



СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ООО «ЛионТех»
196247, Россия, Санкт-Петербург,
Ленинский проспект, д. 153, лит. А, офис 906 (этаж 9)
Тел./Факс: +7 (812) 309-27-37, +7 (495) 646-14-76
E-mail: mail@liontech.ru www.liontech.ru

Применение технологии вертикального монтажа и лазерной пайки кристаллов для сборки 3.5D конструкций многокристальных модулей

Перевод: Сергей Воробьев, «ЛионТех-С», s.vorobyev@liontech.ru

Авторы: Andrej Kolbasow, Timo Kubsch, Matthias Fettke, Georg Friedrich and Thorsten Teutsch

PacTech GmbH

Am Schlangenhorst 7-9, 14641 Nauen, Germany

Phone: +49 (0)3321 4495-504, Fax: +49 (0)33214495-110, E-Mail: fettke@pactech.de

Аннотация: в настоящей статье рассмотрена технология лазерной пайки кристаллов (LAB – laser assisted bonding) в сравнении с термокомпрессионным методом монтажа кристаллов (TCB). Описаны преимущества и недостатки обоих методов в случае их применения для сборки многоуровневых флип-чип модулей. Выявлены преимущества технологии LAB в сравнении с TCB: более высокая производительность сборки; низкий уровень внутреннего механического напряжения в создаваемом многоуровневом флип-чип модуле вследствие пренебрежимо малого давления на кристалл во время монтажа. Предложена концепция 3.5D конструкции многокристальных модулей, согласно которой после сборки многоуровневого флип-чип модуля на его боковые грани вертикально монтируются дополнительные кристаллы. Вертикально установленные кристаллы электрически соединяются с каждым из уровней многокристального модуля, что делает возможным отказаться от необходимости использования переходных отверстий TSV в кристаллах.

Ключевые слова: 3D-интеграция, монтаж и лазерная пайка кристаллов (LAB), термокомпрессионный монтаж кристаллов (TCB), кремниевый интерпозер, «Система в корпусе» (SOP), модуляция лазерного излучения, интерметаллическая фаза (IMC), вертикальный монтаж кристаллов

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,



Звонок по России бесплатный:

Технологическое оборудование и расходные материалы
для производства электроники

8 800 555 6889

8 (812) 309-27-37

8 (495) 646-14-76

www.liontech.ru

соответствия 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 (см. Рис. 1).

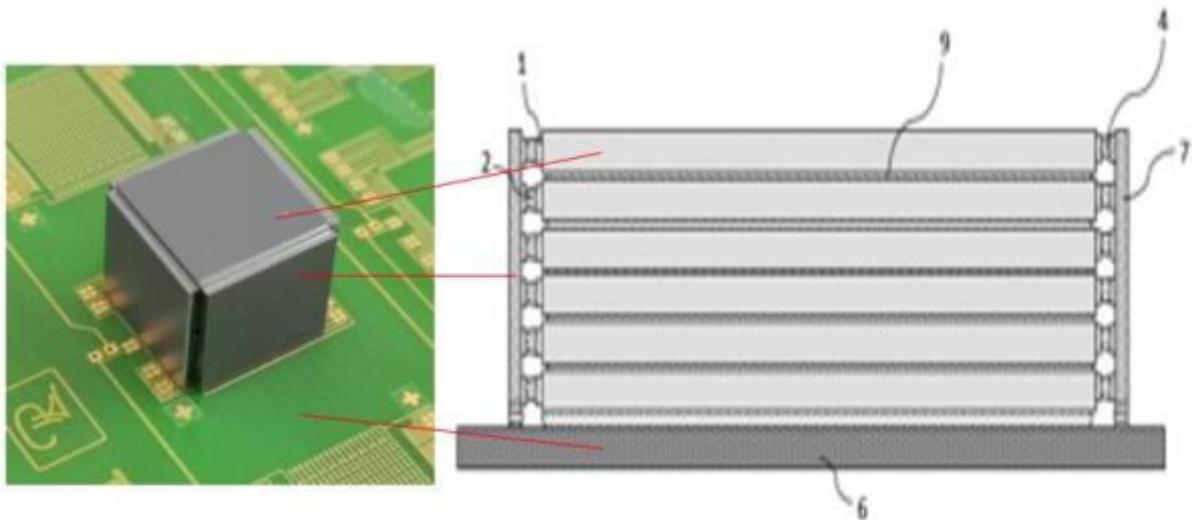


Рис. 1 Многоуровневый модуль с установленными на боковые грани кристаллами

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

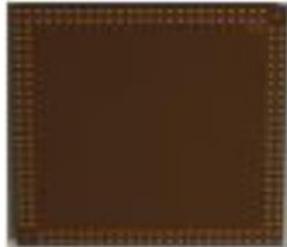
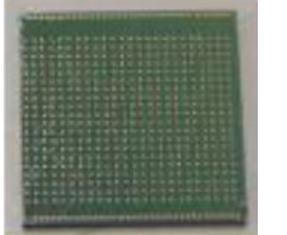
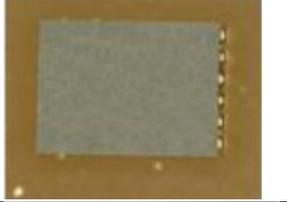
Представленная в настоящей статье технология сборки предполагает использование межсоединений, расположенных по периферии кристаллов, что дает возможность снизить плотность межсоединений по площади кристаллов или полностью перераспределить их на края многокристальных модулей. Таким образом может быть упрощена топология кристаллов, а также минимизированы связанные с межсоединениями паразитные эффекты. В статье проведено сравнение характеристик соединений, полученных методами LAB и TCB. Надежность соединений проверена 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, обсуждаемых в данной статье, были выбраны образцы и материалы, перечисленные в Таблица 1.

Таблица 1 Материалы и тестовые образцы

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



Описание процессов монтажа кристаллов

Ключевыми узлами оборудования для монтажа кристаллов являются 3-осевая роботизированная система, монтажная головка и инструмент, рабочий стол. Общая задача процессов – создание надежных соединений между подложкой и монтируемой на нее компонентом. Основная разница между процессами LAB и TCB состоит в механизме подведения энергии 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).

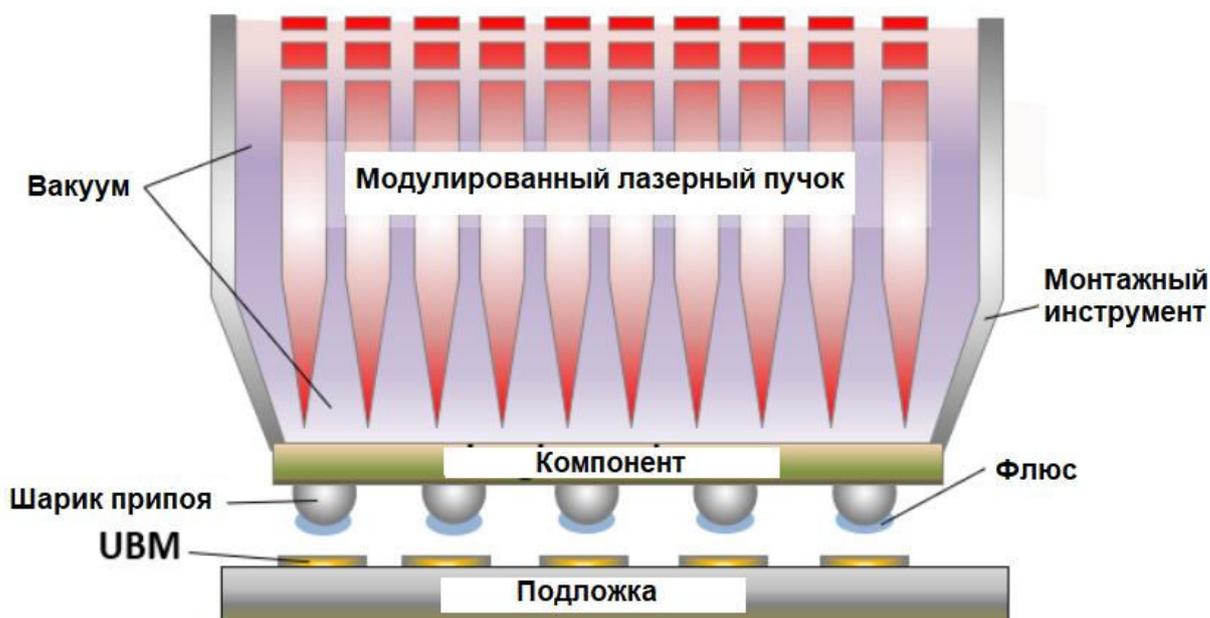


Рис. 2 Принцип действия процесса LAB (PacTech)

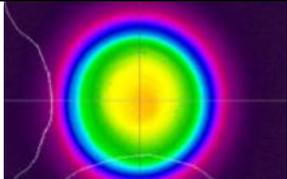
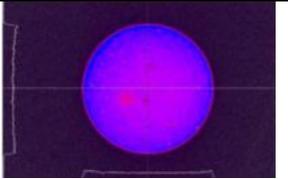
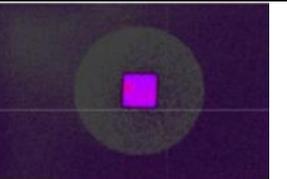
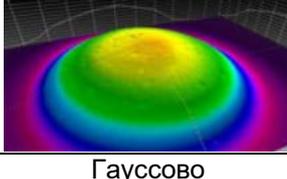
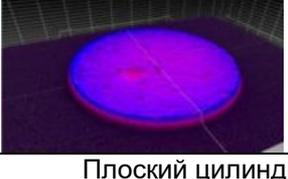
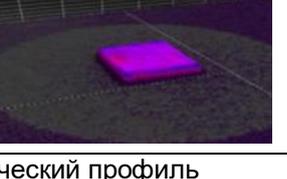
В этом конкретном случае модуляция лазерного пучка выполнялась в два этапа. На первом этапе начальный пучок с гауссовым распределением энергии трансформировался в пучок с





плоским цилиндрическим профилем. На втором этапе с помощью прямоугольной апертуры достигалась желаемая геометрия пучка (Таблица 2).

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	

Размер, геометрия и однородность распределения плотности энергии лазерного пучка зависит 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 $1773 \text{ K/s} \pm 0,3\text{K}$. До момента касания подложки 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.

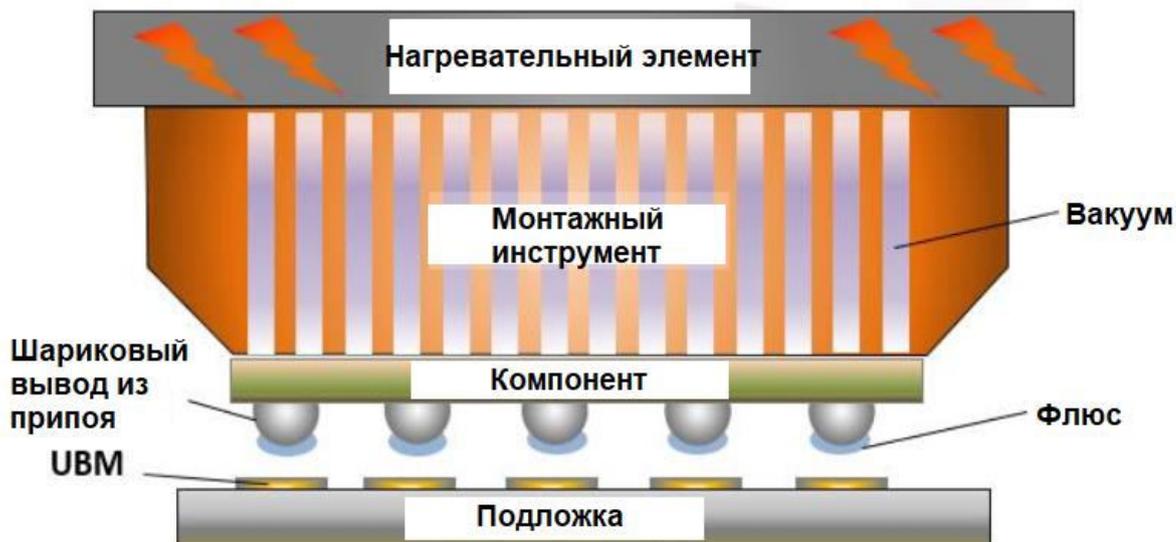


Рис. 3 Принцип действия процесса TCB

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, 9, 10].



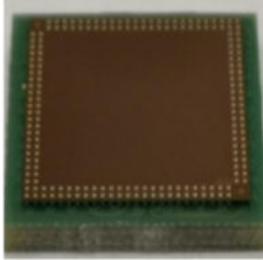
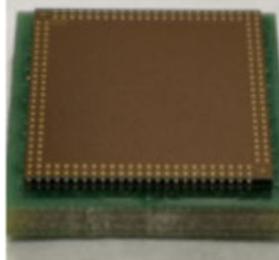
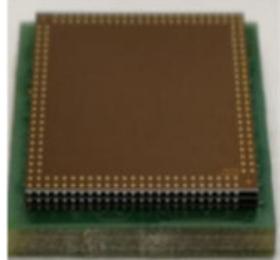


Сравнение процессов LAB и TCB

Оценка влияния эффекта коробления при монтаже кремниевых интерпозеров на печатную плату

Для сравнительного анализа влияния эффекта коробления на характеристики изделия, возникающего при в ходе выполнения процессов LAB и TCB, были собраны образцы, информация по которым приведена в Таблица 1. 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.

Таблица 3 Образцы для оценки влияния эффекта коробления

	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: 583,15K Время монтажа (полное): 20 с Сила прижима: 20Н Предварительный нагрев: --- Охлаждение инструмента/компонента: потоком азота Флюс: TACFLUX 10 (Indium corp.)		
Значения основных параметров процесса LAB	Пиковая температура: 513,15K Время монтажа (полное): 7 с Сила прижима: --- Предварительный нагрев: --- Охлаждение инструмента/компонента: не использовалось Флюс: TACFLUX 10 (Indium corp.)		

Больше всего различались значения таких параметров как сила прижима, пиковая температура и время монтажа. На все использовавшиеся 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 3.0%, Cu 0.5%). После монтажа шариков на восьмиугольные контактные площадки интерпозера размером 190 мкм их высота составила 300 мкм. В Таблице 4 показаны результаты измерений разброса по высоте шариков припоя на интерпозере.

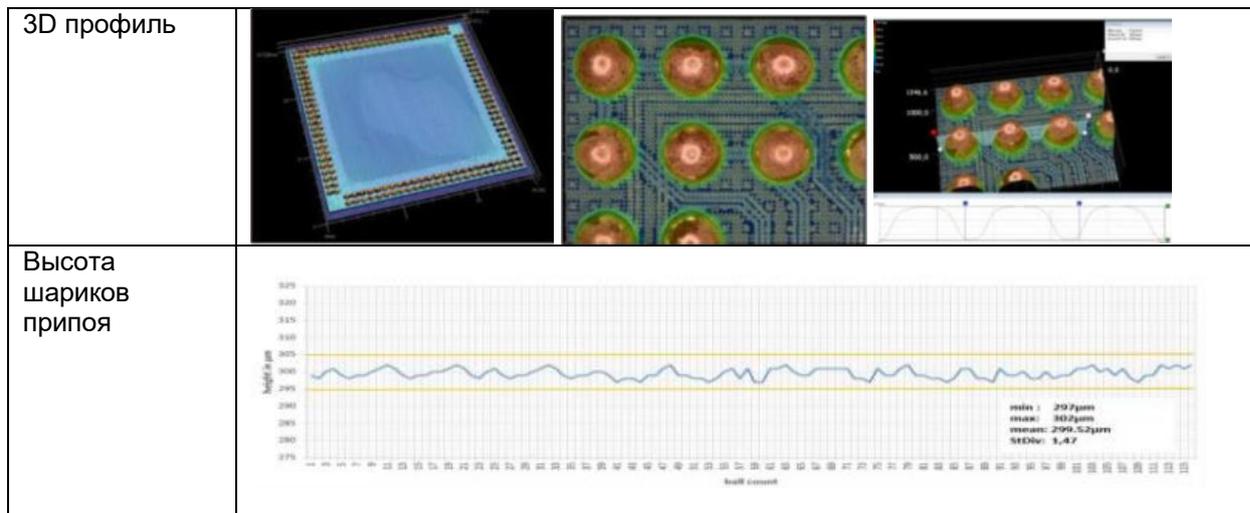




СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ООО «ЛионТех»
196247, Россия, Санкт-Петербург,
Ленинский проспект, д. 153, лит. А, офис 906 (этаж 9)
Тел./Факс: +7 (812) 309-27-37, +7 (495) 646-14-76
E-mail: mail@liontech.ru www.liontech.ru

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



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

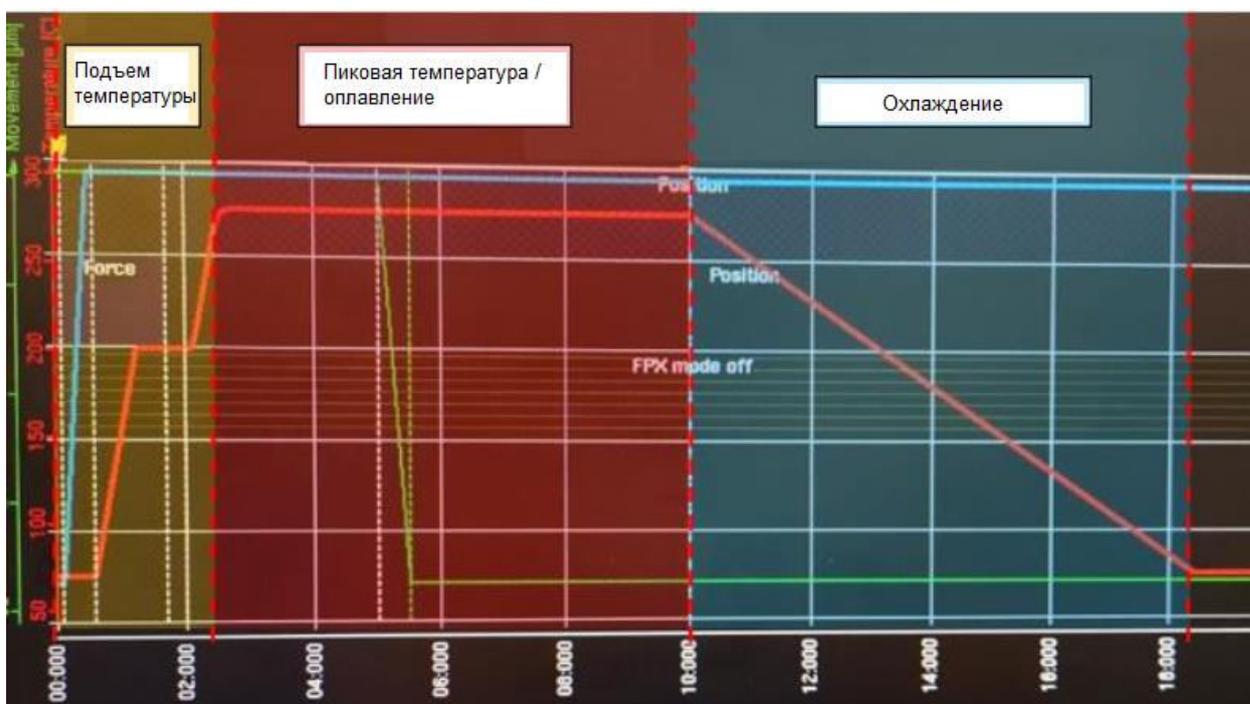


Рис. 4 Термопрофиль процесса TCB



Звонок по России бесплатный:

Технологическое оборудование и расходные материалы
для производства электроники

8 800 555 6889

8 (812) 309-27-37

8 (495) 646-14-76

www.liontech.ru

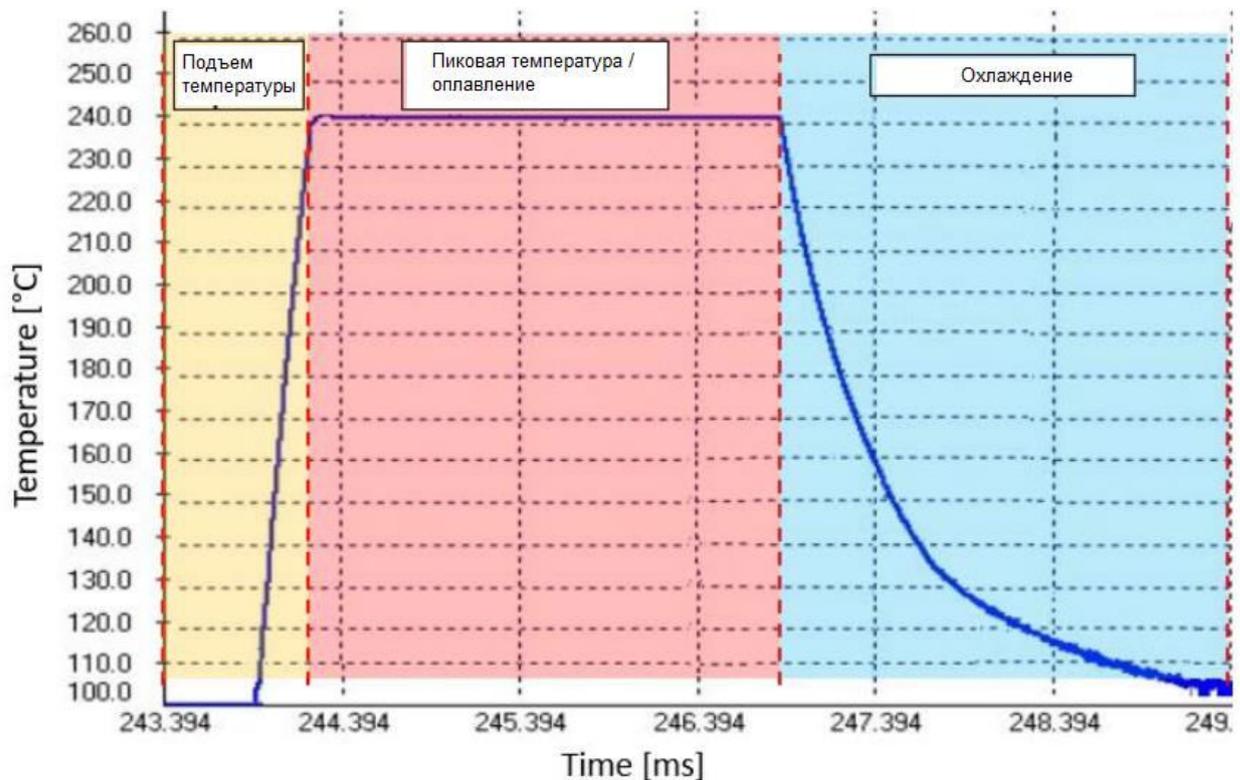


Рис. 5 Термопрофиль процесса LAB

Как видно на рисунках 4 и 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 разогревать непосредственно сам интерпозер за счет передаваемой ему энергии лазерного излучения. Кроме того, как показано в Таблице 3, в процессе LAB не используется охлаждение потоком азота, так как 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 ~67K. Временное снижение температуры 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. Эти напряжения 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 стека.

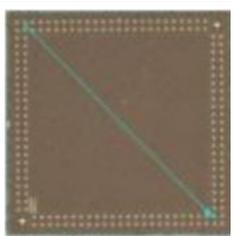
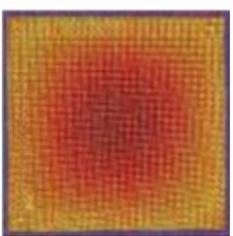
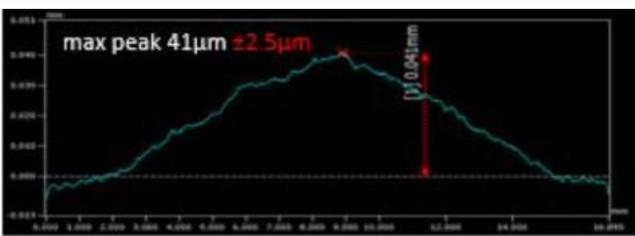
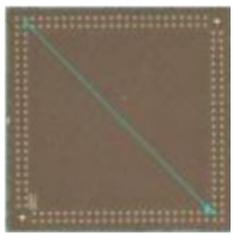
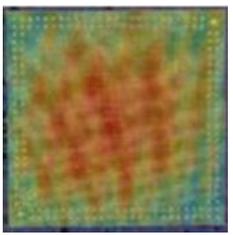
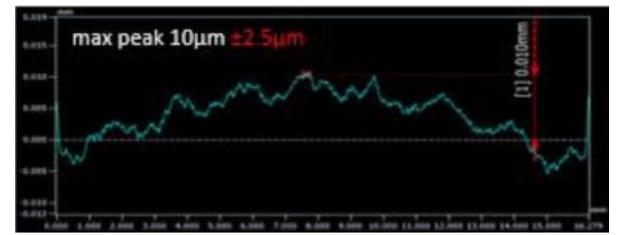
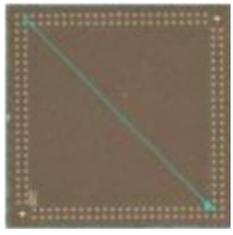
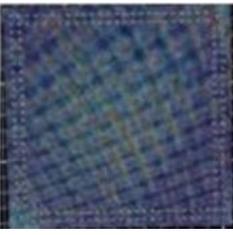
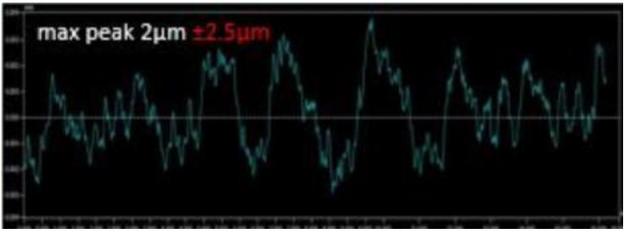


Этот дефект может возникнуть в любой момент на протяжении срока службы устройства, поэтому необходимы меры, предотвращающие такие риски. Для оценки возникших внутренних напряжений применяется анализ степени коробления компонента.

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

В Таблицах 5 и 6 показаны результаты измерений коробления образцов, отсортированных по количеству кристаллов в стеках.

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

Измерения образцов, собранных по технологии TCB, показали очевидное наличие коробления, степень которого, однако, уменьшается с увеличением количества кристаллов в стек. 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 сколько-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 стека. Другим объяснением снижения коробления может быть влияние повторяющихся термоциклов во время монтажа новых уровней стека, что снижает степень внутреннего механического напряжения в кристаллах и межсоединениях. И такая форма термического отжига не только снимает напряжения в стеке, но и за счет этого уменьшает коробление.

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

В образцах, собранных по технологии LAB, коробления более чем $\pm 2,5$ 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 интерметаллического соединений (ИМС), образованных в результате процессов TCB и LAB

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

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

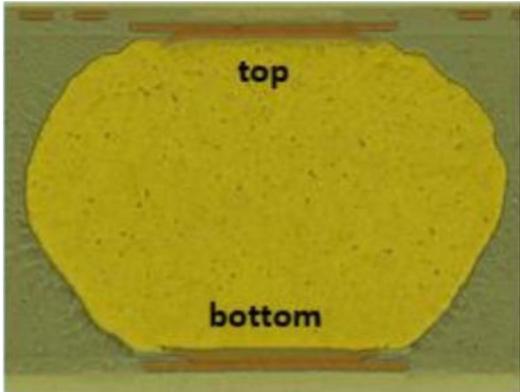
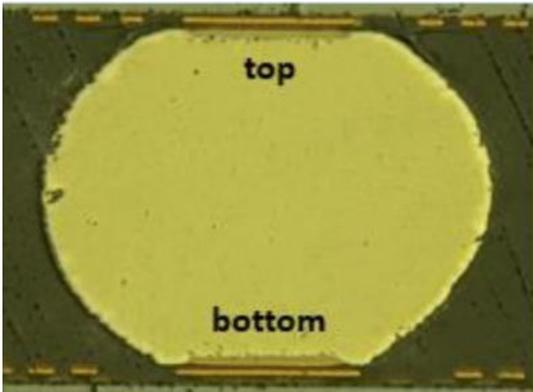
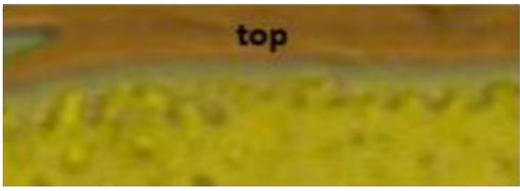
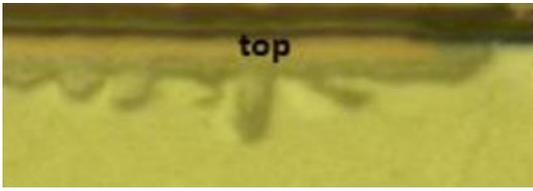




В ходе работ были проведены исследования стойкости слоев ИМС, сформированных в результате разных процессов монтажа компонентов, к воздействию температурного старения. После сборки образцов часть из них была подвергнута термоциклированию от -40°C до $+125^{\circ}\text{C}$ в течение 35 минут. Чтобы смоделировать 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 ИМС.

Таблица 7 Поперечный срез слоев ИМС

	Монтаж по технологии TCB	Монтаж по технологии LAB
Поперечный срез		
ИМС		
		

Как видно ниже на рисунках 6 и 7, во время выполнения TCB процесса образуются два разных слоя ИМС. Это происходит вследствие того, что верхний интерфейс паяного соединения был предварительно сформирован еще на этапе монтажа шарика припоя на кристалл интерпозера (процесс SB^2 , PacTech). В то время как нижний интерфейс был образован только в момент монтажа кристалла.



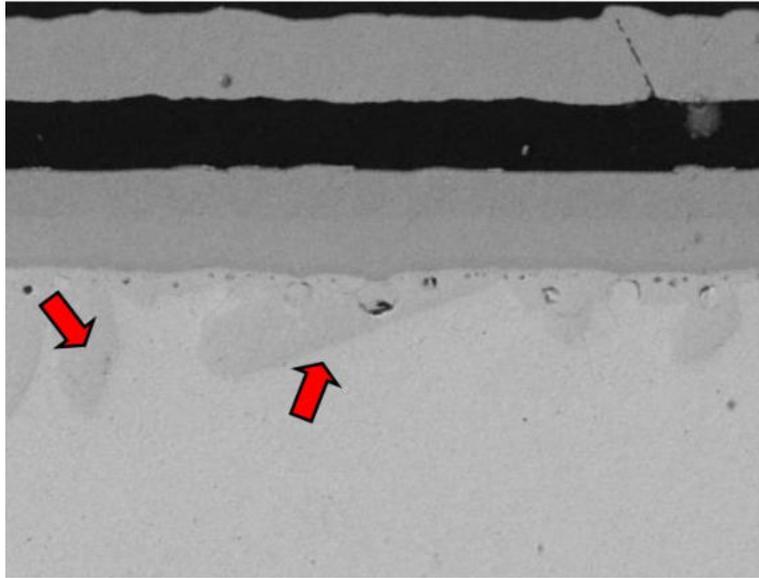


Рис. 6 Слой IMC, сформированный в ходе процессов SB^2 и TCB (верхний интерфейс паяного соединения)

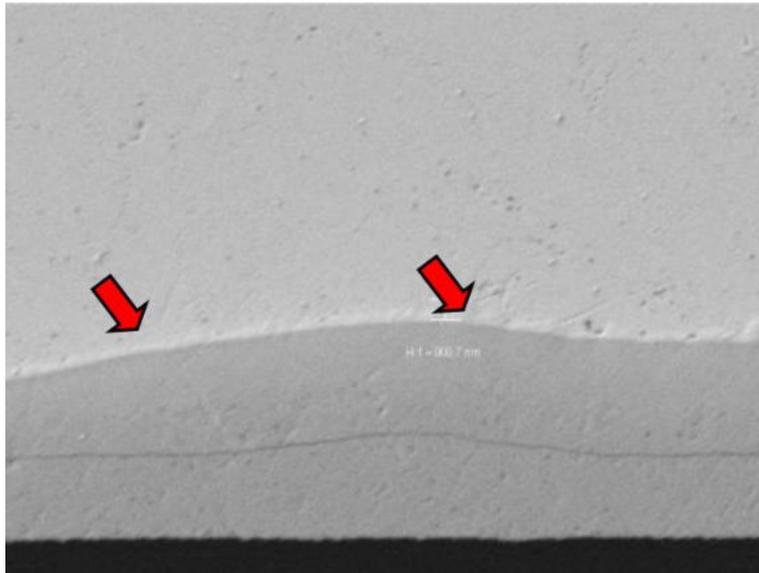


Рис. 7 Слой IMC толщиной 0,9 мкм, сформированный в процессе TCB, до термоциклирования (нижний интерфейс паяного соединения)

Слой IMC, сформированный только в процессе TCB, тоньше слоев интерметаллического соединения, образованных только в процессе SB^2 или после комбинации процессов SB^2 и TCB. Этот слой имеет четкую ровную границу. В то время как слой IMC, сформированный процессами SB^2 и TCB, отличается игольчатой структурой.



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

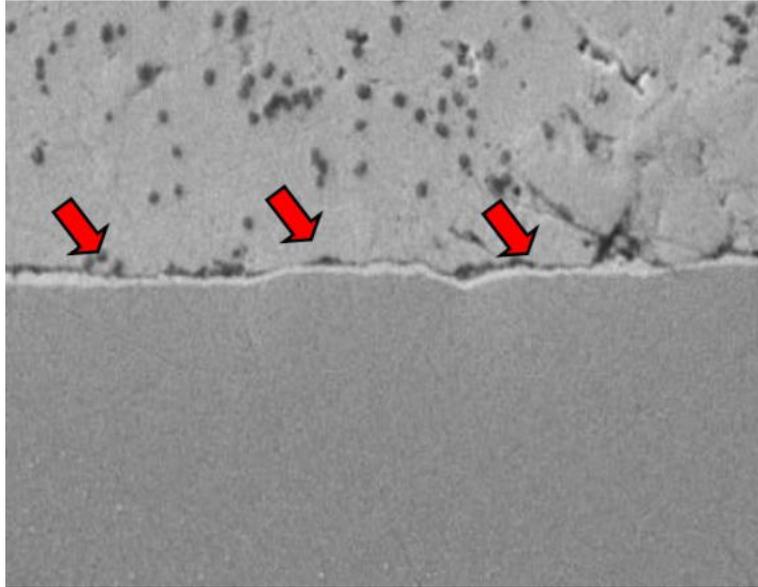


Рис. 8 Слой ИМС (TCB процесс) с образовавшимися после термоциклирования микротрещинами

Интересно, что толщина интерметаллического слоя, сформированного в процессе TCB, во время термоциклирования увеличивается значительно сильнее, чем толщина слоя ИМС, образованного в процессе SB² (монтажа и лазерной пайки шариков припоя). После термоциклирования слой ИМС TCB увеличивается практически в два раза (рис. 9), в то время как слой ИМС SB² практически не изменил свою толщину (рис. 10).



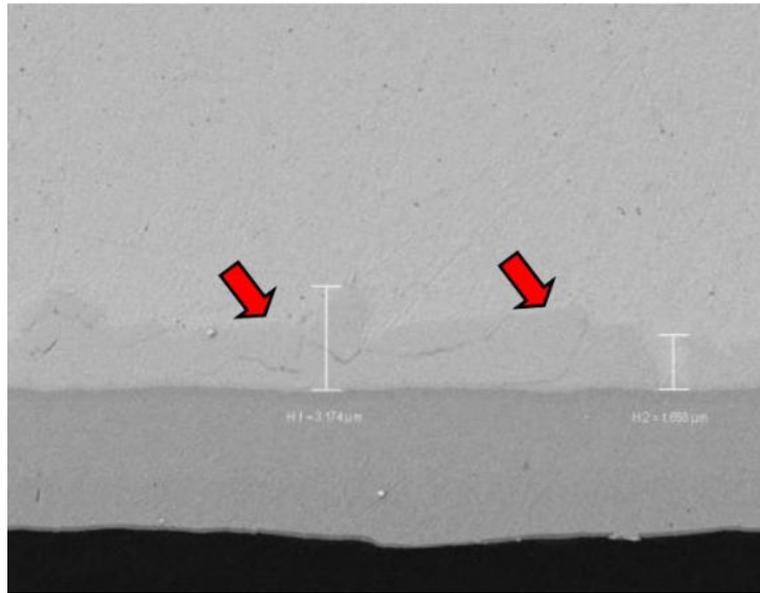


Рис. 9 Слой IMC (сформированный в процессе TCB) после термоциклирования - толщина 1,9 мкм

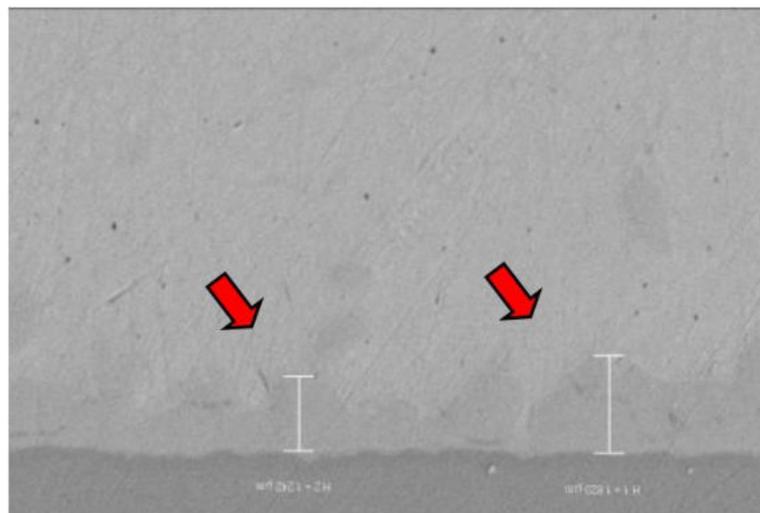


Рис. 10 Слой IMC (SB^2+TCB) после термоциклирования

Как видно по рисункам 11 и 12, до термоциклирования слои IMC на границах паяных соединений, сформированные как во время монтажа шариков припоя (SB^2+LAB), так и после монтажа кристалла по методу LAB, внешне не различаются.



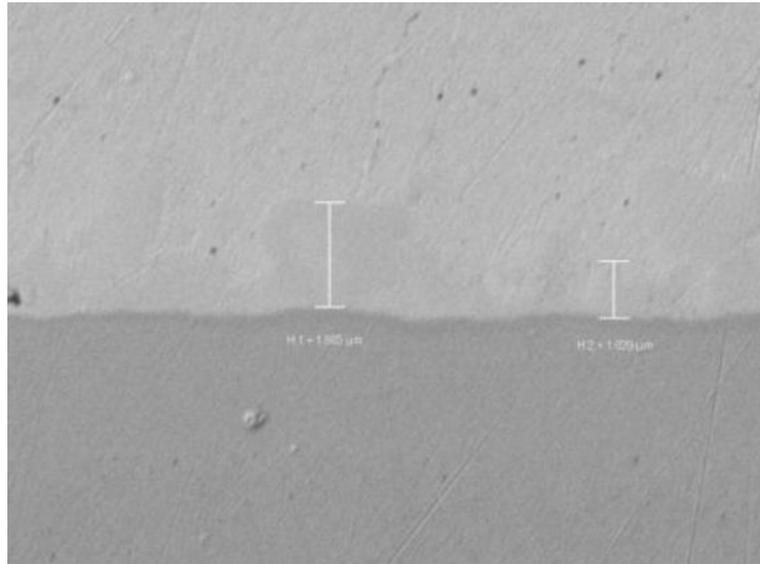


Рис. 11 Слой ИМС толщиной 1,9 мкм (LAB, до термоциклирования)

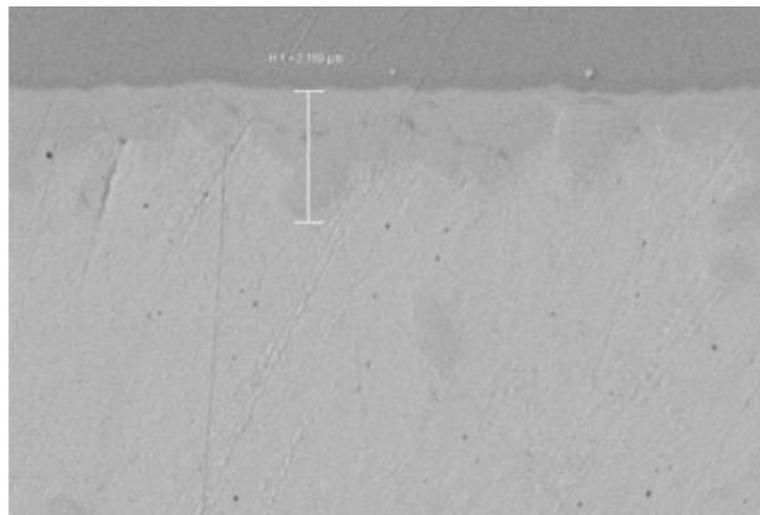


Рис. 12 Слой ИМС толщиной 2,2 мкм (SB²+LAB, до термоциклирования)

Последующее воздействие термоциклированием не оказало никакого негативного влияния на интерфейс паяного соединения, как показано на рисунке 13. Никаких признаков микротрещин и иных дефектов, как в случае с монтажом интерпозеров по методу TCB (см. 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.



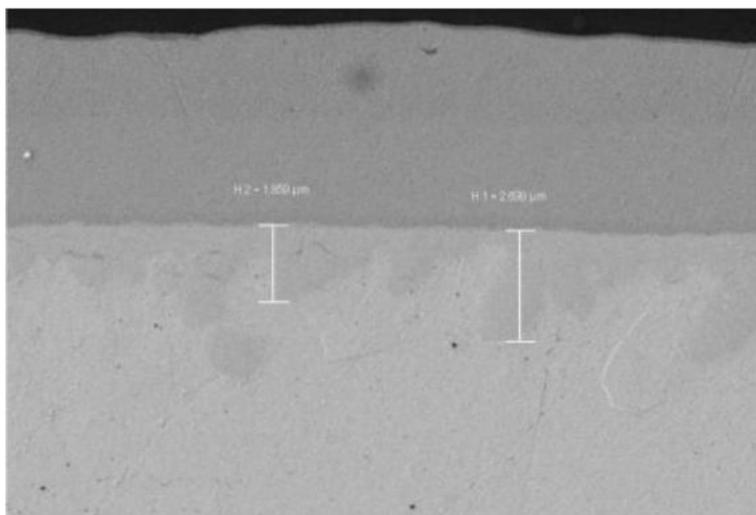


Рис. 13 Слой IMC (SB²+LAB, после термоциклирования)

Концепция 3.5D конструкции многокристальных модулей, собранных по технологии LAB (PacTech)

Помимо предотвращения распространения тепла и возникновения паразитных эффектов в сложных 3D многокристальных модулей, 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 в себя до 320 операций (нанесения 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 наличия 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 4 сторон стека можно вертикально смонтировать компонент.

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 (см. 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.

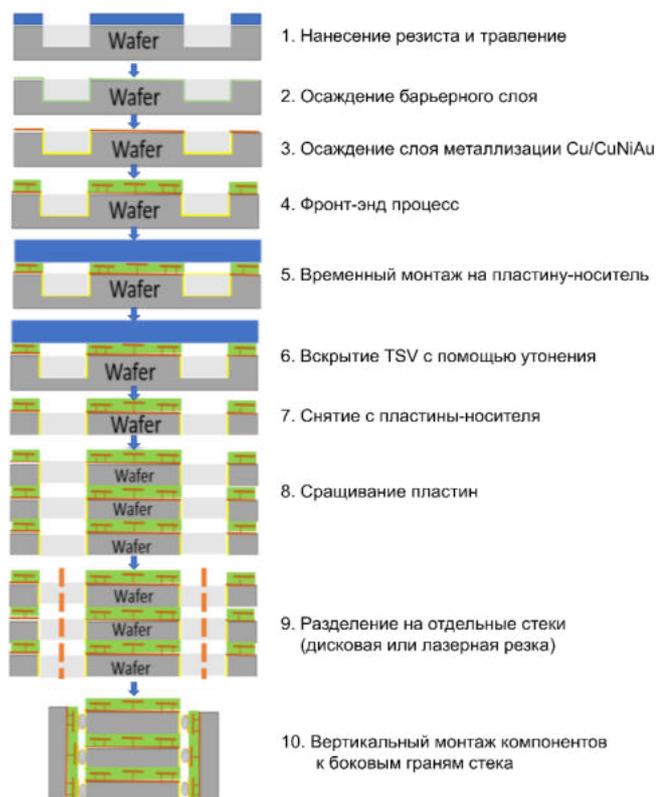


Рис. 14 Возможный технологический процесс производства многокристалльных модулей с вертикально установленными компонентами [7]

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

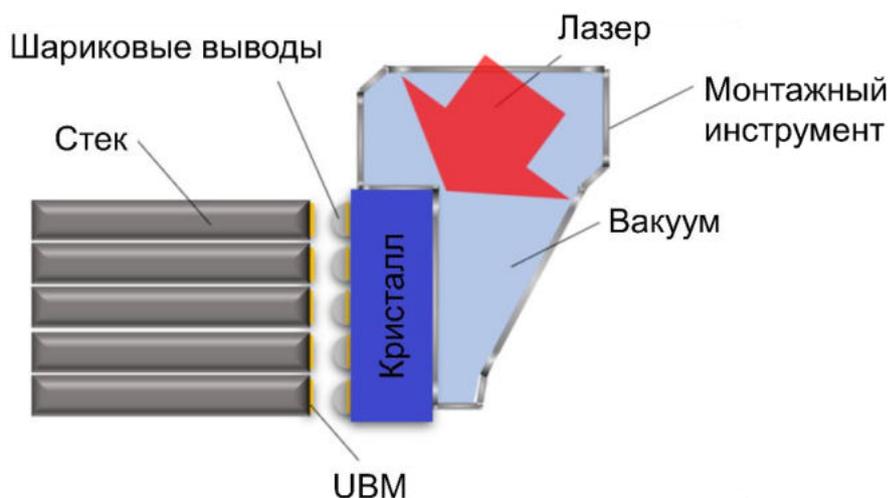


Рис. 15 Процесс вертикального монтажа кристалла к боковой грани стека

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





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 стеклу, сохраняя расстояние между кристаллом и стеклом 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 вертикального монтажа кристаллов на боковые грани стека показаны на рисунках 17 и 18.

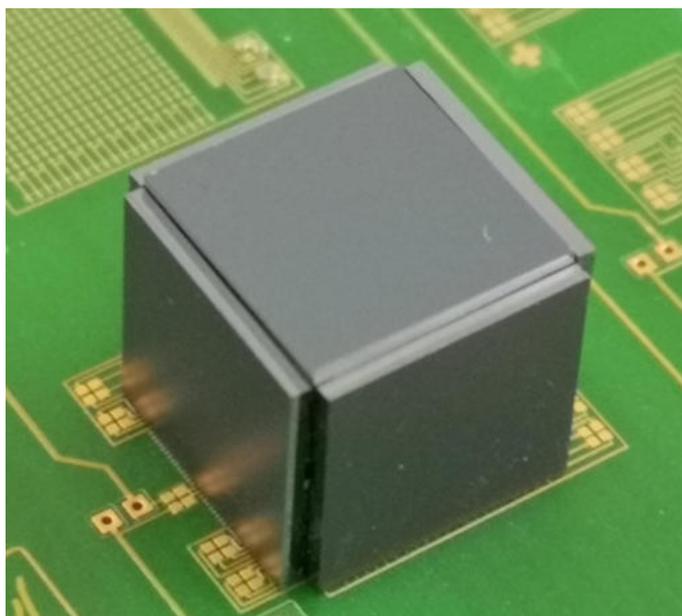


Рис. 17 Стек с вертикально смонтированными на его боковые грани кристаллами. Размер стека 12x12x12 мм.



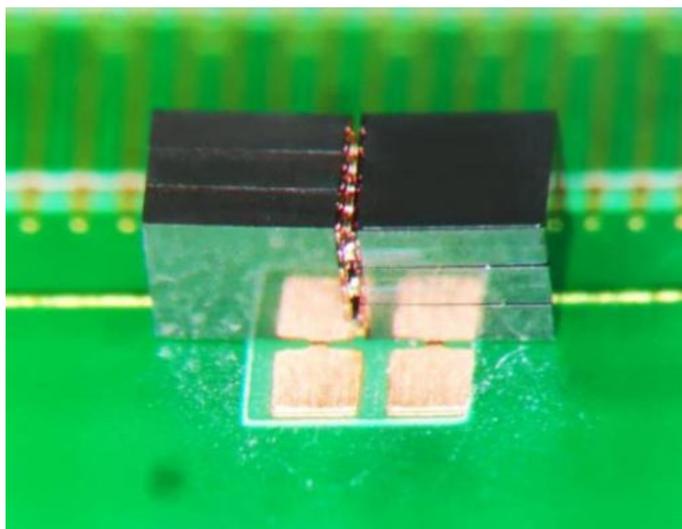


Рис. 18 3.5D МЭМС-стек (размеры 0,9x0,9x0,9 мм)

Выводы и перспективы

В настоящей статье были 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 IMC 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 TCB. 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 IMC.

Представлена и объяснена концепция 3.5D сборки многокристальных 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 будущем сборка многокристальных 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





СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ООО «ЛионТех»
196247, Россия, Санкт-Петербург,
Ленинский проспект, д. 153, лит. А, офис 906 (этаж 9)
Тел./Факс: +7 (812) 309-27-37, +7 (495) 646-14-76
E-mail: mail@liontech.ru www.liontech.ru

использовать преимущества этого способа производства многокристалльных модулей, у них появится возможность разрабатывать абсолютно новые виды изделий.

Список используемой литературы

- [1] Santosh Kumar. *3D-IC and 2.5D TSV Interconnect for Advanced Packaging: 2016 Business Update* (Sep. 2016) Yole Development.
- [2] Thorsten Teutsch et al. *LAPLACE-A New Assembly Method using Laser Heating for Ultra Fine Pitch Devices* (Jan. 2003) researchgate.net
- [3] Thomas Oppert. *Flip Chip Processes – Electroless UBM, Wafer Level Solder Sphere Transfer, Laser Solder Jetting & Laser Chip Bonding* (Nov. 2018) IMAPS UK Die Attach Workshop.
- [4] Thomas Oppert. *Implementing laser heating for next generation packaging mass productions and beyond* (Sep. 2017) 1Executive Forum on Laser Technologies
- [5] Peter Kojo Bernasko. *Study of Intermetallic Compound Layer Formation, Growth and Evaluation of Shear Strength of Lead-Free Solder Joints* (2012) University of Greenwich. pp.31-32.
- [6] Beáta Šimeková et al. *Growth of the IMC at the interface of SnAgCuBi (Bi = 0,5; 1,0) solder joints with Cu substrate* (2012) Tehnicki Vjesnik. nr.19, pp.107-110.
- [7] Daniel Lu et al. *Materials for Advanced Packaging* (2009) Springer Nature.
- [8] V. Jadhav et al. *Flip chip assembly challenges using high density, thin core carriers* (2005) Proc. 55th Electronic Components and Technology Conference. pp.314,319.
- [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* (2013) Proc 63th Electronics Packaging Technology Conference. pp.543-548
- [10] T. Colosimo et al. *High Productivity ThermalCompression Flip Chip Bonding* (Oct. 2014) In Proc. International Microelectronics Assembly and Packaging Society. pp.100-106



Звонок по России бесплатный:

Технологическое оборудование и расходные материалы
для производства электроники

8 800 555 6889

8 (812) 309-27-37

8 (495) 646-14-76

www.liontech.ru