

Применение технологии вертикального монтажа и лазерной пайки кристаллов для сборки 3,5D-конструкций многокристальных модулей

Компания «ЛионТех» является официальным дистрибьютором оборудования PacTech (Германия) на территории Российской Федерации. Packaging Technologies GbmH (PacTech) — мировой лидер по разработке и производству оборудования для производства микроэлектроники. Представляем перевод статьи, подготовленной специалистами PacTech в области технологии вертикального монтажа и лазерной пайки кристаллов. В статье рассмотрена технология лазерной пайки кристаллов (LAB, laser assisted bonding) в сравнении с термокомпрессионным методом монтажа кристаллов (ТСВ). Описаны преимущества и недостатки обоих методов в случае их применения для сборки многоуровневых флип-чип-модулей. Выявлены преимущества технологии LAB в сравнении с ТСВ. Предложена концепция 3,5D-конструкции многокристальных модулей, согласно которой после сборки многоуровневого флип-чип-модуля на его боковые грани вертикально монтируются дополнительные кристаллы.

Андрей Колбасов
Тимо Кубш
(Timo Kubsch)
Маттиас Фетке
(Matthias Fettke)
Георг Фридрих
(Georg Friedrich)
Торстен Тойч
(Thorsten Teutsch)

fettke@pactech.de

Перевод: Сергей Воробьев

s.vorobyev@liontech.ru

Введение

Требования к постоянному улучшению характеристик, возрастанию степени миниатюризации и плотности систем являются основным стимулом в полупроводниковой промышленности для совершенствования структуры кристаллов и разработки новых принципов корпусирования. Производители многокристальных модулей памяти с высокой пропускной способностью (HBM, High Bandwidth Memory) и гибридных кубов памяти (HMC, Hybrid Memory Cube) решают эту задачу, применяя хорошо известную технологию 2,5D/3D-интеграции с использованием сквозных переходных отверстий в кремнии (TSV). Однако необходимость непрерывного повышения производительности устройств приводит к значительному увеличению плотности

соединений как между уровнями многокристального модуля, так и внутри кристаллов (микробампов, медных столбиковых выводов, TSV). В связи с этим задача для конструкторов и технологов по снижению рисков возникновения паразитных емкостей и индуктивностей, соответствию устройства требованиям электромагнитной совместимости серьезно усложняется [1]. Кроме решения проблем, связанных с усложнением конструкции устройств, для выхода на новые технологические стандарты важную роль играет наличие надежного и экономически целесообразного процесса производства. В настоящей работе предлагается соответствующая указанным требованиям концепция 3,5D-конструкции многокристального модуля — многоуровневого флип-чип-модуля, на боковые грани которого также установлены кристаллы (рис. 1).

Основная задача для данной конструкции — перераспределение TSV-структур к краям кристаллов, чтобы реализовать возможность электрического соединения между уровнями модуля через вертикально смонтированные кристаллы.

Представленная в настоящей статье технология сборки предполагает использование межсоединений, расположенных по периферии кристаллов, что дает возможность снизить плотность межсоединений по площади кристаллов или полностью перераспределить их на края многокристальных модулей. Таким образом может быть упрощена топология кристаллов и минимизированы связанные с межсоединениями паразитные эффекты. В статье проведено сравнение характеристик соединений, полученных методами LAB и ТСВ. Надежность соединений прове-

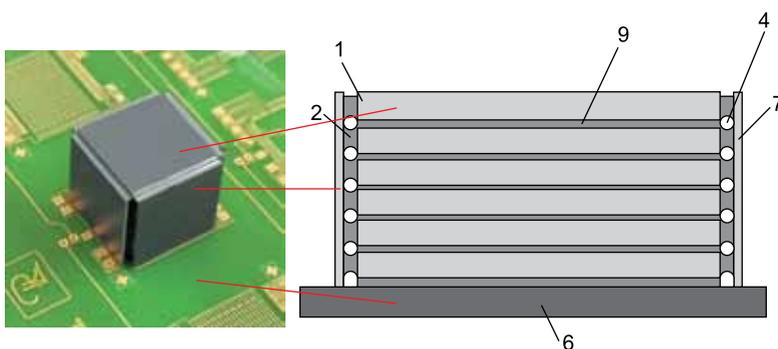


Рис. 1. Многоуровневый модуль с установленными на боковые грани кристаллами

Таблица 1. Материалы и тестовые образцы

| Образцы | Описание | Изображение | Характеристики |
|------------|---------------------------------------|---|---|
| Образец А | Кремниевый интерперозер |  | Размер: 14 мм × 14 мм × 110 мкм UBM: ENIG Тип: интерперозер для SOP |
| Образец В | Печатная плата |  | Размер: 20×20×1 мм UBM: ENIG Тип: многослойная ПП |
| Образец С | Тестовый кристалл PacTech (кремний) |  | Размер: 14 мм × 14 мм × 110 мкм UBM: ENIG Тип: кремниевый тестовый кристалл PacTech |
| Образец D | Тестовая плата PacTech (материал FR4) |  | Размер: 16 см × 10 см × 1 мм UBM: ENIG Тип: многопроектная тестовая печатная плата PacTech |
| Материал А | МЭМС |  | Размер: 0,3 мм × 0,3 мм × 190 мкм UBM: ENIG Тип: МЭМС |
| Материал В | Шарики припоя SAC305, 350 мкм |  | Размер: $\varnothing(350 \pm 5)$ мкм Температура плавления: 493,15 К Сплав: Sn96,5% Ag3% Cu0,5% |

рена с помощью тестов на сдвиг, рентгеновского контроля, анализа поперечного среза (шлифа), EDX-анализа и термотренировки. Наконец, в статье изложена концепция 3,5D-конструкции многокристального модуля и представлены первые результаты сборки.

Материалы и тестовые образцы

Для выполнения квалификационных испытаний изделий, собранных по двум технологиям, обсуждаемым в данной статье, были выбраны образцы и материалы, перечисленные в таблице 1.

Описание процессов монтажа кристаллов

Ключевыми узлами оборудования для монтажа кристаллов являются трехосевая роботизированная система, монтажная головка и инструмент, рабочий стол. Общая задача процессов — создание надежных соединений между подложкой и монтируемым на нее компонентом. Основная разница между процессами LAB и TCB состоит в механизме подведения энергии к компонентам, необходимой для выполнения качественной пайки.

Перед выполнением процесса монтажа компонент захватывается вакуумным монтажным инструментом и с помощью системы машинного зрения совмещается с подложкой, расположенной на рабочем столе.

Последовательность операций процесса LAB (PacTech)

Для нагрева компонента перед его установкой на подложку использовался модулированный пучок лазерного излучения ближнего ИК-диапазона. На нижней стороне компонента расположена матрица шариковых выводов, предварительно покрытых флюсом (рис. 2).

В этом конкретном случае модуляция лазерного пучка выполнялась в два этапа. На первом этапе начальный пучок с гауссовым распределением энергии трансформировался в пучок с плоским цилиндрическим профилем. На втором этапе с помощью прямоугольной апертуры достигалась желаемая геометрия пучка (табл. 2).

Размер, геометрия и однородность распределения плотности энергии лазерного пучка зависят от оптической конфигурации используемой системы линз. Модулированный пучок лазера выходит через апертуру керамического монтажного инструмента. Во время монтажа параметры процесса контролируются с помощью датчиков усилия и температуры и автоматически поддерживаются в заданном диапазоне. В зависимости от размера компонента и материала может быть достигнут градиент температуры по времени до 1773 K/c ±0,3 K. До момента касания под-

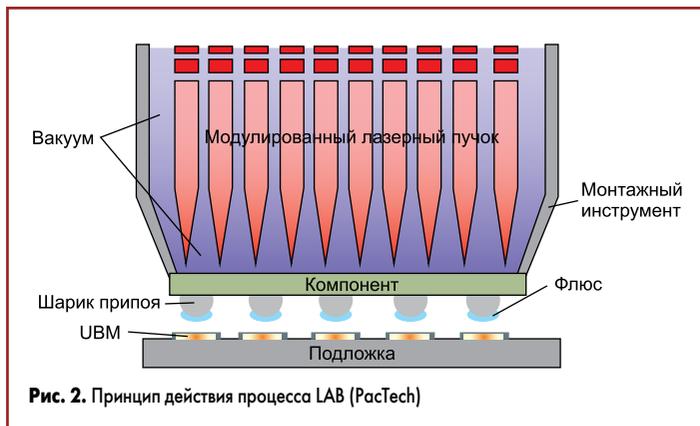
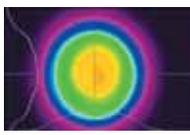
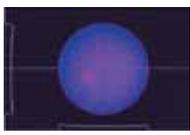
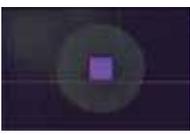
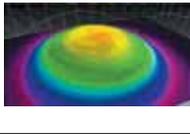


Рис. 2. Принцип действия процесса LAB (PacTech)

Таблица 2. Модуляция лазерного пучка

| | Начальное распределение энергии пучка | Профиль распределения энергии после первого этапа модуляции | Профиль распределения энергии после второго этапа модуляции |
|----------------|---|--|--|
| 2D-вид профиля |  |  |  |
| 3D-вид профиля |  |  |  |
| | Гауссово распределение | Плоский цилиндрический профиль | |

ложки все шарики припоя на компоненте расплавляются за счет энергии, полученной от пучка лазера. На завершающем шаге компонент устанавливается на подложку. Во время установки не требуется прикладывать какое-либо значительное усилие, так как все шарики припоя уже находятся в расплавленном состоянии [2, 3].

Последовательность операций процесса TCB

Для нагрева керамического или металлического монтажного инструмента используется электроспираль. Принцип действия процесса TCB показан на рис. 3.

Тепло от нагревателя подводится через монтажный инструмент к монтируемому компоненту, разогревая его. Эффективность передачи тепла зависит от конструкции и размеров монтажного инструмента, а также от материала, из которого он изготовлен. До момента касания с подложкой температура компонента поддерживается на уровне чуть ниже точки плавления припоя. Момент касания компонента с подложкой отслеживается с помощью датчика усилия. Сразу после касания температура компонента резко увеличивается (со скоростью до 473 K/c), чтобы расплавить шарики припоя, которые находятся в соприкосновении с контактными площадками на подложке. Вследствие тепловых потерь, возникающих при передаче тепла через монтажный инструмент, необходимо выполнять температурную калибровку как до монтажа, так и в его процессе [8–10].

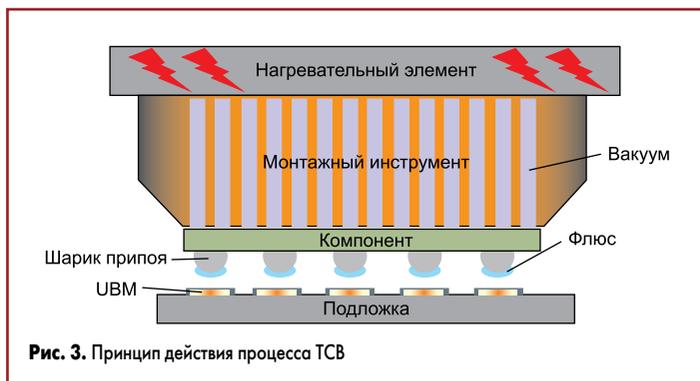


Рис. 3. Принцип действия процесса TCB

Сравнение процессов LAB и TCB

Оценка влияния эффекта коробления при монтаже кремневых интерпозеров на печатную плату

Для сравнительного анализа влияния эффекта коробления на характеристики изделия, возникающего в ходе выполнения процессов LAB и TCB, были собраны образцы, информация по которым приведена в таблице 3. После сборки образцы были измерены с помощью профилометра Keyence VR 3000. Также результаты измерений были подтверждены лазерным датчиком Keyence LG-G3000. В таблице 3 указаны значения основных параметров процессов LAB и TCB, которые, как видно, существенно различаются.

Больше всего различались значения таких параметров, как сила прижима, пиковая температура и время монтажа. На все использованные образцы интерпозеров предварительно были установлены шарики припоя методом последовательного монтажа и оплавления лазером (технология SB², PacTech [4]). Шарики припоя диаметром 350 мкм были изготовлены из сплава SAC305 (Sn 96,5%, Ag 3%, Cu 0,5%). После монтажа шариков на восьмиугольные контактные площадки интерпозера размером 190 мкм их высота составила 300 мкм. На рис. 4 показаны результаты измерений разброса по высоте шариков припоя на интерпозере.

После подготовки интерпозеров по процессам LAB и TCB было собрано по три тестовых образца. На рис. 4, 5 показаны термопрофили процессов.

Как видно на рис. 4, 5, термопрофили процессов существенно различаются. Это различие обусловлено методом нагрева интерпозера во время монтажа. В процессе TCB необходимо сначала разогреть монтажный инструмент, который, в свою очередь, передает тепло интерпозеру. В то же время процесс LAB позволяет разогреть непосредственно

Таблица 3. Образцы для оценки влияния эффекта коробления

| Характеристики | Образец 1 | Образец 2 | Образец 3 |
|---|---|---|---|
| Внешний вид | | | |
| Примечание | Один интерпозер установлен на плату | Стек из двух интерпозеров установлен на плату | Стек из трех интерпозеров установлен на плату |
| Значения основных параметров процесса TCB | Пиковая температура: 583,15 K Время монтажа (полное): 20 с Сила прижима: 20 Н Предварительный нагрев: – Охлаждение инструмента/компонента: потоком азота Флюс: TACFLUX 10 (Indium corp.) | | |
| Значения основных параметров процесса LAB | Пиковая температура: 513,15 K Время монтажа (полное): 7 с Сила прижима: – Предварительный нагрев: – Охлаждение инструмента/компонента: не использовалось Флюс: TACFLUX 10 (Indium corp.) | | |

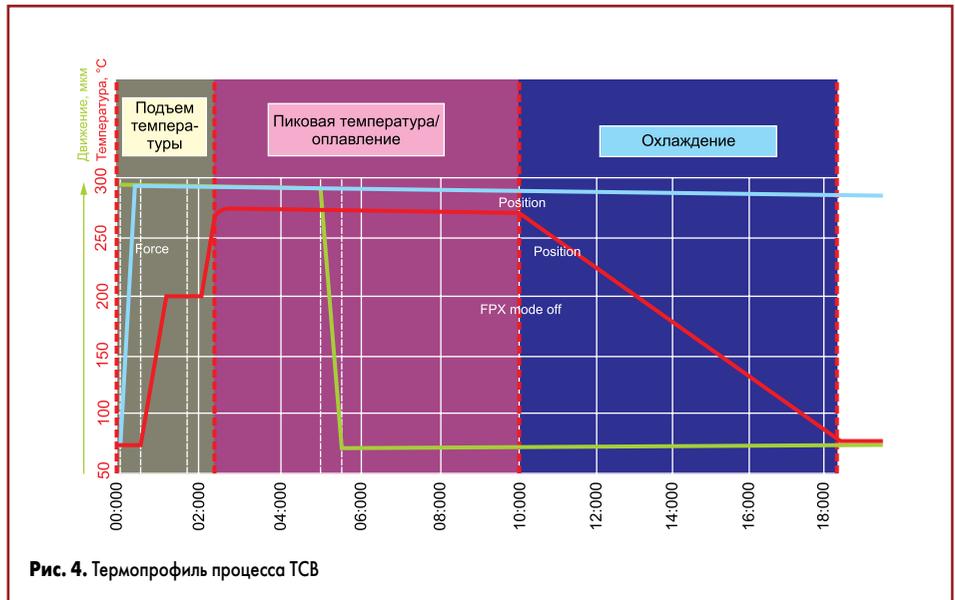


Рис. 4. Термопрофиль процесса TCB

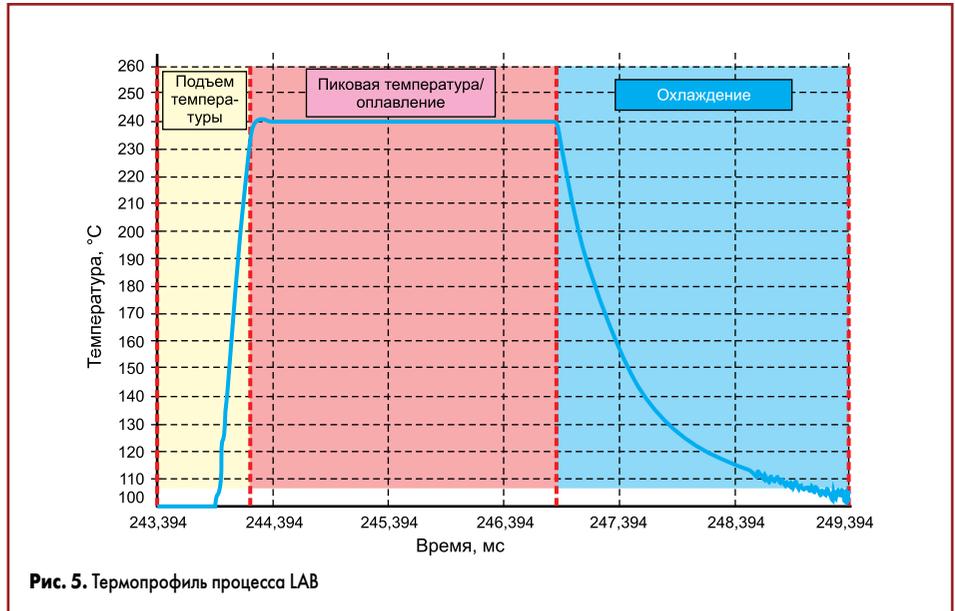


Рис. 5. Термопрофиль процесса LAB

сам интерпозер за счет передаваемой ему энергии лазерного излучения. Кроме того, как показано в таблице 3, в процессе LAB не используется охлаждение потоком азота, поскольку отсутствуют массивные компоненты (такие как монтажный инструмент), требующие принудительного охлаждения.

Также важно отметить, что термопрофиль, показанный на рис. 4, был измерен на верхней части монтажного инструмента. При построении термопрофиля был учтен градиент температуры между верхней и нижней частями монтажного инструмента, который обычно составляет ~67 К. Временное снижение темпе-

Таблица 4. Измерение высоты шариков припоя, 3D и 2D

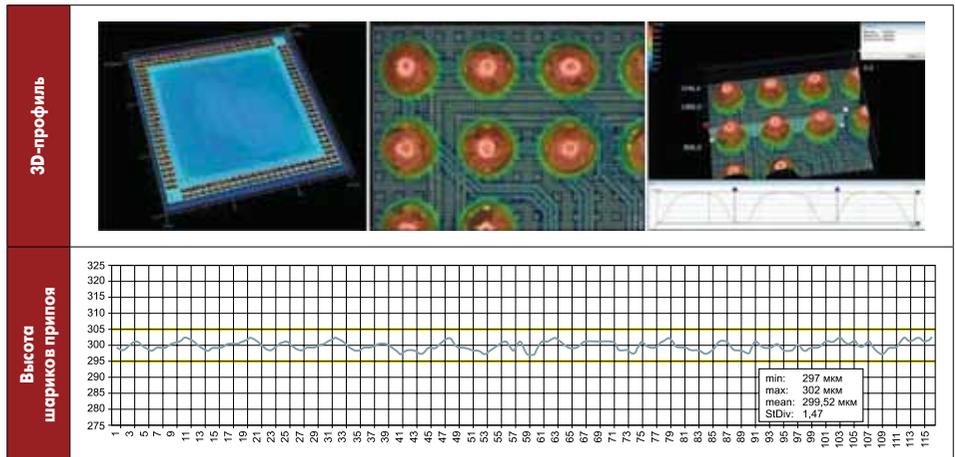


Таблица 5. Измерение коробления образцов, собранных по процессу TCB

| | Место измерения | 3D-профиль | 2D-профиль | |
|-----------|-----------------|------------|------------|---------------|
| Образец 1 | | | | 1 интерпозер |
| Образец 2 | | | | 2 интерпозера |
| Образец 3 | | | | 3 интерпозера |

Таблица 6. Измерение коробления образцов, собранных по процессу LAB

| | Место измерения | 3D-профиль | 2D-профиль | |
|-----------|-----------------|------------|------------|---------------|
| Образец 1 | | | | 1 интерпозер |
| Образец 2 | | | | 2 интерпозера |
| Образец 3 | | | | 3 интерпозера |

ратуры разогретого инструмента в момент его касания холодного компонента не учитывалось вследствие слишком малой скорости передачи тепла через инструмент. В то же время при сборке образцов по процессу LAB температура измерялась оптическим способом непосредственно на интерпозере.

Хорошо известно, что при монтаже кристаллов друг на друга в получающемся стекле создаются внутренние механические напряжения, которые возникают из-за теплового расширения кристалла во время его монтажа на стек и последующего за этим сжатия из-за охлаждения, когда кристалл уже зафиксирован в стекле. Неоптимальный термопрофиль процесса монтажа также может способствовать росту напряжений.

Возникшие напряжения в комбинации с другими видами механического воздействия (например, вибрации) могут привести к разрушению паяных соединений и/или компонентов стекла. Этот дефект может возникнуть в любой момент на протяжении срока службы устройства, поэтому необходимы меры, предотвращающие такие риски. Для оценки возникших внутренних напряжений применяется анализ степени коробления компонента.

Для количественной оценки коробления с помощью 3D-профилометра были составлены карты поверхностей интерпозеров. Результаты измерений затем были нормированы таким образом, чтобы каждый из четырех углов интерпозера находился на нулевой высоте. После чего была определена наивысшая точка поверхности интерпозера и измерена ее высота относительно углов.

В таблицах 5, 6 показаны результаты измерений коробления образцов, отсортированных по количеству кристаллов в стеклах.

Измерения образцов, собранных по технологии TCB, показали очевидное наличие коробления, степень которого, однако, уменьшается с увеличением количества кристаллов в стекле. Как видно из таблицы 5, наибольшее коробление наблюдается у образца 1 с одним интерпозером, установленным на плату. В то время как края кристалла зафиксированы на нижележащей плате, его центр выгнут вверх примерно на 40 мкм, образуя, таким образом, выпуклую осесимметричную форму кристалла. Это ясно указывает на наличие внутренних механических напряжений в интерпозере и паяных соединениях. На втором образце с двумя интерпозерами коробление уже не настолько сильное, а на третьем образце никакого сколь-нибудь значительного коробления не обнаружено. По мере того как все больше и больше слоев добавляются в стек, их взаимное механическое влияние друг на друга может компенсировать возникающую деформацию, что в конечном итоге приводит к уменьшению коробления всего стекла. Другим объяснением снижения коробления может быть влияние повторяющихся термоциклов во время монтажа новых уровней стекла, что снижает степень внутреннего механического напряжения в кристаллах и межсоединениях. И такая форма термического отжига не только снимает напряжения в стекле, но и за счет этого уменьшает коробление.

В образцах, собранных по технологии LAB, коробления более чем ±2,5 мкм не наблюдалось. Чтобы подтвердить это, по технологии TCB и LAB были собраны еще по одному образцу с одним интерпозером. Измерения этих образцов показали результаты, идентичные предыдущим.

Сравнение характеристик слоев интерметаллических соединений (IMC), образованных в результате процессов TCB и LAB

Далее будет изложен анализ формирования и старения слоев интерметаллических соединений (IMC), образующихся в результате монтажа компонентов по технологиям TCB и LAB.

Формирование слоя IMC является важным требованием, обуславливающим надежность электрического и механического контакта [5]. Однако в ходе старения слой IMC растет и становится более хрупким, что впоследствии приводит к возникновению таких дефектов, как растрескивание, отслоение и уменьшение проводимости контакта [6].

В ходе работ были проведены исследования стойкости слоев IMC, сформированных в результате разных процессов монтажа компонентов, к воздействию температурного старения. После сборки образцов часть из них была подвергнута термоциклированию при температуре в пределах -40...+125 °C в течение 35 мин. Чтобы смоделировать старение компонента в течение его срока службы, каждый образец прошел 200 циклов смены температур. Это должно было спровоцировать возникновение слабых мест в соединениях, таких как микротрещины или отслоение бампов.

Результаты испытаний показаны ниже. В таблице 7 показаны поперечные срезы бампов кристаллов, смонтированных по технологиям TCB и LAB, особое внимание уделено слоям IMC.

Как видно на рис. 6, 7, во время выполнения TCB-процесса образуются два разных слоя IMC. Это происходит вследствие того, что верхний интерфейс паяного соединения был предварительно сформирован еще на этапе монтажа шарика припоя на кристалл интерпозера (процесс SB², PacTech). В то время как нижний интерфейс был образован только в момент монтажа кристалла.

Таблица 7. Поперечный срез слоев IMC

| | Монтаж по технологии TCB | Монтаж по технологии LAB |
|-----------------|--------------------------|--------------------------|
| Поперечный срез | | |
| | | |
| IMC | | |
| | | |

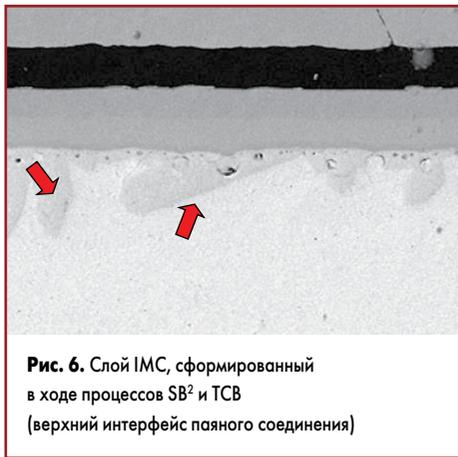


Рис. 6. Слой IMC, сформированный в ходе процессов SB² и TCB (верхний интерфейс паяного соединения)

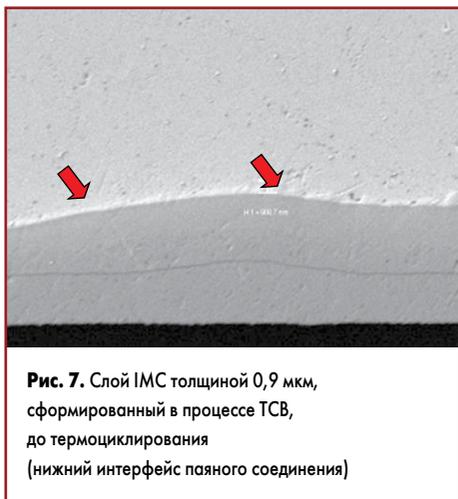


Рис. 7. Слой IMC толщиной 0,9 мкм, сформированный в процессе TCB, до термоциклирования (нижний интерфейс паяного соединения)

Слой IMC, сформированный только в процессе TCB, тоньше слоев интерметаллического соединения, образованных только в процессе SB² или после комбинации процессов SB² и TCB. Этот слой имеет четкую ровную границу. В то время как слой IMC, сформированный процессами SB² и TCB, отличается игольчатой структурой.

На рис. 7 представлена фотография среза слоя IMC, сделанная сразу после монтажа интерпозера по технологии TCB. Рис. 8 демонстрирует, как изменяется морфология интерметаллического слоя после 200 термоциклов.

Интересно, что толщина интерметаллического слоя, сформированного в процессе TCB, во время термоциклирования увеличивается значительно сильнее, чем толщина слоя IMC, образованного в процессе SB² (монтажа и лазерной пайки шариков припоя). После термо-

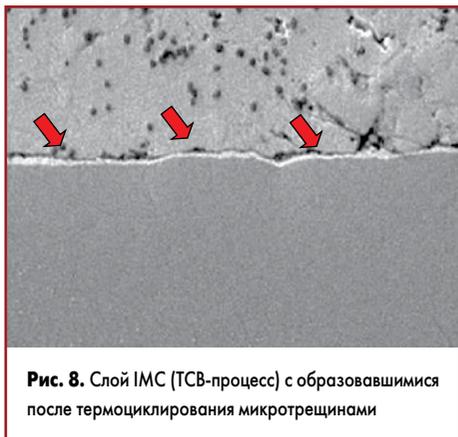


Рис. 8. Слой IMC (TCB-процесс) с образовавшимися после термоциклирования микротрещинами

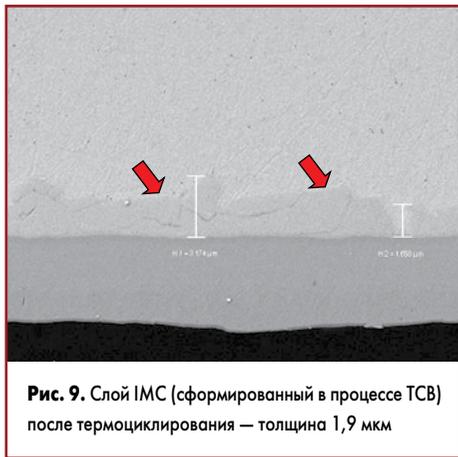


Рис. 9. Слой IMC (сформированный в процессе TCB) после термоциклирования — толщина 1,9 мкм

циклирования слой IMC TSV увеличивается практически в два раза (рис. 9), в то время как слой IMC SB² практически не изменил свою толщину (рис. 10).

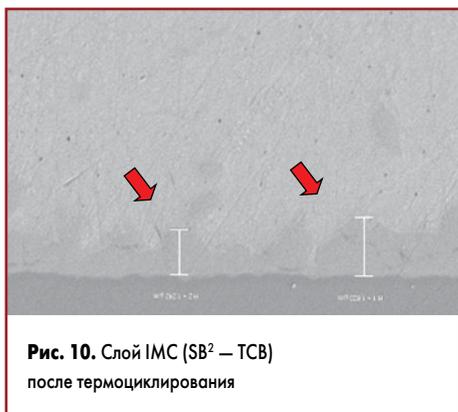


Рис. 10. Слой IMC (SB² — TCB) после термоциклирования

Как видно по рис. 11 и 12, до термоциклирования слои IMC на границах паяных соединений, сформированные как во время монта-

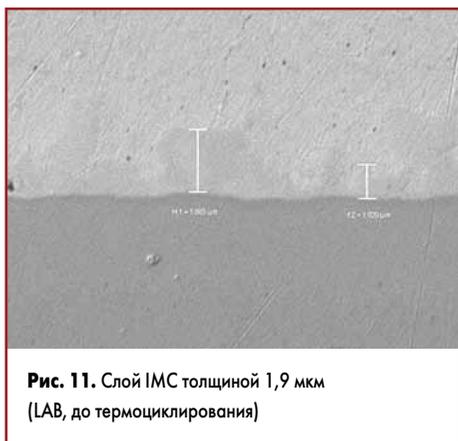


Рис. 11. Слой IMC толщиной 1,9 мкм (LAB, до термоциклирования)

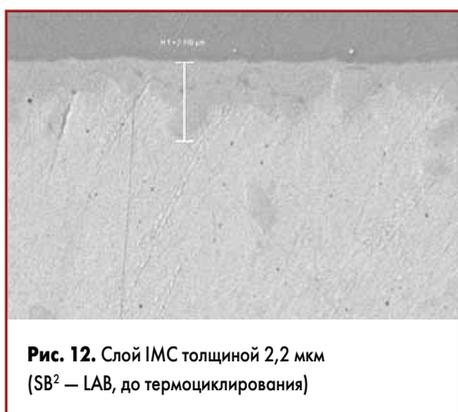


Рис. 12. Слой IMC толщиной 2,2 мкм (SB² — LAB, до термоциклирования)

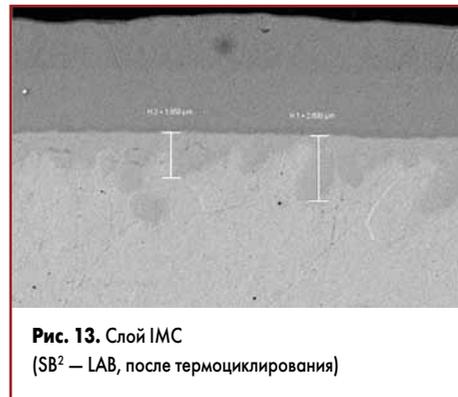


Рис. 13. Слой IMC (SB² — LAB, после термоциклирования)

жа шариков припоя (SB² — LAB), так и после монтажа кристалла по методу LAB, внешне не различаются.

Последующее воздействие термоциклированием не оказало никакого негативного влияния на интерфейс паяного соединения, как показано на рис. 13. Никаких признаков микротрещин и иных дефектов, как в случае с монтажом интерпозеров по методу TCB (рис. 8), выявлено не было. Однако, несмотря на столь многообещающие результаты, для оценки надежности паяных соединений и поведения интерметаллических слоев, сформированных в процессе LAB, требуется проведение дополнительных испытаний. Но на основании имеющихся данных уже можно предположить, что процесс монтажа и лазерной пайки кристаллов LAB приводит к образованию надежных и стойких к внешним воздействиям паяных соединений и интерметаллических слоев в них.

Концепция 3,5D-конструкции многокристальных модулей, собранных по технологии LAB (PacTech)

Помимо предотвращения распространения тепла и возникновения паразитных эффектов в сложных многокристальных 3D-модулях, содержащих до 32 уровней, проблемой также является создание TSV-межсоединений. Соединения между уровнями 3D-сборок, как правило, реализованы с помощью технологий микросварки проволокой либо TSV (сквозные переходные отверстия в кремнии). Обе технологии достаточно дорогостоящи и могут включать до 320 операций (нанесение резиста, травление, напыление и пр.). Риск появления брака возрастает с увеличением количества уровней микросборки и глубины TSV-структур. Реализация технологии вертикального монтажа активных или пассивных компонентов (интерпозеров) может помочь преодолеть указанные риски и ограничения. Технология 3,5D-сборки позволяет снизить эти риски или полностью избавиться от них, так как уровни стека соединяются между собой через вертикально установленные компоненты, и, таким образом, отпадает потребность в наличии TSV в активной области кристаллов. Это не только высвобождает дополнительную площадь на каждом уровне, но также позволяет создавать более плотную упаковку слоев. На каждую из четырех сторон стека можно вертикально смонтировать компонент.

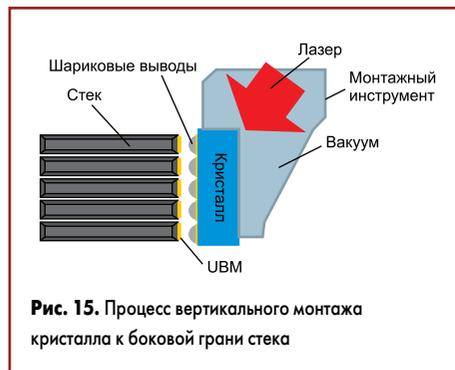
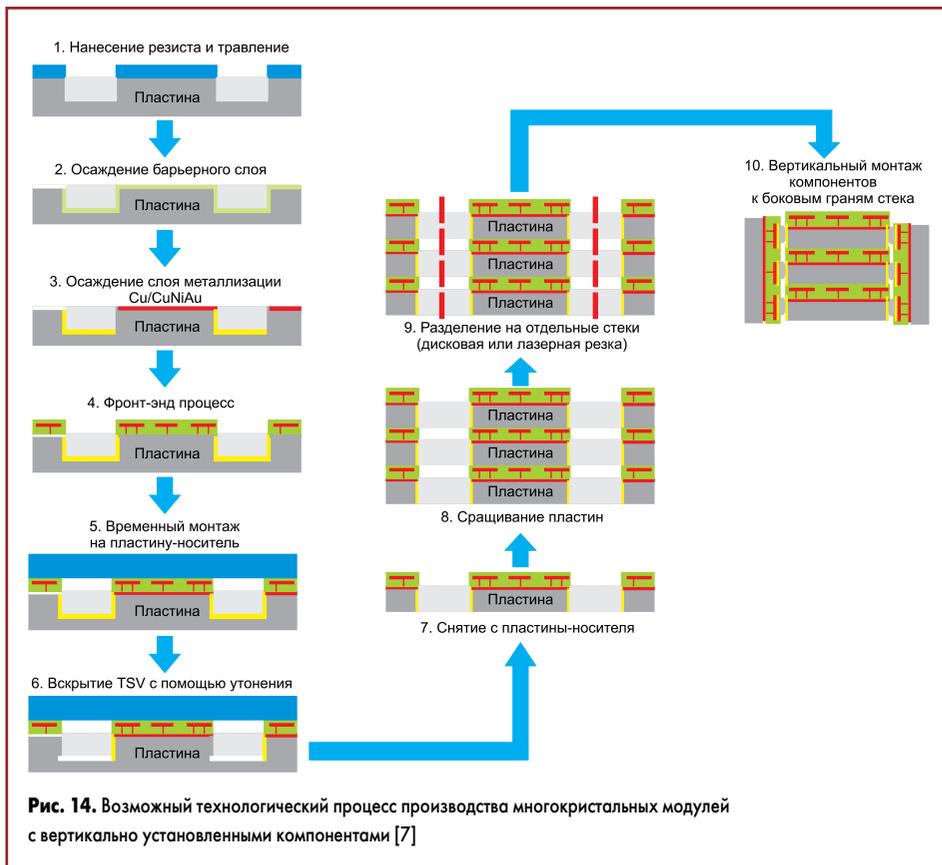


Рис. 15. Процесс вертикального монтажа кристалла к боковой грани стека

Рис. 14. Возможный технологический процесс производства многокристалльных модулей с вертикально установленными компонентами [7]

Необходимым условием для выполнения вертикального монтажа к боковой грани стека является наличие боковых контактных площадок. Это должно быть учтено при проектировании и производстве каждого кристалла, входящего в стек. В идеальном случае все контактные площадки должны быть перераспределены по боковым поверхностям (торцам) кристалла. Преимуществом такого подхода является уменьшение высоты стека, так как в этом случае нет необходимости в создании контактных площадок, столбиковых или шариковых выводах на поверхности кристаллов.

Ограничивающими факторами для зазоров между уровнями стека будут являться толщина кристаллов и минимальный шаг выводов вертикально монтируемых компонентов.

Если применить этот подход к технологической цепочке производства пластин, то тогда на первом этапе по периферии будущих кристаллов должны быть сформированы структуры TSV. Затем в одном цикле с проводниками на кристалле должна быть выполнена металлизация отверстий.

После этого пластины утоняются и сращиваются друг с другом, таким образом, формируется стек с произвольным количеством слоев. Затем с помощью дисковой или лазерной резки по TSV-отверстиям сращенные пластины разделяются на отдельные стеки. На боковые грани стеков теперь можно вертикально установить необходимые компоненты (рис. 14).

Стек из кристаллов монтируется на подложку, а необходимый для монтажа нагрев выполняется с помощью лазера с нижней стороны подложки. Для этой операции может быть использован процесс LAB, в ходе которого стек монтируется на подложку как единое целое.

Ранее в статье были описаны принципы действия процессов TCB и LAB. Аналогичным образом будет дано пояснение процесса вертикального монтажа кристаллов. На рис. 15 схематически показан процесс монтажа.

Для выполнения вертикального монтажа кристаллов на боковые грани 3,5D-стека используется процесс LAB, что позволит

снизить тепловую нагрузку на всю сборку в целом. Оборудование, на котором выполнялась сборка, — установка вертикального монтажа кристаллов серии LAPLACE (PacTech), рис. 16.

Оптическая система, монтажный инструмент и оснастка были адаптированы к необходимости ориентирования инструмента под углом 45°. Специальная поворотная станция позволяла выполнять захват горизонтально расположенного кристалла с помощью наклоненного под углом 45° инструмента. Вакуум внутри инструмента позволял надежно удерживать кристалл. После определения реперных меток система перемещает инструмент с кристаллом к стеку, сохраняя расстояние между кристаллом и стеком порядка нескольких микрон. До монтажа кристалла на его контакты были установлены шарики припоя диаметром 80 мкм. Сам процесс монтажа кристалла к боковой грани стека выполняется в соответствии с описанным выше процессом LAB. Во время монтажа лазерный пучок, падающий на поверхность кристалла под углом 45°, разогревает кристалл. Результаты



Рис. 16. Автоматическая установка вертикального монтажа и лазерной пайки кристаллов LAPLACE (PacTech)



Рис. 17. Стек с вертикально монтированными на его боковые грани кристаллами.
Размер стека 12×12×12 мм

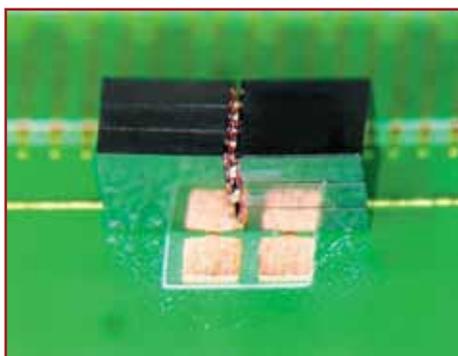


Рис. 18. 3,5D МЭМС-стек
(размеры 0,9×0,9×0,9 мм)

вертикального монтажа кристаллов на боковые грани стека показаны на рис. 17 и 18.

Заключение

В статье рассмотрены процессы монтажа кристаллов TCB и LAB, а также выполнено их сравнение с точки зрения их характеристик. Выяснилось, что эти процессы значительно различаются по таким параметрам, как температурный градиент по времени и общая длительность процесса. По всем аспектам — эффективность, гибкость и производительность процесса — LAB либо соответствует,

либо превосходит процесс TCB. С точки зрения формирования интерметаллических слоев ИМС в паяных соединениях и их стойкости к внешнему воздействию (термическому старению), образцы, собранные по технологии LAB, показали гораздо лучшие результаты, чем образцы, изготовленные по процессу TSV. Также выявлено отсутствие коробления (то есть внутренних механических напряжений) в стеках, собранных по технологии LAB. Тем не менее возможна дополнительная оптимизация процесса TCB для обеспечения формирования надежных слоев ИМС.

Представлена и объяснена концепция 3,5D-сборки многокристалльных модулей, при которой на боковые грани стека вертикально устанавливаются дополнительные кристаллы. Такой способ монтажа невозможно реализовать с помощью традиционного термокомпрессионного метода монтажа кристаллов (TCB). Метод лазерной пайки LAB, напротив, позволяет осуществить вертикальный монтаж кристаллов.

В дальнейшем сборка многокристалльных 3,5D-модулей, при которой соединения между уровнями стека будут осуществляться через вертикально монтированные кристаллы, позволит либо значительно уменьшить количество используемых переходных отверстий TSV в активной области кристаллов, либо полностью от них отказаться. Это позволит собирать более высокие стеки с большим количеством уровней и с большей функциональностью, так как не будет необходимости в зазоре между уровнями стека для расположения в нем межсоединений. Кроме того, конструкция 3,5D решает проблему эффективного отвода тепла, так как все токонесущие (следовательно, тепловыделяющие) проводники в данной конструкции расположены по краям стека, поэтому их проще охлаждать. Наконец, когда разработчики микросхем научатся использовать преимущества этого способа произ-

водства многокристалльных модулей, у них появится возможность разрабатывать абсолютно новые виды изделий.

Литература

1. Santosh K. 3D-IC and 2.5D TSV Interconnect for Advanced Packaging: 2016 Business Update. Sep. 2016. Yole Development.
2. Teutsch T. et al. LAPLACE-A New Assembly Method using Laser Heating for Ultra Fine Pitch Devices. Jan. 2003. www.researchgate.net
3. Oppert T. Flip Chip Processes — Electroless UBM, Wafer Level Solder Sphere Transfer, Laser Solder Jetting & Laser Chip Bonding. IMAPS UK Die Attach Workshop. Nov. 2018.
4. Oppert T. Implementing laser heating for next generation packaging mass productions and beyond. 1 Executive Forum on Laser Technologies. Sep. 2017.
5. Kojo Bernasko P. Study of Intermetallic Compound Layer Formation, Growth and Evaluation of Shear Strength of Lead-Free Solder Joints. University of Greenwich, 2012.
6. Šimeková B. et al. Growth of the IMC at the interface of SnAgCuBi (Bi = 0,5; 1,0) solder joints with Cu substrate // Tehnicki Vjesnik. 2012. № 19.
7. Lu D. et al. Materials for Advanced Packaging. Springer Nature., 2009.
8. Jadhav V. et al. Flip chip assembly challenges using high density, thin core carriers. Proceedings 55th Electronic Components and Technology Conference, 2005.
9. Jie Li Aw et al. Development of bonding process for high density fine pitch micro bump interconnections with wafer level underfill for 3D applications. Proceedings 63th Electronics Packaging Technology Conference, 2013.
10. Colosimo T. et al. High Productivity ThermalCompression Flip Chip Bonding. Proceedings International Microelectronics Assembly and Packaging Society. Oct. 2014.

Оборудование для атомно-силовой сканирующей микроскопии nanoMETRONOM AFM



Компания «Евроинтех» представляет на российском рынке оборудование nanoMETRONOM AFM для атомно-силовой микроскопии, изготовленное немецкой компанией nano analytik GmbH совместно с японской фирмой SEIWA Optics.

Атомно-силовой микроскоп nanoMETRONOM AFM позволяет измерять критические размерные параметры наноструктур, проводить профилометрические измерения образцов, инспектирование пластин, а также локально визуализировать свойства материалов, в том числе топологию, силу трения, электростатическое взаимодействие, электропроводимость, магнетизм и другие.

Модель nanoMETRONOM AFM оснащена кантилевером SmartActiveProbe с термомеханической и пьезорезистивной системой контроля отклонения; имеет встроенную систему гашения вибраций и высокую скорость отображения в различных средах.

www.eurointech.ru