

Особенности сборки изделий электроники по технологии 3-D интеграции

С развитием электроники и микроэлектроники наблюдается тенденция к уменьшению размеров электронных приборов для получения наиболее функционального элемента на наименьшей площади. В настоящее время для решения этой задачи успешно применяется сборка электронных изделий по технологии 3D-интеграции, в частности стековая сборка кристаллов с контактными микровыводами (бампами). Современное оборудование позволяет устанавливать кристаллы на пластину/подложку и пластины между собой, получая готовое изделие еще до этапа разрезания пластин на отдельные кристаллы.

Юлия Борисова

lum@eurointech.ru

В статье представлены результаты завершённых микромонтажных работ по 3D-сборке кристаллов с бампами. Работы проводились сотрудниками Института надёжности и микроинтеграции им. Фраунгофера (Fraunhofer IZM) совместно с инженерами компании Finetech. Для проведения тестовых исследований использовалась монтажная станция Fineplacer Sigma, специально разработанная для решения сложных задач микромонтажа кристаллов с большим количеством контактных выводов. Для тестовых работ было выбрано несколько образцов с большим количеством бампов (до 143 000) и малым диаметром выводов (до 13 мкм), которые были установлены на подложку с использованием различных технологий и возможностей монтажной станции Fineplacer Sigma.

Введение

Высокая скорость, большая плотность упаковок, оптимизация размеров и многофункциональность — вот основные направления развития электроники в наши дни. Применение сборки по технологии 3D-интеграции позволяет следовать этим тенденциям, увеличивая функциональность каждой отдельно взятой единицы площади электронного изделия. Особенно важно применение данной технологии в производстве микропроцессоров, компонентов памяти, сенсоров и датчиков.

Выбор надлежащей технологии монтажа кристаллов определяется следующими требованиями: малые размеры кристаллов, малый шаг выводов, высокая температурная, электрическая и механическая стабильность. Этим требованиям удовлетворяет диффузионная пайка или диффузионная пайка с переходящей жидкой фазой. Необходимость работы с тонкими кристаллами с большим количеством низкопрофильных контактных выводов и малым шагом выводов указывает на важность выбора микромонтажного оборудования, обеспечивающего высочайшую точность монтажа кристаллов, большие усилия прижима и параллельность кристалла подложке в процессе его установки и пайки.

Для проведения тестовых работ были выбраны кристаллы различных размеров, также применялись различные технологии микромонтажа (таблица). Все полученные микросборки имеют 1-мм выступ между подложкой и верхним смонтированным кристаллом с каждой из четырех сторон для подключения зондов и проведения электрических тестов по завершении работ.

Сложность проведения микросборки заключалась в необходимости применения усилия прижима порядка 500 Н, а также нагрева кристалла до температуры более 300 °С. При этом важно обеспечить постмонтажную точность не более 3 мкм.

После проведения микросборочных работ были проведены электрические тесты, рентгеновское исследование и исследование поперечного сечения.

Таблица. Результаты проведения тестовых работ

Размер кристалла, мм ²	Диаметр бампов/ количество бампов	Технология монтажа
10×10	25 мкм/35 904	Термокомпрессионная сварка с применением NCF
10×10	25 мкм/35 904	Диффузионная пайка с переходной жидкой фазой
11×11	13 мкм/13 312	Термокомпрессионная сварка
20×20	25 мкм/143 616	Эвтектический монтаж

Термокомпрессионный монтаж с использованием предварительной заливки

Заливка очень тонких кристаллов (с толщиной менее 100 мкм) или стеков кристаллов — это довольно сложная задача, поскольку примыкающие компоненты или окружающие структуры легко могут быть

загрязнены. Поэтому все чаще используют этап так называемой предварительной заливки, когда кристалл или подложка заливаются компаундом еще до монтажа кристалла на подложку. В процессе микросборки материал компаунда становится жидким и заполняет пустоты между бампами, образуя поперечную связь.

Использование непроводящих адгезионных материалов (например, непроводящей фольги NCF) — это своеобразный способ предварительной заливки, наносимой на подложку с помощью вакуумного ламинатора перед ее разрезанием. В процессе монтажа важно обеспечить необходимое усилие прижима и температурный режим, достаточный для разжижения материала заливки и его последовательной активации.

Верхний кристалл устанавливается на подложку при комнатной температуре и медленно нагревается до температуры примерно $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$, таким образом вязкость NCF-адгезива снижается.

Результатом этого процесса является вытеснение материала заливки бампами. При температуре $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$ адгезив NCF начинает образовывать поперечные связи, тем самым образуя контакт между бампами. В ходе этого процесса решающим фактором является прилагаемое усилие прижима, поскольку оно должно быть не менее 1 г/бамп. Затем весь элемент нагревается до финальной температуры $+231\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Постмонтажная точность сборки, полученной по данной технологии на оборудовании Fineplacer Sigma, составила 2 мкм даже при применении усилия прижима в 500 Н и температуры свыше $+230\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 1).



Рис. 1. Поперечное сечение сборки с применением NCF (усилие прижима 500 Н)

В случае использования технологии предварительной заливки для кристаллов с небольшой высотой бампов крайне важно обеспечить параллельность кристалла подложке в процессе сборки. Поэтому при монтаже применяются специальные инструменты с шарнирной головкой, которые позволяют выровнять кристалл относительно подложки в ходе микромонтажа. Исследования поперечного сечения полученной микросборки показало, что в среднем расхождение плоскости кристалла и подложки оставляет всего 2 мкм по всей длине в 15 мм.

Другим важным фактором получения качественной сборки с использованием предварительной заливки является оптимизация процесса и правильный подбор временных интервалов. Неправильно выбранные температурные профили и профиль прижима крайне негативно влияют на результаты процесса. К примеру, если усилие прижима приложить слишком поздно, то контакта между бампами не будет.

Диффузионная пайка с переходной жидкой фазой

Данная технология монтажа кристаллов становится все более популярной, в особенности для многокристалльныхборок или 3D-интеграции благодаря выгодным характеристикам получаемых микросборок. Тугоплавкий слой припоя между двумя легкоплавкими металлами нагревается до температуры его плавления. Это приводит к образованию интерметаллических соединений вследствие процесса диффузии. Образовавшиеся интерметаллические соединения имеют температуру плавления выше, чем температура плавления тугоплавкого припоя. Такая технология монтажа называется диффузионной пайкой с переходной жидкой фазой, она имеет максимальный эффект для структур Cu-Sn.

В ходе тестовых работ кристаллы были первоначально зафиксированы на подложке с усилием прижима порядка 20 Н, затем была проведена пайка при температуре $+231\text{ }^{\circ}\text{C}$ и усилии прижима 500 Н.

Для образования однородного интерметаллического слоя в процессе пайки важно, чтобы припой не содержал оксидов. Поэтому перед проведением тестовых микросборочных работ все кристаллы были подвергнуты плазменной обработке для очистки поверхности от оксидов. Кроме того, в ходе пайки использовался флюс.

Во избежание бокового сдвига вследствие сферичности выводных бампов кристаллов и подложки, финальное усилие прижима должно применяться при температуре, достаточной для того, чтобы припой находился в жидком состоянии. Для образования интерметаллических соединений сборка кристалл-подложка выдерживалась при температуре $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$ от нескольких минут до нескольких часов.

Последующие тесты в рентгеновском излучении и изображения поперечных сечений показали хорошие результаты (рис. 2).

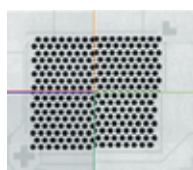


Рис. 2. Рентгеновское изображение четырех углов полученной сборки кристалл-подложка

Несмотря на большие усилия прижима и сферическую поверхность бампов, постмонтажная точность составила всего 3 мкм. Кроме того, следует заметить, что топология нашего тестового кристалла такова, что бампы и реперные метки наносились в ходе двух отдельных процессов фотолитографии, а это значит, что есть еще некоторый сдвиг бампов относительно реперных меток, «заданный» еще производителем кристаллов (в действительности он может достигать 5 мкм). Подобный сдвиг также следует принять во внимание.

Вследствие сферичности поверхности бампов постмонтажная параллельность кристал-

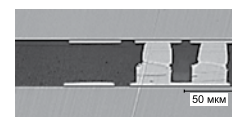


Рис. 3. Деформация бампов вследствие неточного совмещения

ла подложке частично зависит от точности совмещения. Даже незначительные угловые ошибки могут привести к полному рассовмещению и «соскакиванию» бампов друг относительно друга при применении больших усилий прижима (рис. 3).

Термокомпрессионная сварка

Данный метод монтажа особенно интересен при сборке датчиков изображения, где требуется получение контакта Cu-Cu. Медь обладает высокой электро- и теплопроводностью, что делает ее наиболее подходящим материалом.

Для улучшения процесса монтажа на поверхность бампов был нанесен слой припоя SnAg толщиной 1 мкм. Эффект от нанесения этого слоя был исследован ранее.

Для бампов в количестве 13312 с диаметром 13 мкм и шагом 25 мкм требуется применение усилия прижима в 500 Н и нагрев до температуры $+300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для получения хорошего контакта также необходимо провести предварительную плазменную обработку поверхности кристаллов и подложек, делается это перед сборкой, чтобы удалить оксиды. Отжиг при температуре $+400\text{ }^{\circ}\text{C}$ в ходе тестовых работ не проводился.

Из-за малого диаметра бампов и маленького шага выводов проверка постмонтажной точности сборки может быть проведена только исследованием поперечного сечения. Она составила всего 1–3 мкм для данной технологии монтажа. Для улучшения этих результатов необходимо оптимизировать параметры процесса, такие как температурный профиль и прилагаемое усилие прижима (рис. 4).

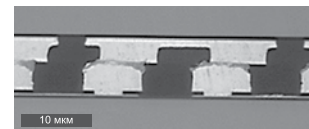


Рис. 4. Пример смещения бампов друг относительно друга

Отклонение в параллельности подложки и кристалла в ходе тестовой сборки методом термокомпрессионной сварки составило 2 мкм вдоль всей диагонали кристалла с размерами $11\times 11\text{ мм}$. Электрические тесты показали хороший электрический контакт без коротких замыканий по всей площади кристалла.

Эвтектическая пайка

Эвтектическая пайка — это все еще наиболее распространенная технология монтажа, при которой эвтектический припой используется

в качестве контактной среды. Обычно отдельные кристаллы устанавливаются в стек, а затем проводится одновременная пайка всех кристаллов оплавлением припоя или контактным нагревом снизу. Крайне важно провести весь цикл сборки без перемещения подложки, чтобы получить высокую точность монтажа. Для эвтектических тестов использовались кристаллы с бампами в количестве 143616 штук. Кристалл фиксировался в течение всего процесса сборки.

Используемый SnAg-припой (3,7% Ag) имеет температуру плавления около +221 °С, которая должна быть превышена в ходе процесса пайки.

Для повышения точности монтажа нагрев проводился от комнатной температуры до температуры плавления припоя по заданному термопрофилю, в ходе нагрева кристалл удерживался небольшим усилием прижима



Рис. 5. Небольшие пустоты внутри припоя

20 Н. Однако при такой фиксации кристалла невозможно его самовыравнивание.

Использование эвтектической технологии позволило получить сборку с небольшим отклонением в параллельности подложки и кристалла — около 1,7 мкм по длине 28,3 мм, и высокой точностью монтажа — 2–3 мкм. Однако было выявлено наличие пустот вну-

три припоя. Поэтому процесс сборки следует проводить в вакууме (рис. 5).

Заключение

Новые технологии монтажа, например, диффузионная пайка, сварка металл-металл и использование предварительной заливки требуют высокой точности совмещения и кропотливой подборки и оптимизации параметров процесса сборки, таких как усилие прижима и температурный режим.

Применение монтажной станции Fineplacer Sigma сделало возможным проведение микро-сборки сложных кристаллов с большим количеством контактных выводов малого диаметра. При этом был получен хороший электрический контакт для всех бампов (в количестве 143 000).