами подобного типа сборки являются простота технологии изготовления и хорошая однородность цвета излучения по углу излучения. Отметим также, что в этом случае проще, чем в предыдущем, решить проблему теплового менеджмента, поскольку чипы могут быть разнесены по поверхности платы, и это не повлечет за собой повышения расхода люминофора и силикона. Недостатки конструкции — непригодность к использованию вторичной оптики и вопрос обеспечения высокой световой отдачи, который приходится рассматривать подробно в каждом отдельном конструктивном исполнении.



**Рис. 2.** Основные типы конструкций модулей CoB: а) плоская заливка чипов, установленных на плату, общим люминофорным слоем; б) люминофорный слой сформирован в виде капли, закрывающей каждый отдельный чип

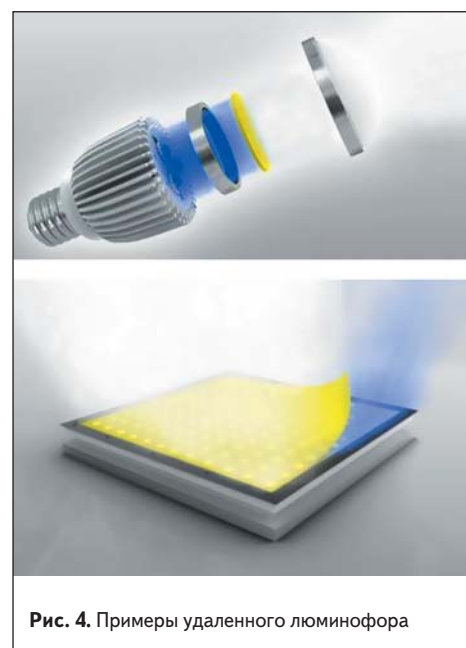
Известен тип конструкции модуля CoB (рис. 3) [1], в котором оптическая система в виде отдельных линз устанавливается на плату, а люминофорный слой формируется заливкой люминофорной смеси во внутреннюю полость линзы. Обычно на каждый чип устанавливается одна отдельная линза. Проблема получения высокой световой отдачи, аналогичной дискретным светодиодам с линзой, достаточно похожа на предыдущий случай — с линзами-каплями. Отличия состоят в возможности использовать лучшие в плане оптических свойств силиконы, относящиеся к классу эластомеров. Необязательно и формирование слоя с максимально однородно распределенным люминофором. Кроме того, линза, сформированная литьевым методом из качественного оптического пластика, несколько лучше выводит излучение, чем силиконовая капля со слабо контролируемым профилем поверхности. Тем не менее проблема остается. Основными факторами, влияние которых необходимо уменьшать, являются качество оптических границ «чип–люминофорный слой» и «люминофор–силикон», к которым добавляется граница «люминофорный слой–линза», и все-таки некоторое неизбежное распределение частиц люминофора в объеме слоя. Преимущества рассмотренного конструктива — хорошая возможность обеспечить эффективный теплоотвод, неплохая угловая однородность цвета излучения, оптическая система на основе линз. Последнее позволяет удовлетворить самые строгие требования к диаграмме направленности излучения изделия. Недостатки — несколько усложненная технология и проблема достижения высокой световой отдачи.

Сейчас достаточно популярен еще один тип конструкции модуля CoB — на основе удаленного люминофора (рис. 4) [2]. Удаленный



**Рис. 3.** Конструкция модуля CoB с оптической системой в виде отдельных линз, установленных на плату. Люминофорный слой формируется заливкой люминофорной смеси во внутреннюю полость линзы

люминофор — это фотолюминесцентный преобразователь или, по сути, тот же люминофорный слой, состоящий из частиц люминофора, распределенных в объеме или нанесенных на поверхность пластины, плоского слоя или изделия более сложной пространственной формы и геометрии (полусферы, полуцилиндра и пр.), изготовленных из прозрачного полимера (силикона, полиметилметакрилата, поликарбоната и т. п.). Называется удаленным этот слой потому, что всегда размещается или формируется на некотором расстоянии от чипов, излучающих синий свет. Принцип получения белого света здесь тот же, что и в обычном люминофорном слое: часть синего света, испускаемого чипами, проходит через удаленный слой, не взаимодействуя с люминофором, а другая часть с помощью люминофора преобразуется в желтый свет. Желтый свет в смеси с синим дает белое излучение. Основные преимущества удаленного люминофора — отсутствие эффекта нагрева люминофора теплом, рассеиваемым чипами, и уменьшение удельной дозы поглощения



**Рис. 4.** Примеры удаленного люминофора

компаундом (полимером) синего излучения. Благодаря этим эффектам световая отдача конструктива на удаленном люминофоре может быть даже выше, чем на дискретных светодиодах, по крайней мере, на светодиодах с плоской заливкой. Но эффект увеличения световой отдачи будет иметь место только в том случае, если будет обеспечен вывод желтого излучения люминофора, направленного в сторону чипов, например с помощью высокоэффективного отражателя. Необходимость этой меры проистекает от того, что частица люминофора излучает свет с примерно равной вероятностью во все стороны, с углом излучения, практически равным  $360^\circ$ . Преимущества конструкции CoV с удаленным люминофором состоят в возможности создания хорошего теплоотвода, хорошей угловой однородности цвета излучения, повышении световой отдачи (при выполнении указанного выше условия). Недостатки — в необходимости использования особой технологии изготовления удаленного люминофора и ограниченной применимости оптической линзовой системы из-за наличия распределенного источника излучения.

Областью применения конструкции CoV с плоской заливкой чипов, установленных на плату, общим люминофорным слоем являются, в основном, мощные системы освещения (для складских, производственных площадей, ландшафтного освещения, систем прожекторного типа, взрывозащищенных светильников). Этому способствуют такие свойства конструкции, как компактность при большой потребляемой мощности и возможность формирования требуемой диаграммы направленности излучения с помощью вторичной оптики. Способ применения и свойства конструкции позволяют рассматривать модуль CoV с плоской заливкой, с одной стороны, как конкурента светодиодных матриц с потребляемой мощностью 10–100 Вт, изготавливаемых на основе стандартных корпусов китайского производства, а с другой — как современный вариант конструкции светодиодной матрицы. И действительно, многие компании, традиционно считающиеся лидерами светодиодной индустрии, уже выпускают светодиодные матрицы в формате CoV.

Конструктивы, где люминофорный слой сформирован в виде капли, закрывающей

каждый отдельный чип, обычно находят свое применение в системах внутреннего освещения. Однако конструктив может быть использован и в системах внешнего освещения, в частности, в архитектурной подсветке. Если поставлена такая задача, то для ее решения целесообразно дополнить конструкцию модуля оптической системой в виде отдельных линз, по одной линзе на каждую каплю. Применение этого типа конструктива CoV в аспекте технических параметров аналогично применению дискретных светодиодов с линзами с той разницей, что модуль CoV, скорее всего, будет выигрывать по угловой равномерности цвета излучения и проигрывать по эффективности.

Конструкция модуля CoV с оптической системой в виде отдельных линз (рис. 3) может использоваться в системах внутреннего освещения, но наиболее полно ее потенциал раскрывается в системах внешнего, в том числе и уличного освещения благодаря возможности получать любое желаемое пространственное распределение излучения. Конкуренты этой конструкции, как и предыдущей, — системы на дискретных светодиодах с линзой. А эффективность конкуренции прямо зависит от значения световой отдачи, достигаемой в изделии с модулем CoV.

Модули CoV на основе удаленного люминофора могут применяться в светильниках для внутреннего и декоративного освещения, в переносных и малогабаритных осветительных приборах. Область применения почти полностью ограничена системами внутреннего освещения из-за проблемы применимости оптических линзовых систем, что, впрочем, вполне решается при изготовлении модуля с удаленным люминофором в виде светодиодной матрицы. Конструкция на удаленном люминофоре эффективна в сравнении с системами, построенными на основе как дискретных светодиодов без линзы (с плоской заливкой), так и на основе светодиодов с линзой, закрытых в светильнике рассеивателем. Но при выполнении условия эффективного вывода желтого излучения, как обсуждалось ранее.

Все варианты конструкций модулей CoV перспективны для применения в изделиях, предназначенных для прямой замены традиционных ламп (ламп накаливания, галогенных,

люминесцентных). Эти изделия — светодиодные лампы в корпусах, внешний вид которых близок к традиционным типам, со стандартными форматами цоколей. Необходимость выпуска качественных светодиодных ламп влечет за собой требование хорошей угловой однородности цвета излучения. В случае использования дискретных светодиодов это требование выполнимо частично при установке матового рассеивателя с относительно малой прозрачностью. Многие конструкции CoV за счет близкого к постоянному распределению цвета по углу излучения позволяют избежать или минимизировать применение и влияние рассеивателя и, таким образом, добиться большей световой отдачи при несколько меньших затратах.

Следует отметить и еще одно преимущество конструкций CoV, состоящее в том, что, по сравнению с конструкциями на отдельных светодиодах, на CoV проще прийти к формированию оригинального технического решения, отличающегося патентной чистотой. Возможное разнообразие форм и конструкций светильников с дискретными светодиодами на сегодня уже почти освоено. А вот возможности внедрения технических новшеств для конструкций модулей CoV одновременно более широки и менее проработаны.

В первой части представленной публикации проанализированы принципиальные отличия конструкции светодиодного модуля, изготавливаемого по технологии CoV, а также основные типы возможных конструкций CoV, их преимущества, недостатки и вопросы применимости. Во второй и заключительной части будут рассмотрены проблемы технологии и производства модулей CoV и даны ответы на вопросы, для каких предприятий и в какой форме может быть интересно применение технологии CoV и в каком масштабе целесообразно организовывать такое производство. ●

## Литература

1. Светодиодный модуль CoV. Light Engines LLC. <http://www.lightengines.com>
2. Технология удаленного люминофора для светодиодных ламп. ООО «НТИЦ «Нанотех-Дубна». <http://www.qdlight.ru>