

Низкотемпературное спекание серебра

в производстве полупроводниковых устройств и электроники, чувствительной к воздействию **высоких температур**

Благодаря превосходной тепло- и электропроводности, а также надежности получаемого соединения, низкотемпературное спекание серебра все шире используется в промышленности. В данной статье описываются некоторые особенности данной технологии и возможности ее применения в будущем для изготовления серийной продукции.

**Марко Коелинк
(Marco Koelink)**

**Мишель де Монши
(Michiel de Monchy)**

**Перевод:
Кристина Набережных
Павел Башта**

Интерес к низкотемпературному спеканию серебра (Ag), или низкотемпературной технологии диффузной сварки, постоянно возрастает главным образом благодаря тому, что серебро обладает лучшей электро- и теплопроводностью по сравнению с другими металлами. Особенности технологии послужили причиной ее широкого распространения при изготовлении оптических устройств, силовой и печатной электроники и оптических биосенсоров. В настоящее время популярность технологии низкотемпературного спекания серебра обусловлена в основном заменой содержащих свинец материалов для пайки (из соображений безопасности для окружающей среды или обеспечения прочности соединений) либо требованиями силовой электроники, в частности в производстве изделий, которые из-за ограниченной мощности чувствительны к эффективности использования энергетических ресурсов. К таким изделиям можно отнести, например, электрические автомобили. При переходе от традиционных материалов для пайки к спеканию серебра основные сомнения вызывает стоимость и надежность новой технологии. Однако, по мере того как технология получает распространение и увеличивается область ее применения — стоимость снижается, и мы вправе ожидать, что вскоре она будет сопоставима со стоимостью более традиционных технологий пайки.

Что касается надежности, то сегодня появляется всё больше данных об успешном применении данной технологии в производстве.

О технологии

На современном этапе многие разработки в области технологий пайки обусловлены требованиями международного законодательства к применению бессвинцовых паяльных материалов и повышению надежности соединений. В последнее время внедрение электрических и гибридных автомобилей стимулировало спрос на эффективную мощную электронику, позволяющую

увеличить дальность пробега (наиболее важная отличительная черта в сравнении с традиционными автомобилями). Также внедрено несколько технологий для создания высокопроизводительных силовых модулей, отличающихся высокой надежностью. В качестве примеров подобных технологий можно назвать применение дорогостоящих припоев, в состав которых входит золото (сплавы AuGe, AuSn, SnSb), а также технологию спекания серебра. Несколько лет назад технология спекания серебра была впервые предложена сразу несколькими компаниями, занимающимися паяльными материалами. Благодаря разработкам APC и Boschman Technologies, в особенности созданию методики динамических вставок (dynamic insert technology), спекание серебра все чаще используется в разных областях промышленности.

Процесс спекания серебра основан на диффузии в твердой фазе, когда металлизация между кристаллом и подложкой происходит за счет сплавленных частиц этого металла. Одним из основных факторов данного процесса является изменение свободной энергии в продукте спекания. Меньшие частицы будут иметь больше свободной энергии, и соответственно, им понадобится меньше внешней энергии, чтобы инициировать процесс плавления. Группа продуктов Argomax, разработанная Alpha Assembly Solutions (рис. 1), содержит агломераты частиц размером около 20 нм, что позволяет проводить процесс спекания при температурах, сравнимых или меньших, чем температура плавления бессвинцового припоя. Столь низкая температура вместе с относительно низким давлением, не превышающим 10 МПа, предоставляет возможность выполнять спекание широкого спектра продуктов. Уникальный ингибитор Argomax позволяет поставлять материалы для спекания в виде пасты или ленты, что также расширяет диапазон применения данного процесса в развитых областях промышленности.

Плавление серебра проходит успешно только в том случае, если на контактной поверхности нанесен чистый



Рис. 1. Alpha Assembly Solutions может предложить множество материалов для процесса спекания серебра в различных форматах и для разных областей применения

металл. Металлизация кристаллов и подложек должна содержать как можно меньше окисей. Лучше всего плавление происходит, если контактная площадка также покрыта серебром. Если серебро не может быть использовано, металлизацию следует выполнять благородными металлами, такими как золото, палладий или платина. Толщина металлизации не должна превышать 1 мкм, поскольку при диффузии серебро не проникает более чем на 25–75 нм. При использовании определенных материалов Argomax процесс спекания также может осуществляться в окружающей атмосфере на площадке с металлизацией медью. Однако, с поверхностями, на которых образуются плотные оксидные структуры, такими как никель и алюминий, а также на поверхности кремния без металлизации процесс спекания протекать не будет.

Спекание серебра представляет собой новую технологию беспустотного монтажа кристаллов, в процессе которой образуются прочные соединения с очень высокой тепло- и электропроводностью (до 200–300 Вт/мК и 2–2,5 мКОм·см). Результат процесса спекания определяется температурой и временем или температурой, временем и давлением. В то время как процесс, определяемый температурой и временем (без давления), относительно легко может быть реализован в промышленных масштабах (в печах оплавления или на подобном оборудовании), процесс, определяемый температурой, временем и давлением, требует точного и независимого контроля всех трех переменных. Именно для такого процесса компания Boschman смогла спроектировать и создать как полуавтоматическое (рис. 2), так и полностью автоматическое оборудование (рис. 5), которое использует уникальную высокоточную технологию динамической вставки с регулировкой давления в сочетании со сложным и точным контролем температуры. К основным особенностям данных систем относятся автоматическое управление процессом спекания с возможностью программирования температуры до +320 °С, динамическое изменение давления в пределах как минимум 10–30 МПа и большая рабочая зона 350×270 мм. Также компания Boschman предлагает специальные решения в соответствии с пожеланиями заказчиков и для выполнения определенных задач. Для защиты устройства во время процесса спекания и поддержания кристалла в чистоте предусмотрена специальная пленка. В случае если необходимо выполнить прямое твердотельное спекание, система может работать и без пленки.

Применение и надежность технологии

Хотя методика спекания серебра вызвала немалый интерес, представление о принципах этой технологии все еще ограничено. За последнее время опубликовано несколько исследований, способствующих лучшему восприятию физики материалов и процессов, связанных



Рис. 2. Sinterstar Innovate-F-XL — универсальная система спекания серебра с использованием технологии динамичных вставок и защитных пленок для пресс-форм. Система работает с различными выводными рамками, подложками, керамическими и кремниевыми пластинами

со спеканием серебра, поскольку знание фундаментальных принципов ведет к более точному пониманию механизмов надежности и отказа. И хотя данная работа еще не закончена, уже сейчас получено достаточно информации, позволяющей предположить, что при различных применениях спекание серебра чаще всего обеспечивает хорошие характеристики прочности на сдвиг и термомеханическую надежность. Системы с возможностью контроля давления имеют лучшую производительность и лучший контроль процесса по сравнению с системами без такой опции.

Спекание серебра может применяться во многих областях промышленности, требующих высокой мощности и концентрации энергии. В том числе в производстве светодиодных светильников, мощных (полупроводниковых) лазеров, солнечных установок (например, фотогальванических электрогенерирующих установок, использующих концентрированный солнечный свет), силовой электроники для ветровых установок. Пример силового устройства показан на рис. 3. Проектные исследования в области светодиодных сборок показали, что спекание серебра обеспечивает устройствам отличную производительность и высокую устойчивость к дальнейшим процессам сборки и суровым условиям эксплуатации (рис. 4). Спекание серебра также распространено в производстве изделий, чувствительных к потерям энергии, например для аккумулялирования энергии в термоэлектрических устройствах (пьезоэлектриках) или печатной электронике.

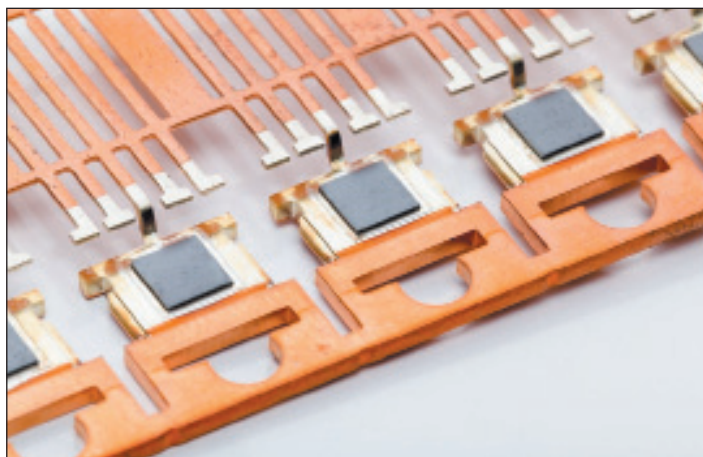


Рис. 3. Пример силового устройства на основе выводной рамки, изготовленного по технологии спекания серебра



Рис. 4. Сравнение различных технологий монтажа кристалла, подходящих для сборки светодиодов

Применение этой технологии особо выгодно при производстве силовых устройств (биполярных транзисторов с изолированным затвором, приборов, использующих РЧ-мощность, полевых транзисторов с МОП-структурой, тиристоров и т. д.). В частности, технология спекания серебра более чем оправдана в тех областях, в которых эффективность конечного продукта ставится выше, нежели стартовые затраты на его изготовление. Это, к примеру, выпуск электрических и гибридных автомобилей, где эффективная силовая электроника должна конкурировать с традиционными двигателями внутреннего сгорания для достижения достаточной дальности пробега. Исследования показали, что применение данной технологии в автомобильной промышленности обеспечивает высокую производительность в сочетании с высокой надежностью.

Еще одним несомненным преимуществом применения процесса спекания серебра в производстве является то, что после обработки температура плавления полученного соединения равна температуре плавления серебра (+962 °С). Вследствие чего максимальная температура на фактическом пятне контакта полученного устройства может

быть значительно выше по сравнению с обычными материалами, предназначенными для монтажа кристалла. В соответствии с правилом, проверенным временем, изделия могут эксплуатироваться без отказов при температуре материала, из которого выполнено соединение, до 0,8 × температура плавления (°С). Это означает, что, если соединение в конечном продукте образовано из содержащих свинец паяльных материалов, такое устройство будет работать при температуре до +180 °С, тогда как, если соединение сформировано по технологии спекания серебра, устройство теоретически может работать при температуре до +760 °С. На практике устройство, изготовленное с использованием технологии спекания серебра, было успешно протестировано при температурах до +500 °С. Проведенные исследования технологии спекания серебра в комбинации с широкозонными полупроводниковыми материалами (SiC, GaN), работающими при гораздо более высоких температурах по сравнению с материалами на основе кремния, способствовали распространению данной технологии в промышленности.

Между тем изучаются и другие области применения технологии спекания серебра — это и поверхностный монтаж, изготовление межсоединений, сращивание подложек, производство печатной электроники и т. д. В настоящее время опубликованы обзоры, посвященные вопросам развития технологии спекания серебра в патентных заявках, процессах, материалах и отраслях и компаниях, которые извлекают прибыль от применения данной технологии.

Выводы

Благодаря надежности и превосходной электро- и теплопроводности получаемого соединения (по сравнению с традиционными технологиями пайки) технология низкотемпературного спекания серебра довольно быстро зарекомендовала себя в области производства мощных и высокопроизводительных устройств. Она оптимальна для изготовления устройств высокой мощности, таких как биполярные транзисторы с изолированным затвором и полевые транзисторы с МОП-структурой, и для работ с широкозонными полупроводниковыми материалами (SiC, GaN), когда требуются бессвинцовые материалы для пайки или высокая производительность (особенно для высокомоощной электроники в составе электрических и гибридных автомобилей). Технология спекания серебра используется в основном для герметизации и спекания без давления. Услуги, оборудование и материалы для производства электронных изделий с применением данной технологии предоставляют компании Alpha Assembly Solutions и Boschman Technologies.



Рис. 5. Inline-F-XL-NC — полностью автоматическая система спекания серебра со станцией предварительного нагрева и охлаждения