

Джулиан Кэри (Julian Carey)

Новые архитектуры светодиодов и технологии нанесения люминофора снижают затраты и повышают качество

Светодиоды с перевернутым кристаллом (flip-chip) обещают завоевать рынок корпусных компонентов. В данной статье разъясняется, каким образом конструкция с обращенной кверху сапфировой подложкой наряду с новыми технологиями нанесения люминофора позволяет повысить качество света и снизить затраты.

В минувшем году можно было наблюдать явный рост распространенности светодиодного освещения, как и предсказывали отраслевые аналитики уже в течение нескольких лет. Оно устанавливается на улицах и крытых парковках, в розничных магазинах, гостиницах и ресторанах, в офисах и на промышленных предприятиях. Резко расширяется ассортимент используемых технологий и разнообразие применений, значительно более массовым становится внедрение. Вместе с тем качество света и стоимость компонентов по-прежнему остаются проблемами для светодиодной промышленности. Помочь в их решении могут новые архитектуры светодиодов и методы нанесения люминофора.

Возросший спрос на светодиодное освещение побуждает участников отрасли действовать сразу в нескольких направлениях: повышать качество, снижать затраты и упрощать производство на всем протяжении логистической цепочки. В ответ на эти рыночные стимулы разрабатываются новые технологии производства светодиодов, охватывающие весь спектр методов изготовления полупроводниковых кристаллов. В первую очередь внедряется капитальное оборудование нового поколения, совершенствуются технологические процессы, создаются современные материалы. Действуя в этом русле, компания Intematix сосредотачивает свои усилия на разработке более прочных и эффективных люминофоров и методов их нанесения с целью снизить производственные затраты, упростить производство и повысить качество вырабатываемого света.

Формованные люминофорные пленки

Одним из примеров новаторских технологий является изготовление люминофоров в виде формованных полимерных пленок или

стеклянных пластинок. Мы даже намерены изучить возможность использования опто-керамических материалов, которые можно наносить непосредственно на светоизлучающую поверхность светодиодных кристаллов. Эти новые производственные технологии открывают перспективы для корпусирования светодиодных кристаллов на уровне пластин (wafer-level packaging, WLP). Предполагается, что такое решение снизит затраты на производство светодиодных кристаллов благодаря устранению избыточных операций корпусирования и одновременному повышению световой отдачи, качества и надежности кристаллов. Не исключено, что, в итоге, эти технологии вкуче с усовершенствованными производственными системами и технологическими процессами позволят отказаться от бинирования, обеспечив изготовление светодиодных кристаллов белого цвета свечения с разбросом характеристик

в пределах 2 SDCM (двух среднеквадратичных отклонений согласования цвета или двухступенчатого эллипса Мак-Адама).

Пока что данные технологии находятся в стадии разработки. В настоящее время они испытываются на светодиодах с перевернутым кристаллом, у которых катод и анод находятся на нижней стороне кристалла. На рис. 1 показан светодиод Samsung с перевернутым кристаллом, имеющий однородную светоизлучающую поверхность. Компания Samsung анонсировала эту архитектуру в программном выступлении своего представителя на конференции Strategies in Light 2014 (<http://bit.ly/lkXzhle>).

Действительно, технология перевернутого кристалла позволяет сделать светоизлучающую поверхность более плоской, чем у обыкновенного латерального светодиода с проводными соединениями, что облегчает применение нового метода нанесения люминофора. К тому же сейчас эта технология все шире распространяется в отрасли: даже компании-производители второго ряда осознали преимущества, которые она обеспечивает, и нарастили выпуск полупроводниковых компонентов данной архитектуры.

Корпусирование на уровне пластины при использовании метода перевернутого кристалла

В светодиодной светотехнике сейчас преобладает так называемая латеральная архитектура, когда подложка находится внизу слоистой структуры, образующей светодиод (рис. 2). Метод перевернутого кристалла несет в себе множество преимуществ, связанных с упрощением конструкции и производственного процесса. Во-первых, поскольку электрические контакты находятся внизу, нет нужды присоединять к ним кристалл проводами, как это делается в латеральном светодиоде с расположенными сверху контактами (рис. 3). Значит, можно устранить целую технологическую операцию. Более того, теперь не нужно беспокоиться об обрыве проводов как о возможном механизме отказа.



Рис. 1. Компания Samsung объявила о выпуске светодиодов с перевернутым кристаллом на выставке-конференции Strategies in Light 2014

Монтаж кристалла в перевернутом виде повышает эффективность светодиода. Когда электрические контакты не мешают, свет может излучаться большей площадью поверхности кристалла. Таким образом, вся поверхность кристалла превращается в световое «окно».

Благодаря этому окну можно накладывать люминофор прямо на верхнюю поверхность кристалла, которая целиком свободна. Это можно делать в процессе корпусирования, после изготовления полупроводниковой пластины или на каком-то промежуточном этапе.

При использовании архитектуры с перевернутым кристаллом формованный люминофор в виде больших полимерных или стеклянных листов либо керамических пластин можно изготавливать с очень малым разбросом характеристик — в пределах 1 среднеквадратичного отклонения согласования цвета. Более того, такие люминофоры могут наноситься на светодиодные кристаллы двумя способами, как уже упоминалось выше (рис. 4).

Первый способ предполагает наложение формованного люминофора на полупроводниковую пластину. В нераспиленной пластине все светодиодные кристаллы соединены друг с другом. Прежде чем отделять кристалл (т. е. распиливать пластину на отдельные кристаллы), на пластину сверху накладывается формованный полимерный, стеклянный или керамический люминофор. Таким образом, каждый кристалл обретает люминофорное покрытие. Затем пластина распиливается на отдельные кристаллы вместе с люминофором, в результате чего образуется так называемый светодиодный кристалл белого цвета свечения. Этот светодиод имеет минимальный корпус, а по бокам на него наносится белое отражающее покрытие, чтобы повысить эффективность вывода излучения.

Требования к бинированию

Корпусирование на уровне пластины имеет множество других преимуществ по сравнению с распространенными в настоящее время технологиями корпусирования «эмиттер» (без платы) и «кристалл на плате» (COB). Серийная технологическая обработка развивается сейчас в этом направлении с целью повышения световой отдачи и однородности цвета, а также снижения стоимости. В идеале этот метод должен вывести на новый уровень эффективности производства, при котором бинирование существенно сокращено или вообще не требуется.

В настоящее время бинирование необходимо, поскольку каждая светодиодная полупроводниковая пластина, как правило, содержит области с отличающейся длиной волны излучения. Производители светодиодов сортируют свою продукцию по различным интервалам длин волн (бинам). Это позволяет производителям источников света отбирать только те светодиоды, характеристики которых находятся в допустимом диапазоне, и одновременно максимизировать выход готовой продукции и использование каждого из бинтов. Бинирование — долгий, дорогостоящий и неэффективный процесс.

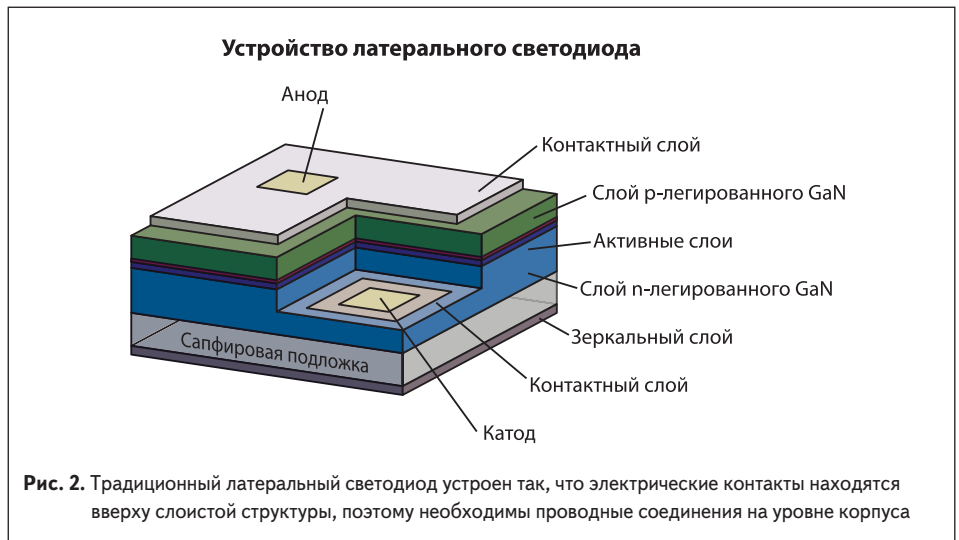


Рис. 2. Традиционный латеральный светодиод устроен так, что электрические контакты находятся сверху слоистой структуры, поэтому необходимы проводные соединения на уровне корпуса

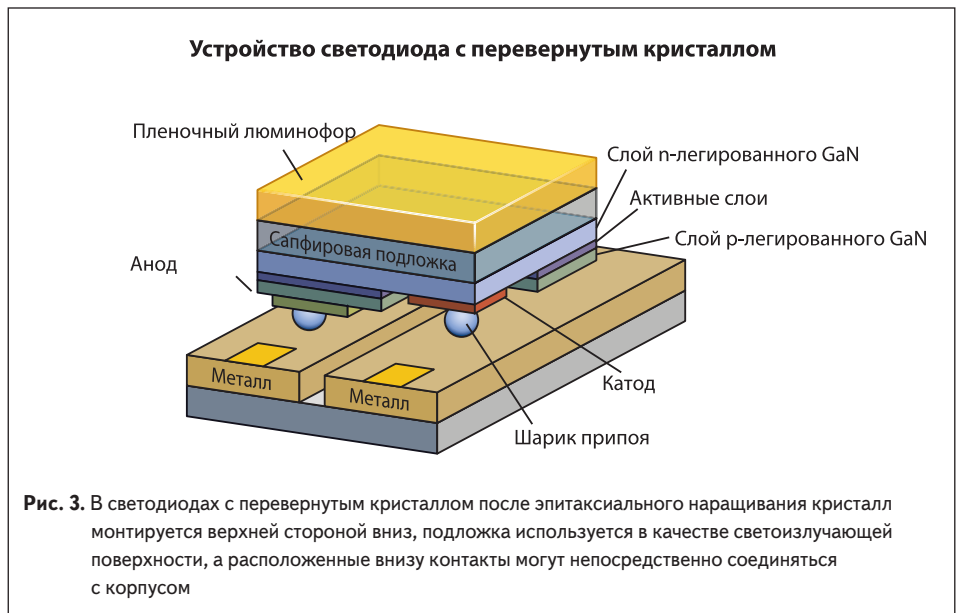


Рис. 3. В светодиодах с перевернутым кристаллом после эпитаксиального наращивания кристалл монтируется верхней стороной вниз, подложка используется в качестве светоизлучающей поверхности, а расположенные внизу контакты могут непосредственно соединяться с корпусом

После внедрения нового поколения реакторов для осаждения металлоорганических соединений из паровой фазы (MOCVD) — разновидности технологического оборудования, без которого невозможно производство светодиодов, — потребность в бинировании может значительно снизиться вследствие повышения однородности по длине волны в пределах одной пластины и между пластинами.

Чтобы достичь этого идеала, производители должны взять за отправную точку светодиодную полупроводниковую пластину голубого цвета свечения с однородностью длины волны в пределах 2,0–2,5 нм, или 1 SDCM, после люминофорного преобразования. На всю эту пластину накладывается люминофорная пленка (также с однородностью в пределах 1 SDCM), после чего вся конструкция распиливается на отдельные светодиодные кристаллы. В результате такого процесса разброс длины волны излучения между отдельными кристаллами не превышает 2 SDCM. Дальнейшая сортировка кристаллов не нужна — они, по сути, уже однородны. Такой процесс открывает путь к описанному выше идеалу, но прежде чем мы сможем заявить

о его достижении, потребуются значительный прогресс в технологиях.

Наложение формованного люминофора после отделения кристаллов

Второй способ наложения формованного люминофора — после распиливания полупроводниковой пластины на кристаллы. Реальные

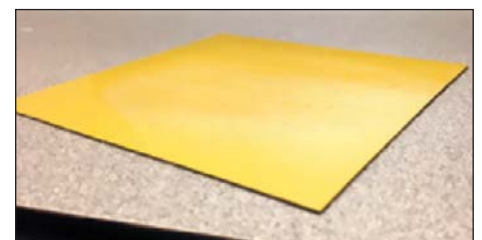


Рис. 4. Формованный люминофор может накладываться на целую или распиленную полупроводниковую пластину

пластины не обязательно однородны по длине волны излучения; на них могут быть такие зоны, в которых длина волны у кристаллов отличается на несколько нанометров от желаемой. В связи с этим после изготовления пластины есть два варианта дальнейших действий. Можно наложить люминофор на всю пластину, как описано выше, или же произвести внутреннюю сортировку отдельных кристаллов. После распиливания пластины на кристаллы их испытывают и сортируют по длине волны, а затем переукладывают в биновые ячейки, содержащие кристаллы с одинаковой длиной волны излучения. По сути, по данным испытаний отдельных кристаллов, в ходе этого процесса создается новая пластина, теперь уже с однородными параметрами.

Когда исходная пластина распиlena, а светодиодные кристаллы виртуально распределены по биновым ячейкам, можно разрезать формованный люминофор на куски, по размеру точно совпадающие с получившимися ячейками. Разрезанный таким образом люминофор можно наложить на соответствующую биновую ячейку. В результате получаются светодиодные кристаллы белого цвета свечения с высокой однородностью по длине волны (2 SDCM) без затрат, связанных с традиционными методами корпусирования.

Переукладка кристаллов в биновые ячейки повышает эффективность, уменьшает потребность в бинировании и снижает затраты. В реальности, однако, это может быть невыгодно для производителей. Поскольку люминофор чувствителен к определенным длинам волн, производители будут вынуждены увеличить производственные запасы формованного листового люминофора исходя из типичного диапазона длин волн излучения светодиодных кристаллов. В рамках ныне существующего производственного процесса компании, занимающиеся корпусированием светодиодов, хранят люминесцентные материалы и смешивают их в разных пропорциях для каждой биновой ячейки. Когда люминофор накладывается на исходную полупроводниковую пластину, то в каждом случае компаниям достаточно всего одной пленки, обеспечивающей нужный свет. А процесс с переукладкой вынуждает компании хранить замороженный формованный листовый люминофор всевозможных цветов, соответствующих биновым ячейкам, из-за чего резко разрастается номенклатура производственных запасов. Складское хранение — одна из технических проблем, которые необходимо решить для практической реализации этого технологического процесса.

Легко видеть, что большой вклад в ее решение могут внести усовершенствования на начальной стадии полупроводникового производства (front-end of line, FEOL), упомянутые в начале этой статьи. С уменьшением разброса длин волн излучения в пределах полупроводниковой пластины и между пластинами значительно уменьшится необходимость в переукладке. Производители смогут сократить номенклатуру производственных запасов, а кроме того, упростится производственный процесс по всей логистической цепочке и снизятся цены.

Формованный люминофор — полимерный или стеклянный

Как уже отмечалось выше, формованный люминофор разрабатывается в форме полимерных пленок и стеклянных пластинок. Использование пленок в случае Intematix стало побочным результатом деятельности компании по разработке удаленных люминофоров, в ходе которой она обзавелась технологиями и производственными мощностями для создания таких формованных люминофоров. Эти пленки и пластинки могут изготавливаться по различным рецептам для получения нужного клиенту качества света при заданной длине волны излучения кристалла.

При этом стеклянные плитки сложнее в производстве. Внедрить люминесцентный материал в стекло изначально труднее, чем в полимерную пленку, и для развития этой технологии разработчикам придется еще потрудиться. Зато у стекла больше показатель преломления, что обеспечивает большую эффективность и позволяет повысить световую отдачу светодиодных кристаллов и корпусов. Компания Intematix полагает, что серийное производство формованных люминофоров на основе полимерной пленки может быть начато к концу 2014 г. Запуск в производство люминофоров на стеклянной основе займет несколько больше времени, но конкретно в случае светодиодов с перевернутым кристаллом это может произойти уже в начале 2015 г.

Оптокерамические люминофоры

Оптокерамические люминофоры представляют собой третий подход к нанесению люминесцентных материалов на светоизлучающую поверхность светодиодных кристаллов. В отличие от формованных люминофоров на полимерной и стеклянной основе, они обеспечивают значительные преимущества в изделиях с высокой плотностью светового потока, таких как прожекторы, проекторы и автомобильные фары.

Кроме того, у оптокерамических люминофоров тепловые характеристики лучше в нескольких отношениях. Во-первых, эти материалы имеют значительно более высокую теплопроводность, вследствие чего на них быстрее рассеивается тепло. Результирующее снижение рабочей температуры обычно приводит к повышению КПД преобразования светового излучения от источника. Полупроводниковые источники света, использующие эту технологию, будут более энергоэффективными или позволят увеличить световой поток благодаря повышению максимально допустимой плотности тока в светодиодных кристаллах. Те же свойства обеспечивают источнику света существенно более долговременную температурную стабильность, а значит, и большую надежность системы в целом. Благодаря пониженной рабочей температуре значительно снижается выгорание люминофора, особенно при высокой плотности светового потока.

Керамические люминофоры могут изготавливаться с желтым, зеленым и белым цветом

свечения. Поскольку координаты цветности излучаемого ими белого света находятся в пределах установленных Европейской комиссией норм для автомобильных фар, керамические материалы хорошо подходят для применения в автомобилях, как полагают специалисты компании Schott — международного производителя стекол и материалов специального назначения.

В настоящее время главным недостатком керамических люминофоров является их повышенная стоимость. Пока что исследовано и разработано лишь ограниченное количество химических систем для создания керамических люминофоров. Вдобавок процесс их производства необходимо, наряду с изготовлением порошка, дополнить технологическими операциями, которые не требуются в случае пленочных и стеклянных люминофоров. Из-за этих технологических операций производители вынуждены вкладывать средства в оборудование для обработки керамики, что повышает производственные затраты. Поэтому из-за большой разницы в стоимости маловероятно, что в ближайшем будущем оптокерамические люминофоры найдут применение где-либо, кроме изделий с самыми жесткими требованиями к температурной стабильности или с очень высокой плотностью светового потока — например, в автомобильных фарах, где явные технические преимущества этой технологии превалируют над стоимостными соображениями.

Формованный полимерный люминофор и кристаллы с проводными соединениями

По мнению Intematix, несмотря на все преимущества технологии перевернутого кристалла, из-за того что она недостаточно отработана, в 2015 г. на нее будет приходиться всего примерно 25% от общего объема производства. Следовательно, 75% рынка по-прежнему будут составлять латеральные светодиоды, или светодиоды с проводными соединениями. И этим крупным сегментом рынка не следует пренебрегать, так как ламинирование светодиодных кристаллов люминофором на полимерной основе может оказаться экономически целесообразным процессом. Такой сценарий предполагает наложение полимерного материала на работоспособный кристалл после выполнения проводных соединений. Материал при этом должен иметь консистенцию мягкого геля, чтобы не нарушить проводные соединения. По мере дальнейшего развития этой технологии компания Intematix намерена распространить ее не только на светодиоды с перевернутым кристаллом, но и на обычные латеральные светодиоды с проводными соединениями.

В целом специалисты Intematix считают, что эти новые технологии производства несут в себе огромные перспективы для снижения производственных затрат, повышения качества света и увеличения эффективности светодиодов с одновременным снижением потребности в бинировании. В конце концов это должно упростить процесс производства светодиодов.