

Технологические особенности производства мощных светодиодов и светодиодных матриц

Евгений Горелик (Санкт-Петербург), Йозеф Шмидл (Германия), Дэн Эванс (США)

В статье рассматриваются особенности производства светодиодных матриц и устройств на мощных светодиодах, вопросы обеспечения низкой рабочей температуры кристаллов, а также другие факторы, влияющие на срок службы, качество и надёжность светоизлучающих устройств.

Производство устройств различного назначения, использующих в своей конструкции светоизлучающие диоды, стремительно растёт. Как известно, светодиоды обладают высокой яркостью, экономичностью и мобильностью. Они являются прекрасной заменой ламп накаливания и используются во многих областях благодаря тому, что затрачивают меньше энергии, имеют большой срок годности, малочувствительны к перепадам температур и могут излучать свет различных цветов.

Светодиоды используются в автомобильном оборудовании, осветительных и самосветящихся приборах, спортивных принадлежностях, в производстве фотоаппаратов, в подсветке дисплеев и системах визуализации изображений, а также для освещения зданий и изготовления светящихся рекламных вывесок. Устройства, в которых используются объёмные индикаторные светодиоды, известны давно, и технология производства корпусных приборов хорошо отработана. Светодиодные индикаторы, как правило, обладают невысокой мощностью и светоотдачей.

Совсем другая ситуация возникает с бескорпусными светодиодами для светодиодных матриц и сверхъяркими



Рис. 1. Общий вид светодиодной матрицы

светодиодами для осветительных устройств: уровни мощности и светоотдачи здесь существенно выше, поэтому таким приборам необходимо обеспечить адекватный теплоотвод.

Как известно, существует два фактора (без учёта качества самого светоизлучающего кристалла), определяющих качество и долговечность устройства с использованием мощных светодиодов: первый – качество сварных соединений, второй – эффективность теплоотвода от кристалла. Светодиодные матрицы, по сравнению с однокристалльными решениями, требуют установки кристалла на носитель и микросварки соответствующих контактных площадок кристалла и подложки.

Существует несколько уровней интеграции светодиодов в структуры. В простых светодиодных линейках каждый светодиод разваривается на контактную площадку подложки с помощью микропровода. В соответствии со структурой проводящего рисунка подложки, управление может осуществляться каждым диодом в отдельности либо группами светодиодов.

Если применяются светодиоды высокой яркости, например, в устройствах уличного освещения или подсветки изображения в видеопроекторах, приборы интегрируются по матричному принципу, располагаясь плотными рядами и столбцами, что позволяет достигать максимальной плотности и равномерности светового потока. Подобная светодиодная матрица показана на рисунке 1. Здесь количество и плотность светодиодов требуют высочайшей теплопроводности между кристаллом и носителем, чтобы обеспечить максимально низкую рабочую температуру светодиодов.

Процесс производства матричных светодиодов содержит ряд этапов, в том числе:

- подготовка материалов;
- установка кристалла на носитель;
- импульсное оплавление;
- очистка;
- микросварка проволокой;
- тестирование.

В данной статье основное внимание уделяется двум аспектам этого процесса – импульсному оплавлению, подразумевающему посадку кристаллов на эвтектические припои, и микросварке проволокой.

Наиболее критичным с точки зрения обеспечения качественного теплоотвода от кристалла является создание беспористого интерфейса эвтектического соединения между светодиодом и подложкой. Наличие пузырьков и полостей в контактном интерфейсе приведёт к образованию зон локального перегрева, снижению эффективности теплоотвода и, как следствие, повреждению светодиода и выходу его из строя. Через эвтектическое соединение переносится огромное количество тепла, вырабатываемого матрицей, поэтому от строгого контроля процесса формирования эвтектического соединения зависит надёжность и срок службы светоизлучающего устройства.

Создание светодиодных матриц является в высшей степени термочувствительным процессом и требует тщательного контроля времени и температуры на всех стадиях формирования соединения: при монтаже кристалла, оплавлении преформ и собственно импульсном оплавлении. Температурный профиль должен быть легко повторяемым, с правильным выходом на высокотемпературный процесс, с точным поддержанием температуры эвтектики (без перегрева и провалов) и контролируемым охлаждением по завершении высокотемпературной фазы.

Программируемое и контролируемое охлаждение является важнейшим этапом выполнения температурного про-

филя, поскольку оно призвано минимизировать дефекты кристалла и обеспечить металлургическое равновесие в материале эвтектического соединения.

После завершения стадии монтажа кристаллов на подложку выполняется создание электрических соединений между элементами матрицы. Высокие плотность монтажа и рабочие частоты светодиодных матриц однозначно определяют метод соединения – микросварку проволокой. Существует несколько способов такой сварки, в частности, «клин-клин» и «шарик-клин». Большой объём экспериментальных данных, полученных разными исследователями (в частности, лабораторией компании Palomar Technologies), показывает, что для создания цепных соединений в светодиодных матрицах предпочтительно использовать шариковую сварку золотой проволокой.

Рассмотрим далее несколько факторов, определяющих характеристики сварного соединения и иллюстрирующих превосходство шариковой сварки по сравнению с клиновой:

- *плотность монтажа*. Изначально – в 90-х годах, когда разрабатывалась

методика шариковой сварки, – материалы и качество обработки капилляров не позволяли обеспечить сварку на контактных площадках менее 90 мкм, тогда как клиновая сварка позволяла оперировать на площадках порядка 30 мкм. В настоящее время такой проблемы нет – новые технологии изготовления и обработки поверхностей капилляров в сочетании с новыми керамическими материалами для них позволяют с легкостью достигать требуемых размеров при шариковой сварке. На данный момент совершенство инструмента для шариковой сварки позволяет выполнять с её помощью любую задачу, решаемую при помощи клиновой сварки. Более того, благодаря вертикальной подаче проволоки сварка может с лёгкостью выполняться на тех участках, где сложно или вовсе невозможно использовать стандартный клиновой инструмент;

- *качество сварного соединения*. Сравнительно большая, чем при клиновой сварке, площадь соприкосновения шарика с контактной площад-

кой обеспечивает высокую однородность интерфейса проволока/площадка. Электрические и термические свойства такого соединения крайне высоки. Традиционно считалось, что высокое качество первого (шарикового) контакта петли компенсируется сравнительно низким качеством второго (условно клинового) контакта. Однако, с совершенствованием техники и технологии шариковой сварки эта проблема перестала быть существенной. Качество исполнения второго сварного соединения на современной специализированной аппаратуре не уступает лучшим сварным соединениям, выполненным клиновым инструментом, – это однозначно доказывают испытания на отрыв, проводимые обычно согласно стандарту Mil-Std-883 (метод 2011) (данные предоставлены лабораторией Palomar Technologies);

- *скорость монтажа*. Превосходство шариковой сварки в скорости, особенно при формировании цепных соединений, обеспечивается особенностями сварочной головки таких



Рис. 2. Схема процесса микросварки методом «шарик-шарик»

машин. Поскольку подача проволоки всегда осуществляется строго вертикально, а геометрия сварного соединения подразумевает абсолютную симметрию, отпадает необходимость вращения и позиционирования сварочного инструмента в плоскости θ . Также благодаря симметрии обеспечивается одинаковое качество формирования петель при работе в любом направлении, при работе в глубоком колодце, при формировании длинных и/или высоких петель при многослойной сварке. Дополнительным плюсом является возможность изменения направления сварки на любой угол без скручивания и переломов проволоки, неизбежных при существенной смене углов в клиновой сварке.

Стандартная технология шариковой сварки подразумевает создание шарика на конце золотой проволоки и размещение этого шарика на контактной площадке кристалла. Затем создается проволочная петля до второй контактной площадки, где выполняется сварка, близкая по своим характеристикам к клиновой, с последующей отсечкой проволоки. Схематическое изображение процесса показано на рисунке 2.

В некоторых случаях для повышения надежности второй сварки поверх кон-

такта монтируется дополнительный шарик, затем проволока отсекается либо создается следующая петля. Цепное соединение является частным случаем шариковой сварки: проволока не отсекается после создания второй контактной точки, а вместо этого создается новая петля. Варианты сварки «шарик-шарик» и цепной шариковой сварки показаны на рисунке 3.

Цепная шариковая микросварка не относится к новинкам технологии – она появилась достаточно давно. Однако, в связи с увеличением объемов производства светодиодных матриц, эта технология была существенно доработана. Преимуществом цепной сварки по сравнению со стандартной шариковой сваркой является отсутствие необходимости формирования начального шарика для последующего соединения. Это позволяет значительно повысить скорость сварки, а также, за счет оптимизации геометрии сварного соединения, уменьшить потери излучаемого света. Кроме того, цепное соединение демонстрирует более высокую прочность петель при испытании на отрыв.

В настоящее время микросварка «шарик-шарик», и в частности цепная шариковая микросварка для матричных изделий, наиболее широко используется при создании соединений в светоизлучающих диодах. В совокупности технология монтажа на эвтектику и шариковая микросварка позволяют достигать оптимального качества изделий на основе светодиодов, обеспечивают длительный срок службы, эффективный теплоотвод и высокий уровень светоотдачи.

Следует отметить, что при использовании сверхмощных и лазерных светодиодов качество теплоотвода, обеспечиваемое технологией монтажа кристаллов на эвтектику, оказывается недостаточным, поскольку сама подложка не способна перенести требуемый поток тепла. В этом случае применяются специализирован-

ные теплоотводящие композиции – DBC-микроканальные структуры и керамические радиаторы различных конструкций.

Микроканальные структуры на основе DBC-керамики (Direct Bonded Copper substrate) для охлаждения лазерных диодов состоят из нескольких слоев чистой меди с протравленными в них микроструктурами, которые образуют трехмерную систему, способную обеспечить эффективное охлаждение устройств с высокой теплоотдачей. Структура каждого слоя является предметом тщательного проектирования и моделирования, что позволяет максимально удовлетворять специфические требования, предъявляемые к конкретному устройству.

Набор из медных слоев с индивидуально разработанной микроструктурой может быть объединен в единую монолитную структуру при помощи запатентованного процесса сращивания. Преимущество этого процесса, по сравнению со сваркой, склейкой или накатыванием слоев, заключается в отсутствии негативного влияния термического сопротивления, которое ухудшает тепловые свойства готовой структуры при использовании стандартных процессов. Для достижения требуемой гладкости поверхности, необходимой для монтажа диодов, поверхностные и торцевые части радиатора могут быть обработаны с применением алмазного инструмента. На внутренние поверхности структур наносятся электролитические покрытия (Ni/Au), обеспечивающие коррозионную стойкость теплоотвода и значительно увеличивающие срок его службы.

Подобные радиаторы применяются для охлаждения лазерных диодов в диапазоне мощностей от 20 до 100 Вт и выше. Такие приборы используются в мощных диодных сборках, применяемых, например, в лазерах с диодной накачкой или в промышленных, медицинских и военных лазерах. Общий вид структуры радиаторов и симуляция тепловых процессов в нем приведены на рисунке 4 (материал предоставлен фирмой Electrovac-Curamic).

Использование микроканальных DBC-структур для активного жидкостного охлаждения мощных устройств является радикальным методом поддержания низкой рабочей температуры. Более простым и традиционным в этом смысле является применение цельнокерамических радиаторов из

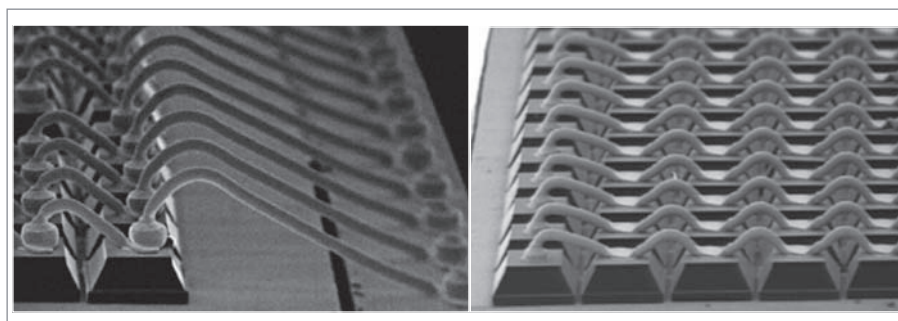


Рис. 3. Микросварка «шарик-шарик» и цепная шариковая микросварка

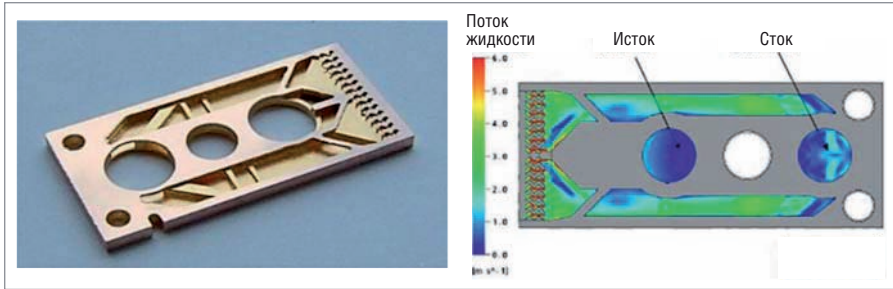


Рис. 4. Внутренняя структура микроканального теплоотвода и симуляция потоков жидкости в нём



Рис. 5. Керамические радиаторы

оксида и нитрида алюминия. Форма таких радиаторов может быть оптимизирована для конкретного применения, а на торцевой стороне изделия может быть выполнен проводящий рисунок, что позволяет осуществлять

монтаж светодиодов без использования буферного носителя.

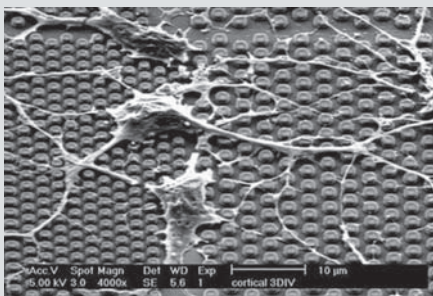
Высокие электрические, теплопроводные и частотные свойства керамики на основе алюминия (Al_2O_3 и AlN) обуславливают её широкое при-

менение в качестве базового материала для поверхностного монтажа бескорпусных компонентов высокой мощности. Примеры конструкций керамических радиаторов показаны на рисунке 5. ©

Новости мира News of the World Новости мира

Разработан микрочип, связывающий электронику и живые клетки

Бельгийский IMEC (Interuniversity Microelectronics Centre – Межвузовский центр микроэлектроники) представил уникальный чип с микроскопическими структурами, которые способствуют взаимодействию между электроникой и биологическими клетками. Разработка может изготавливаться в массовых масштабах; она проста в использовании для электрофизиологических исследований, например, функционирования и дисфункций мозга. Каждая структура выступает как контактная точка для одной клетки и содержит электрод, который с большой точностью записывает в реальном времени электрическую активность индивидуальной электрогенной клетки в сети.



Электрогенные клетки, такие как кардиомиоциты (клетки сердца) или нейроны, используют электрические сигналы для коммуникации друг с другом. Данные об электрической активности важны для понимания процесса взаимодействия между клетками, объяснения причин расстройств наподобие болезней Альцгеймера или Паркинсона, а также для подтверждения действия медицинских препаратов в борьбе с сердечными патологиями. Согласно заявлению IMEC, её чип – идеальный

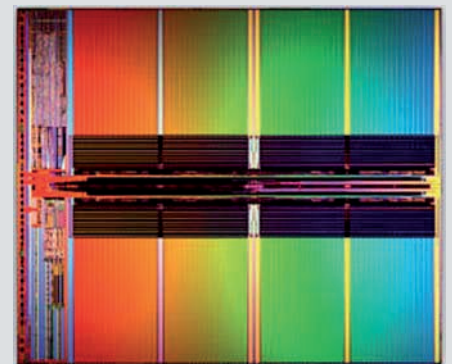
инструмент в изучении механизмов межклеточной связи. Размер электродов меньше размера самих клеток, а в состав входят металлическое основание, покрытое слоем оксида, и проводящий стержень из золота или нитрида титана. Когда клетки помещены на поверхность чипа, их мембраны окружают электроды, создавая контакт, достаточный для записи активности или стимулирования живых структур.

По словам исследователей, им пришлось преодолеть ряд сложностей в ходе разработки чипа, в том числе связанных с сохранением клеток живыми. Директор отдела бионаноэлектронных систем IMEC Крис Верстрекен (Kris Verstreken) напоминает, что о функционировании мозга до сих пор известно немного. Например, где появляются эмоции, как создаются воспоминания, каковы причины болезни Альцгеймера – эти вопросы пока остаются без ответа. Нейроны очень пластичны, непрерывно формируют новые связи и разрывают либо восстанавливают другие. Но каков механизм этих действий и какие из связей отвечают за обучение и развитие? В долгосрочной перспективе Верстрекен надеется использовать полученные с помощью чипа знания для диагностики заболеваний или даже поиска терапии путём побуждения клеток к созданию новых связей, например, после ишемического инсульта.

www.sciencedaily.com

Цены на SSD снизятся в 2011 г. с переходом на 20 нм

Как сообщают обозреватели полупроводниковой индустрии Тайваня и Китая, в 2011 г. стоимость микросхем NAND существенно понизится вместе с переходом



крупнейших поставщиков чипов на 20-нм техпроцесс. До этого момента SSD-диски не смогут занять сравнимую с HDD долю среди накопителей для персональных компьютеров. Подобная точка зрения была высказана игроками рынка на симпозиуме в Тайбэе. Среди участников были топ-менеджеры таких производителей памяти, как A-Data Technology, Condel Technology, JMicron Technology и Silicon Motion Technology.

В ходе встречи было высказано обращение к китайским и тайваньским компаниям с призывом совместными усилиями разработать и стандартизировать единые спецификации для SSD, а также продвигать ключевые технологии, ныне контролируемые международными поставщиками. Флэш-накопители действительно далеко не в выигрышной позиции на рынке массовых устройств хранения данных. Например, недавно представленная OCZ серия Colossus включает модели от 128-Гб (стоимостью около \$500) до 1-Тб (более \$3000). Поэтому в основном SSD позиционируются как дополнительные диски для ускорения работы критичных к скорости программ, включая загрузку ОС, и в качестве решений для корпоративного сектора и энтузиастов.

digitimes.com