

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

SB2-WB – новое технологическое решение для создания проволочных соединений в электронике и микроэлектронике

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

Авторы: Matthias Fettke, Andrej Kolbasow, Georg Friedrich, Anna Palys, Vinith Bejugam 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 инновационная технология, позволяющая выполнять формирование проволочных соединений и их пайку шариками припоя с помощью лазера. В основе этой технологии используется комбинация работы механизма подачи проволоки и головки для лазерной пайки шариками припоя (SB2). В отличие от традиционных методов создания проволочных соединений, применяемых в микроэлектронике (термо- или ультразвуковая сварка, термокомпрессия), присоединение проволоки осуществляется с помощью пайки. При этом к точке соединения не прикладываются ни давление, ни ультразвуковое воздействие, ни нагрев. Это является преимуществом, расширяющим область применения технологии SB2-WB. Помимо объяснения основ процесса SB2-WB и его сравнения с традиционными методами микросварки, в статье рассмотрены результаты исследования надежности соединений, сформированных термозвуковой сваркой («шарик-клин») и пайкой

шариками припоя (SB2-WB) золотой проволоки диаметром 50 мкм. В рамках этого исследования образцы были подвергнуты температурным, механическим и электрическим воздействиям. С помощью фокусированного ионного пучка (ФИП) были изучены поперечные срезы соединений, подвергнутых термоциклированию (250 циклов) и вибрационным испытаниям. Стойкость соединений к механической нагрузке была проверена с использованием системы испытания на сдвиг и отрыв. Наконец, допустимая токовая нагрузка была изучена с помощью анализа теплового изображения.

В качестве примера возможного применения технологии SB2-WB рассмотрен процесс распайки керамического элемента датчика системы контроля дистанции при парковке (датчика PDC или парктроника) – пайки изолированной медной проволоки диаметром 80 мкм шариками припоя SAC305 диаметром 760 мкм. Тест на сдвиг показал степень



Звонок по России бесплатный:

8 800 555 6889

8 (812) 309-27-37

8 (495) 646-14-76

www.liontech.ru

*Технологическое оборудование и расходные материалы
для производства электроники*

стойкости полученных паяных соединений к механической нагрузке, а их металлургические характеристики были изучены с помощью рентгеноструктурного анализа и исследования фокусированным ионным пучком.

Рассмотрены перспективы и возможные области применения технологии SB2-WB.

Ключевые слова: *микросварка проволочных соединений, пайка проволочных соединений, лазерная пайка шариками припоя, толстая проволока, демонтаж, корпусирование полупроводниковых кристаллов.*

ВВЕДЕНИЕ

Разварка проволочных соединений (микросварка) – широко используемая технология создания электрических соединений между кристаллом и подложкой/корпусом. Микросварка была применена в производстве более чем 75% всех микросхем, выпущенных в 2018 году, что подчеркивает доминирующую роль этого процесса в создании межсоединений при производстве компонентов микроэлектроники [1].

Однако непрерывный рост мирового рынка микроэлектромеханических компонентов и систем требует применять новые технологии для увеличения степени миниатюризации и повышения производительности, поскольку стандартные процессы микросварки исчерпали свои возможности. Потребность в

альтернативных технологических решениях, способных, с одной стороны, частично заменить традиционные процессы микросварки и, с другой стороны, быть использованными в более широком круге задач, очень высока [2].

Общей целью является рост технологических возможностей с точки зрения достигаемых геометрических и физических характеристик проволочных соединений, а также увеличение количества допустимых к использованию материалов и комбинаций материалов.

ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА SB2-WB ОБЩИЙ ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ

Ключевыми узлами оборудования для реализации процесса SB2-WB являются монтажа кристаллов являются 3-осевая роботизированная система, головка для бесконтактного монтажа и лазерной пайки шариков припоя SB2 (PacTech) и механизм подачи проволоки. На рисунке 1 показан принцип действия процесса SB2-WB.

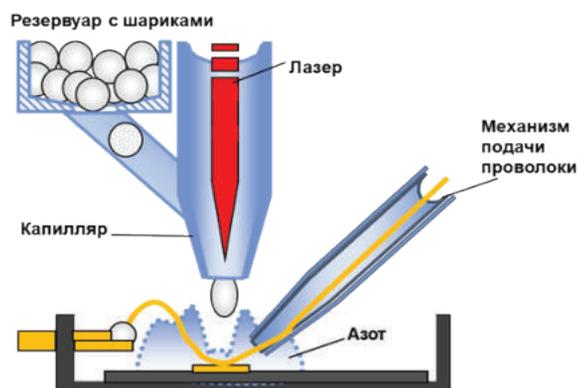


Рис. 1 - принцип действия процесса SB2-WB



Из резервуара монтажной головки SB2 шарики припоя по одному подаются в керамический капилляр (диапазон диаметров шариков в пределах 30-1200 мкм). Находясь в капилляре, шарик расплавляется импульсом ИК-лазера. Затем расплавленный шарик припоя направленно выталкивается за счет давления нагнетаемого в капилляр азота.

Механизм подачи проволоки позиционирует хвост проволоки в зоне монтажа расплавленного шарика припоя под капилляром головки SB2. Подача проволоки во время движения системы осуществляется через капилляр, расположенный в непосредственной близости от керамического капилляра головки SB2. Механизм подачи проволоки позволяет сматывать проволоку с катушки, проталкивать её через капилляр, с высокой точностью формировать требуемую геометрию петли.

Изделие, закрепленное на рабочем столике, перемещается по осям XY. Головка SB2 и механизм подачи проволоки расположены на оси Z установки. Расстояние между капиллярами, а также угол наклона капилляра для проволоки, настраиваются вручную. На рисунке 2 показано расположение узлов для монтажа и пайки проволоки.

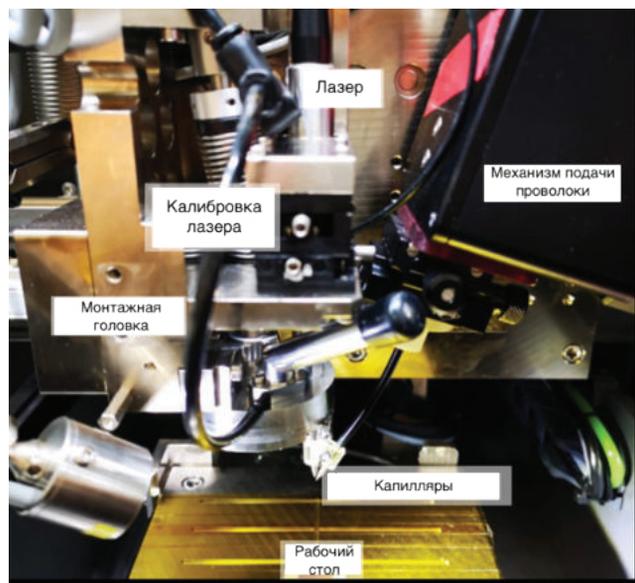


Рис. 2 - узлы монтажа и пайки проволоки

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ОПЕРАЦИЙ ПРОЦЕССА SB2-WB

После перемещения узла монтажа и пайки проволоки к заданной позиции на контактной площадке выполняется подача проволоки на необходимую длину. В зависимости от настройки расположения капилляра для проволоки, проволока либо прижимается к контактной площадке, либо удерживается на определенном расстоянии над площадкой. Одновременно с этим выполняется расплавление и монтаж шарика припоя. Расплавленный шарик припаяет проволоку к контактной площадке и, таким образом, формируется паяное соединение между проволокой и площадкой. Непрерывная подача азота в зону пайки предотвращает окисление поверхности расплавленного припоя. Все операции – подача проволоки, петлеобразование и



Звонок по России бесплатный:

8 800 555 6889

8 (812) 309-27-37

8 (495) 646-14-76

www.liontech.ru

Технологическое оборудование и расходные материалы
для производства электроники

пайка шариками припоя – полностью синхронизированы. После пайки первой точки происходит перемещение монтажной головки ко второй точке пайки. Во время этого перемещения выполняется формирование петли заданной геометрии одновременно с автоматическим сматыванием проволоки с катушки. На рисунке 3 показан ряд параллельно расположенных друг другу петель распаянных проволочных соединений.

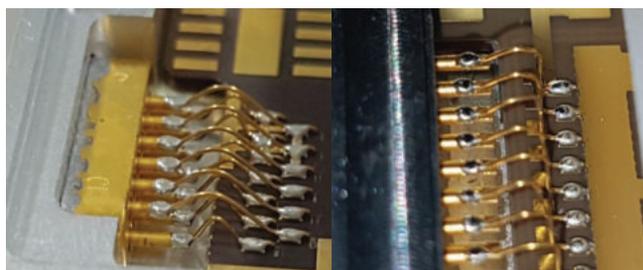


Рис. 3 - распаянные проволочные соединения (медная проволока с золотым покрытием, диаметр 200 мкм) для коммутации LTCC-платы и разъема. Слева – «гауссова» форма петли, справа – прямоугольная петля

Затем после позиционирования выполняется пайка второй точки, после чего проволока обрезается. Для обрезки проволоки используется специальный встроенный нож (в качестве альтернативного решения может применяться лазер или острый край капилляра).

КЛЮЧЕВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА

Качество паяных соединений зависит от пяти ключевых параметров процесса SB2-WB, а именно:

- мощность лазера
- длительность лазерного импульса
- давление азота
- расстояние от капилляра до площадки
- положение проволоки относительно контактной площадки

Геометрия паяного соединения, качество его поверхности, площадь покрытия припоем проволоки и площадки, удельное электрическое сопротивление соединения и его механическая прочность, а также характеристики интерметаллического слоя (ИМС) в значительной степени зависят от времени взаимодействия расплавленного припоя с проволокой и площадкой, динамического усилия, с которым шарик расплавленного припоя падает на проволоку, положения проволоки относительно площадки и тепловой интенсивности процесса пайки.

Варьированием параметров процесса и изменением соотношения объема шарика припоя к диаметру проволоки, можно получать паяные соединения разной геометрии. Например, как показано на рисунке 4, проволока может быть инкапсулирована припоем (слева), либо паяное соединение может иметь конусообразную форму (справа).

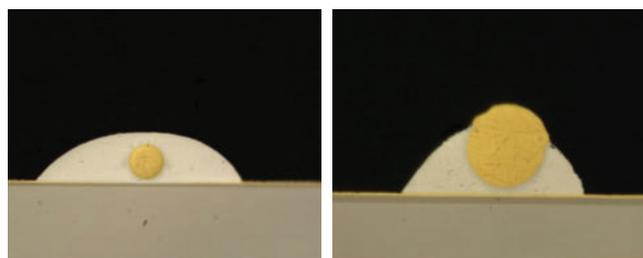


Рис. 4 - примеры внешнего вида паяных соединений (поперечные срезы)



ВРЕМЕННОЙ И ТЕМПЕРАТУРНЫЙ АНАЛИЗ

Временной и температурный анализ процесса SB2-WB был выполнен с помощью пирометра «Optris CTvideo». В измерительном приборе используется пироэлектрический датчик типа «ЗМН1-CF» с разрешением по времени 2 мс, спектральной чувствительностью 1 мкм, разрешением по температуре 0,1К и диапазоном измерения 150-1000°C. Для выполнения измерений был выбран коэффициент излучения 0,25 (Sn) [4]. В качестве образца использовалось паяное соединение между 80 мкм медной проволокой и металлизированной серебром контактной площадкой на керамической подложке, созданное с помощью шарика припоя SAC305 диаметром 760 мкм (см. рисунок 5).

Для создания гомогенного и надежного паяного соединения между указанными материалами, энергия импульса лазера составила 1400 мДж (140 Вт / 10 мс).

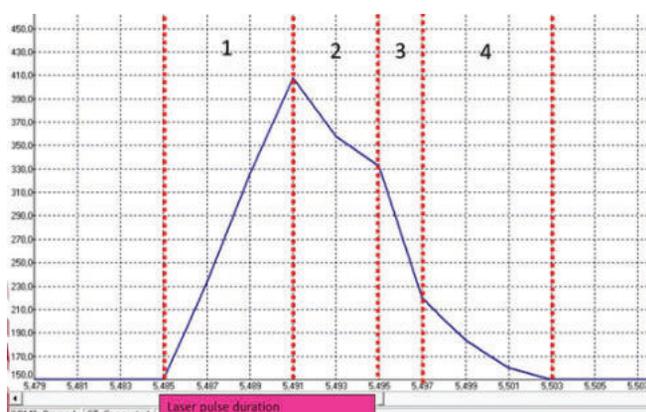


Рис. 5 - температурный профиль процесса SB2-WB

Термопрофиль, показанный на рисунке 5, имеет четыре участка.

Участок 1 (фазовый переход) – отображает быстрый рост температуры на кончике капилляра для шарика припоя. За 6 мс капилляр разогревается до 410°C, после чего расплавленный шарик припоя покидает капилляр.

Участок 2 (фаза полета) – показывает градиент снижения температуры расплавленного шарика припоя (25 К/мс) во время его падения. Пока шарик летит вниз, он в течение 4 мс дополнительно подогревается энергией лазерного луча. Затем лазер выключается.

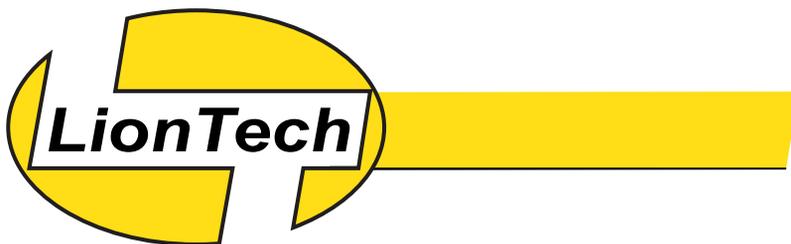
Участок 3 (рекристаллизация) – фаза охлаждения и взаимной диффузии материалов припоя и проволоки (площадки), после того как шарик припоя упал на проволоку/площадку и затвердел.

Участок 4 (рассеяние температуры) – полиномиальный участок, иллюстрирующий постепенное охлаждение паяного соединения.

СРАВНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ SB2-WB С ТРАДИЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ МИКРОСВАРКИ

Представленная на рисунке 5 кривая температуры демонстрирует чрезвычайно быструю динамику процесса SB2-WB, во многом схожую, с точки зрения времени его протекания, с процессом высокоскоростной термозвуковой сварки «шарик-клин», длительность которого обычно лежит в пределах от 8 до 12 мс. [5].





Упрощенное сравнение процессов SB2-WB, ультразвуковой и термозвуковой сварки по ключевым параметрам для проволоки диаметром ≤ 50 мкм показано в таблице 1.

Таблица 1 - сравнение процессов монтажа проволочных соединений [2,6,7,8]

| Параметр | Термозвуковая микросварка | Ультразвуковая микросварка | SB2-WB |
|--|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| Ультразвук | Применяется | Применяется | Не применяется |
| Усилие | Низкое (30-90 сН) | Низкое (25-45 сН) | Пренебрежимо малое (<2 мкН) |
| Температура подложки | 100-220°С | Комнатная | Комнатная |
| Время монтажа | 30-100 мс | 50-100 мс | 1-10 мс |
| Материал проволоки | Au, Ag, Cu, Pt, Pd | Al, Au, Cu | Au, Cu, Ag, Pd, Pt |
| Металлизация площадки | Al, Au, Cu | Al, Au, Cu | NiAu, Au, Cu |
| Чувствительность к наличию загрязнений | Средняя | Средняя | Средняя |
| Скорость | 4-10 соединений в секунду | 2-3 соединения в секунду | 3-4 соединения в секунду* |
| Минимальный шаг (15 мкм проволока) | 35 мкм | 35 мкм | 40 мкм * |

* теоретически достижимо, но пока не подтверждено

В отличие от традиционных методов микросварки, процесс SB2-WB подразумевает отсутствие сколькой-нибудь значимой механической нагрузки на контактную площадку, так как процесс пайки происходит бесконтактно. Такие хрупкие материалы как LTCC-подложки, органические тонкие пленки толщиной менее 20 мкм, применяемые в многокристальных модулях типа MCM-D, резонирующие кантилеверы – все эти материалы и компоненты могут применяться процессе SB2-WB без каких-либо ограничений [8,9,10].

Структура материала проволоки определяет её механические и электрические свойства. Изменения начальной зернистой структуры чаще всего приводят к ухудшению характеристик проволоки. В тради-

ционных методах микросварки (термозвуковая сварка «шарик-клин») структура материала проволоки меняется локально – либо во время формирования шарика электроразрядом, либо вследствие деформации проволоки из-за прикладываемого ультразвукового воздействия. Выявить этот эффект можно с помощью испытания механической прочности и анализа вида разрушения проволочного соединения. Опыт показывает, что, как правило, разрушение происходит в так называемой зоне термического воздействия (HAZ – heat affected zone), непосредственно над шариком. Другим частым следствием ослабления механической прочности проволоки во время формирования шарика является увеличение высоты петли сварного соединения [11]. Рассматриваемый нами метод SB2-WB (пайка шариками припой) не приводит к изменению ни диаметра, ни механических характеристик проволоки – и это является существенным преимуществом в случае необходимости формирования большого массива длинных проволочных соединений. Тепловая нагрузка на паяемые поверхности очень низкая, что приводит к образованию игольчатого IMC-слоя толщиной всего в несколько микрон и обеспечивает более высокие металлургические характеристики паяных соединений по сравнению с другими видами пайки [12,13]. В то же время механизмы формирования геометрии петли во время холодной деформации материала проволоки схожи для всех типовых процессов микросварки, в том числе и для процесса SB2-WB.

Алюминий все еще является доминирующим среди материалов, используемых для микросварки,



Звонок по России бесплатный:

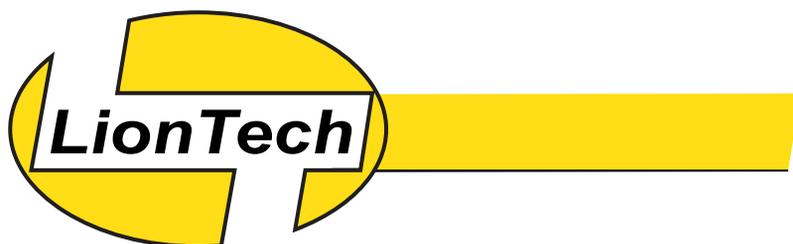
8 800 555 6889

8 (812) 309-27-37

8 (495) 646-14-76

www.liontech.ru

Технологическое оборудование и расходные материалы для производства электроники



особенно в случаях создания моно- и полиметаллических соединений толстой проволокой или лентой. Надежность и стабильность соединений, созданных в процессе микросварки алюминиевой проволокой или лентой, подтверждают способность металлов к диффузии через ~5 нм слой оксида на поверхности алюминия [14]. Для изделий, требующих использования алюминиевой проволоки для разварки соединений, процесс SB2-WB не применим.

В случае разварки ультранизких петель или стежком, минимальная высота петель может быть менее 80 мкм. Процесс разварки таких соединений занимает больше времени, снижая производительность. Положение капилляра в устройстве подачи проволоки SB2-WB может регулироваться в пределах 0°-90°, образуя полусферическое пространство. Таким образом, процесс SB2-WB позволяет формировать соединения с высотой петли, соответствующей диаметру используемой проволоки [15].

В сравнении с монометаллическими сварными соединениями, паяные соединения, в принципе, менее стабильны и надежны. Кроме того, из-за использования легкоплавких припоев (с температурой плавления менее 350°C), процесс пайки проволочных соединений не применим для изделий с высокотемпературными условиями эксплуатации.

НАДЕЖНОСТЬ СОЕДИНЕНИЙ

Для оценки начальных механических и электрических характеристик образцов проволочных соеди-

нений, полученных методами SB2-WB и термозвуковой сваркой «шарик-клин», были проведены их испытания на надежность. В качестве тестового материала для обоих процессов использовался кремниевый кристалл площадью 1 мм², толщиной 140 мкм, простой структурой контакта с 5 мкм финишным покрытием ENEPIG [16,8]. Кристалл был установлен на подложку из ковара, площадью 4 мм², толщиной 400 мкм, со слоем металлизации из золота толщиной 50 мкм. Для разварки методом «шарик-клин» использовалась золотая проволока диаметром 50 мкм (Heraeus BW AU HD2 WR). Сварные перемычки были созданы между 200 мкм октагональными площадками на кристалле и металлизацией коваровой подложки с помощью установки F&S Bondtec Series 58, а затем испытаны на стойкость к механической, тепловой и электрической нагрузке (рисунок 6). Для измерений использовались тестеры на сдвиг и отрыв XYZTEC Condor Sigma и Dage BT 4000.

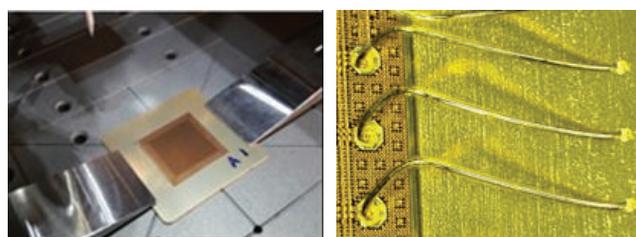


Рис. 6 – образец со сварными соединениями из золотой проволоки, созданными с помощью установки F&S Bondtec. Слева показано расположение образца на рабочем столе установки, справа – петли сварных соединений.

На установке SB2-WB (PasTech) были созданы проволочные соединения методом SB2-WB (рису-



нок 7). Для полного покрытия проволоки припоем были использованы шарики SAC305 диаметром 200 мкм. Высота петель и длина перемычек были настроены таким образом, чтобы сымитировать геометрию петель, полученных методом термовзвучной сварки. Угол наклона проволоки по отношению плоскости контактных площадок составил 30°.

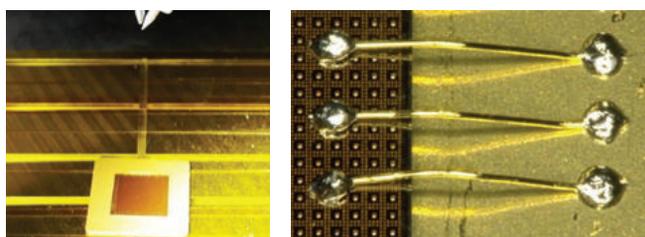


Рис. 7 – образец с перемычками, распаянными по методу SB2-WB на оборудовании RasTech. Слева показан образец на рабочем столе установки, справа – распаянные перемычки

Результаты тестов на отрыв перемычек показаны на рисунке 8.

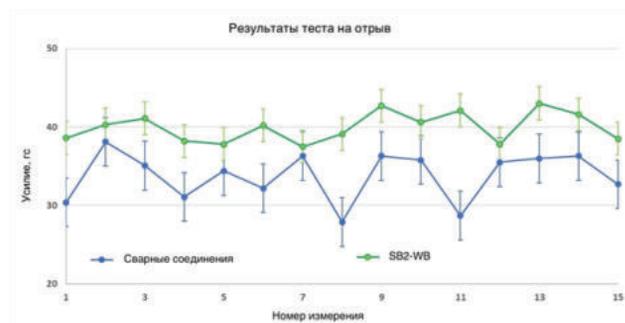


Рис. 8 – результаты тестов на отрыв перемычек. Кривая синего цвета – усилие на отрыв перемычек, созданных термовзвучной сваркой, зеленая кривая относится к перемычкам SB2-WB

Для выявления и классификации вида разрушений использовался оптический микроскоп [17]. На

рисунке 9 показаны превалирующие виды разрушений перемычек, созданными методами термовзвучной сварки (слева) и SB2-WB, после теста на отрыв.

Среднее усилие на отрыв сварных перемычек составило 33,8 гс, для распаянных перемычек – 39,9 гс. Перемычки, распаянные методом SB2-WB, в ходе теста на отрыв всегда разрушались только в месте захвата крючком, в то время как для сварных перемычек было характерным два вида разрушений – в 73% случаев над шариком (в зоне HAZ) и в 23% случаев в месте захвата перемычки крючком.

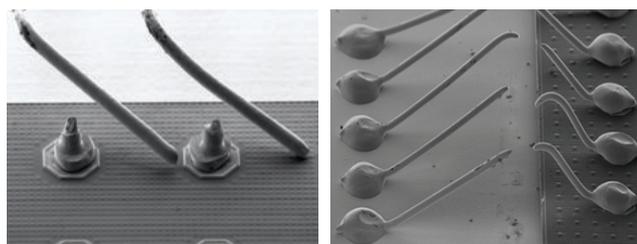


Рис. 9 – основные виды разрушений перемычек в ходе теста на отрыв. Слева показано разрушенные сварные перемычки, справа – перемычки SB2-WB

ИСПЫТАНИЯ НА ВИБРОУСТОЙЧИВОСТЬ

Для понимания механических характеристик и металлургической стабильности проволочных соединений под нагрузкой, были выполнены испытания на виброустойчивость, выявившие потенциальные виды разрушений. Для испытаний использовался вибростенд CTS RMS, создававший вибрационное воздействие на образцы синусоидальными колебаниями в направлении осей X, Y и Z, частотой в диапазоне 50-200 Гц, с осевой нагрузкой 5г в



течение 8 минут. После этого был выполнен тест на отрыв.

Анализ видов разрушений сварных проволочных соединений показал, что они распределены примерно в равных пропорциях: 50% над шариком, 50% в месте захвата переключки крючком. В то же время 100% переключек, распаянных методом SB2-WB, разрушились в месте захвата крючком (рисунок 12). В обоих случаях, величина усилия на разрыв уменьшилась на 4,35% и 8,23% для разваренных и распаянных переключек, соответственно. Это проиллюстрировано на рисунке 13, на котором обобщены все результаты измерений.

Для того, чтобы подтвердить, что виброиспытания ослабили только сами проволочные переключки, но не интерфейс паяных соединений, был выполнен дополнительный тест на сдвиг паяных соединений SB2-WB до и после вибрационного воздействия. Результаты этого теста показаны на рисунке 10.

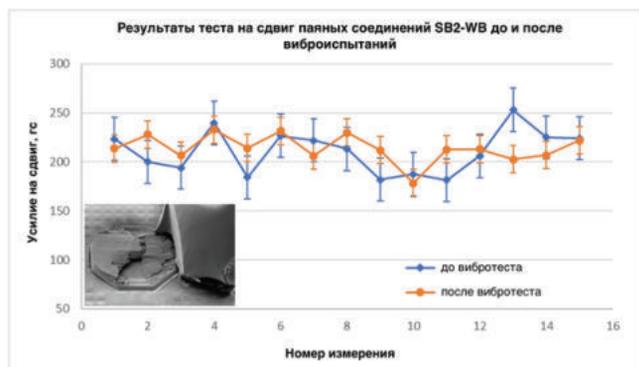


Рис. 10 – результаты теста на сдвиг паяных соединений SB2-WB до (синяя кривая) и после виброиспытаний (оранжевая кривая)

Более того, был выполнен анализ металлургических характеристик интерфейса паяных соединений SB2-WB, чтобы выявить возникшие в нем разрушения. Поперечные срезы соединений до (слева) и после испытаний (справа) показаны на рисунке 11.

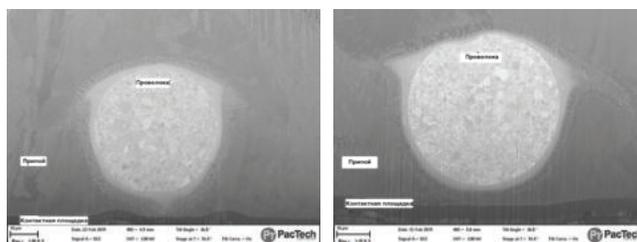


Рис. 11 – поперечные срезы паяных соединений SB2-WB до и после виброиспытаний

Исследования показали, что в обоих случаях потеря механической целостности произошла в объеме проволоки, а не по границе раздела паяного соединения. Обе технологии создания проволочных соединений показали высокую стойкость соединений к механической нагрузке. Небольшая разница между результатами теста на отрыв в случае обрыва проволоки в месте захвата крючком обусловлена различием геометрии петель и соединений.

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ

Деградация паяных соединений происходит быстрее, чем сварных, и это является общепризнанным фактом. Для понимания механизма деградации паяных соединений проволоки и его сравнения с деградацией соединений, полученных



термозвуковой сваркой, были выполнены испытания на стойкость к термоциклированию в трехзонной камере Voetch VT 7012 S3. Образцы перемещались из зоны с температурой -40°C в зону с температурой $+125^{\circ}\text{C}$. Таким образом было выполнено 250 термоциклов с выдержкой образцов в каждой зоне в течение 30 минут. После этого были выполнены тесты на отрыв.

Виды разрушений сварных перемычек распределились следующим образом: 60% над шариком, 37% по месту захвата крючком и 3% отрыв шарика (см. рисунок 12). Распаянные перемычки в 90% случаев разрушились по месту захвата крючком, в остальных 10% произошел отрыв паяных соединений. Обобщенные результаты тестов на отрыв показаны на рисунке 13.

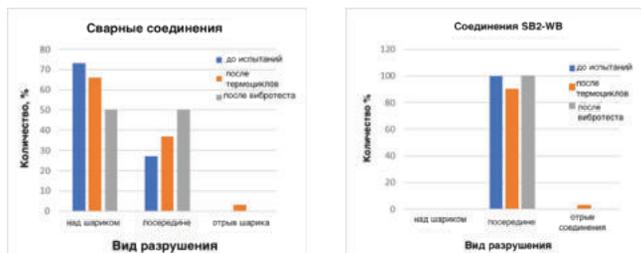


Рис. 12 - распределение видов разрушения

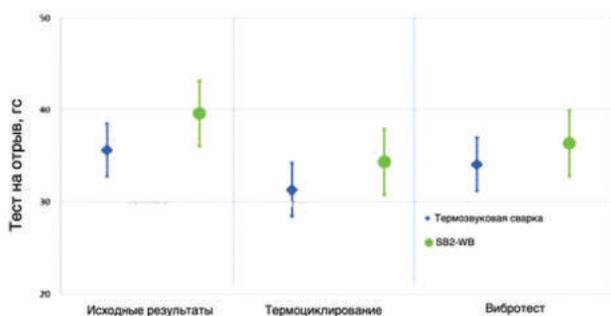


Рис. 13 - результаты тестов на отрыв

Усилие на разрыв после термоциклирования снизилось на 12,7% для сварных соединений и на 13,2% для паяных. Также результаты испытаний показали, что в первую очередь ухудшаются механические свойства проволоки, а не интерфейсов соединений.

На рисунке 14 показаны поперечные срезы паяных соединений SB2-WB после термоциклирования.

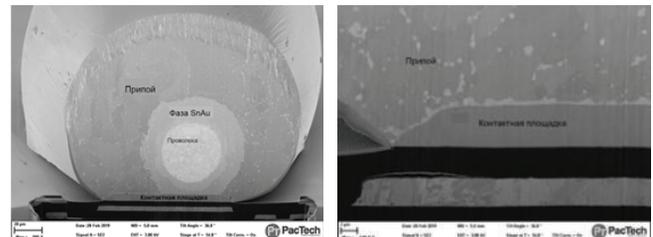


Рис. 14 - поперечные срезы паяных соединений SB2-WB после термоциклирования

После 250 термоциклов, как и ожидалось, произошло увеличение диффузионного слоя SnAu, а также интерметаллического слоя. Не были обнаружены ни пустоты, ни растрескивания. Диффузионный слой SnAu увеличился примерно в 4 раза, сформировав вокруг проволоки симметричный ореол. Концентрация золота в этом слое постепенно уменьшается по направлению к припойному слою. Образовавшаяся композиция SnAu имеет более высокую температуру плавления, чем сплав припоя, что может препятствовать дальнейшей диффузии золота в олово.

Анализ поперечных срезов сварных соединений после термоциклирования не выявил в них никаких значительных структурных изменений.

ИСПЫТАНИЯ НА ДОПУСТИМУЮ ТОКОВУЮ НАГРУЗКУ

Кроме оценки стойкости к механическим и температурным нагрузкам, важно знать, насколько соединения надежны с точки зрения допустимой электрической нагрузки – это особенно важно, например, для понимания процесса сборки лазерных диодов на основе кристаллов GaAs, работа которых требуются высокие токи. В отличие от сварных соединений, в паяных соединениях материал припоя привносит дополнительное переходное сопротивление между проволокой и контактной площадкой. Чтобы определить в каком месте перемычек чаще всего будет происходить обрыв, через них пропускаться возрастающий электрический ток до тех пор, пока не происходило разрушение. Для выявления самых слабых мест в перемычках, тест выполнялся с использованием тепловизионной камеры.

Для испытаний были подготовлены тестовые образцы, представляющие собой две покрытые золотом коваровые подложки, склеенные с небольшим сдвигом относительно друг друга с помощью электроизоляционного эпоксидного компаунда. За счет сдвига между подложками формировалась ступенька, на плоскостях которой создавались проволочные соединения – по 4 перемычки на образец. Перемычки были покрыты черным защитным резистом, позволяющим получать более четкую картину на тепловизоре. Внешний вид тестового образца показан на рисунке 15.

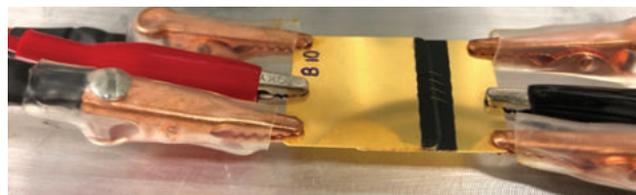


Рис. 15 – тестовый образец для проведения испытаний на допустимую токовую нагрузку

Сила тока увеличивалась пошагово, продолжительность цикла токовой нагрузки составляла 0,2 с. Время ожидания между циклами было равным 7 с, каждый цикл на определенном токе выполнялся один раз. Как видно на рисунке 16, разрушение сварных и распаянных перемычек произошло при силе тока равным 15 А и 20 А, соответственно.

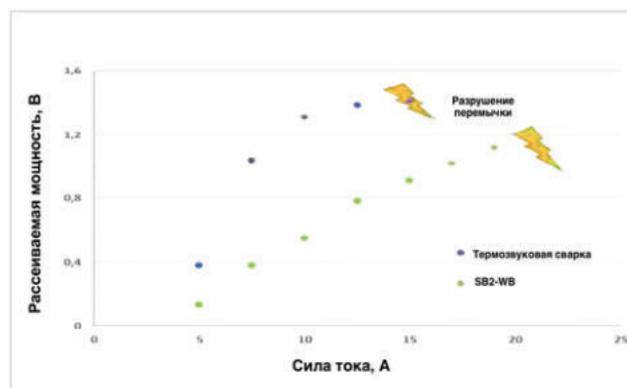


Рис. 16 – определение допустимой токовой нагрузки для сварных и распаянных перемычек

Тепловые изображения проволочных соединений во время выполнения теста показаны на рисунке 17.



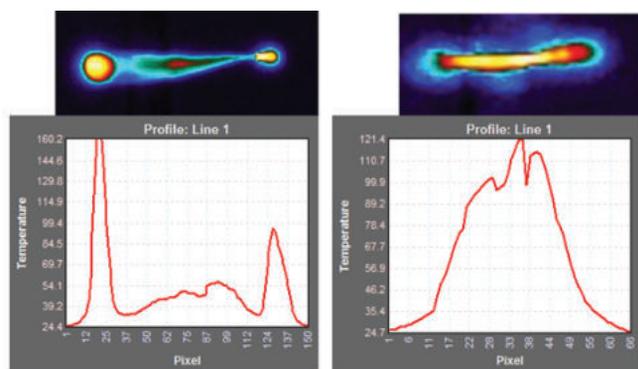


Рис. 17 – тепловые изображения перемычек во время выполнения испытаний на допустимую токовую нагрузку. Слева показана перемычка, созданная с помощью термозвуковой сварки, справа – распаянная перемычка SB2-WB

Все перемычки разрушились по центру, в точке изгиба (рисунок 18). Припой не расплавился и паяные соединения, как ожидалось, остались целыми. Высокая тепловая масса припоя в паяных соединениях и большая площадь контакта, позволяющая отводить выделяемое тепло, предотвратили расплавление припоя и потерю контакта. Тепловые изображения показывают, что температура в распаянных перемычках распределена более равномерно по длине петли, чем в сварных перемычках, для которых температурные пики наблюдаются в точках сварных соединений.

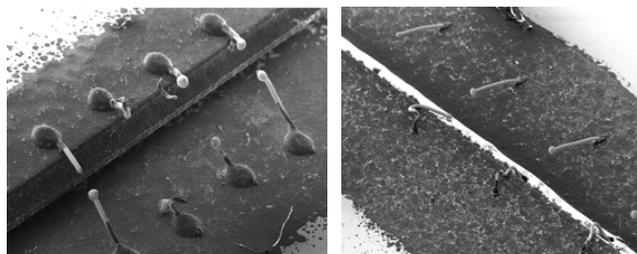


Рис. 18 – вид перемычек после испытания на допустимую токовую нагрузку. Слева распаянные перемычки, справа – перемычки, созданные термозвуковой сваркой

Небольшое различие в геометрии оплавленных участков разрушенных распаянных и сварных перемычек может быть обусловлено разницей их удельных сопротивлений. И эта разница может являться причиной того, что сварные и распаянные перемычки разрушаются при разной токовой нагрузке. Тем не менее, по данным теплового распределения можно сделать вывод, что распаянные перемычки SB2-WB обладают более высокими электрическими характеристиками, чем перемычки, созданные термозвуковой сваркой.

ПРИМЕР ВОЗМОЖНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ SB2-WB – СБОРКА ДАТЧИКА PDC

ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА

В данном случае рассматривается применение процесса SB2-WB для распайки проволочных соединений пьезоэлектрического актюатора, являющегося самой важной частью ультразвукового PDC-датчика. Для кристалла пьезоактюатора,



расположенного в нижней части керамического корпуса, необходимо создать электрические соединения с двумя контактными площадками на корпусе устройства. Конструкция устройства схематически показана на рисунке 19.

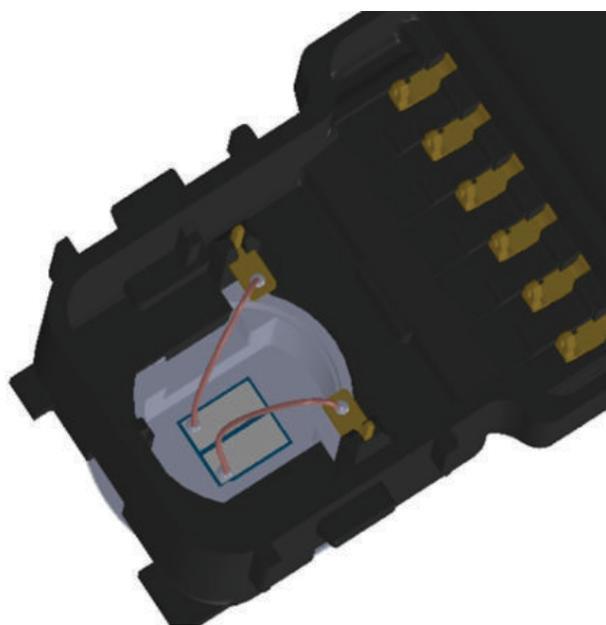


Рис. 19 – трехмерная модель PDC-датчика, показывающая расположение проволочных соединений

Пространство, доступное для монтажа проволочных соединений, ограничено площадью 7,5x10,68 мм² и вертикальным расстоянием 18 мм между плоскостью кристалла и контактами корпуса. Для создания надежных электрических соединений с учетом компенсации вибрации, необходимо использовать проволоку диаметром 80 мкм, а длина перемычек должна быть равной 26 мм. Материал проволоки – медь (2N) с защитным полиуретановым покрытием. Контактные площадки кристалла созда-

ны гальваническим способом, материал финишной металлизации – серебро. Медные контактные площадки корпуса покрыты гальваническим оловом. Для припаивания медной проволоки к контактным площадкам на кристалле и корпусе использовались шарики припоя SAC305 объемом 0,23 мм³.

Эта задача является чрезвычайно сложной, а применение традиционных методов микросварки приводит либо к поломке подложки, либо к созданию соединений с низкой механической прочностью [18].

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА

Наиболее сложными этапами процесса были настройка монтажной головки для возможности доступа в глубокий колодец, в котором располагался кристалл, и удаление полиуретанового покрытия с проволоки во время пайки. Для предотвращения таких дефектов как наличие пустот в паяных соединениях, возникших вследствие быстрого испарения органического материала изоляции, изолирующий слой должен быть полностью удален перед пайкой. Удаление слоя изоляции с проволоки выполнялось с помощью предварительного прецизионного воздействия импульсом встроенного ИК-лазера. Необходимая термоусадка слоя изоляции достигалась при плотности мощности лазерного излучения равным 31 Дж/м².

Первое паяное соединение формировалось на площадке кристалла датчика, направление петли было перпендикулярным по отношению к контакт-



ной площадке на корпусе. Затем проволока позиционировалась на площадке корпуса. После этого выполнялись пайка второй точки петли и отрыв проволоки. Для пайки использовался импульс ИК-лазера мощностью 1400 мДж (140 Вт/10мс). На рисунке 5 показан термопрофиль этого процесса.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОЦЕССА

Для оценки качества полученных паяных соединений проволоки использовались установка рентгеновского контроля и электронный микроскоп с фокусированным ионным пучком. С помощью рентгеновской паяные соединения исследовались на наличие воздушных включений, трещин и неоднородностей. На рисунке 20 показаны рентгеновские снимки паяных соединений.

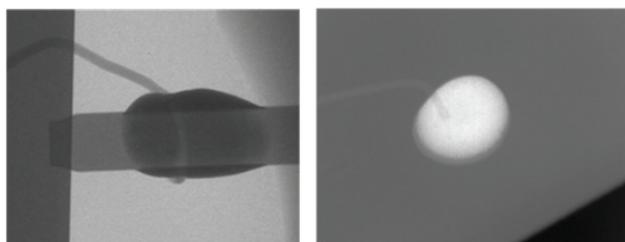


Рис. 20 – снимки паяных соединений. Слева показано соединение на контактной площадке корпуса, справа – на поверхности кристалла датчика

Анализ рентгеновских изображений показал отсутствие каких-либо пустот и иных дефектов в паяных соединениях. Вокруг проволоки стабильно формировался слой припоя объемом 0,23 мм³, образуя надежное соединение. Результаты металлургического анализа паяных соединений с помощью

электронной микроскопии показаны на рисунке 21.

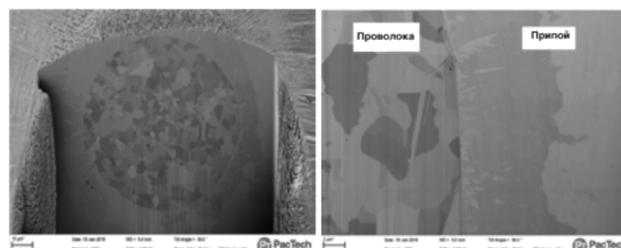


Рис. 21 – металлургический анализ поперечных срезов паяных соединений SAC305-Cu

Металлургический анализ также подтвердил высокое качество паяных соединений и отсутствие дефектов на границе раздела «проволока-припой». Вокруг проволоки сформировался интерметаллический слой с игольчатой структурой и длиной элементов около 2-4 мкм.

Усредненные результаты теста на отрыв на уровне 97,32 гс в сочетании с тем, что перемычки обрывались только по месту захвата проволоки крючком, подтвердили механическую стабильность и надежность полученных паяных соединений.

ВЫВОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

- Результаты выполненных квалификационных испытаний показали, что паяные соединения SB2-WB надежны и обеспечивают характеристики, аналогичные сварным проволочным соединениям
- Технология SB2-WB достаточно гибкая с точки зрения регулирования объема припоя в паяном



Звонок по России бесплатный:

8 800 555 6889

8 (812) 309-27-37

8 (495) 646-14-76

www.liontech.ru

Технологическое оборудование и расходные материалы
для производства электроники

соединении или типа применяемого сплава и позволяет, в зависимости от вида перемычки, определять место возможного отказа

- Паяное соединение, в отличие от сварного, способно полностью покрывать поверхность контактной площадки, что является преимуществом с точки зрения механической прочности соединения и его температурных характеристик, особенно в случае использования прямоугольных контактных площадок

- Выполненные в рамках данной работы испытания на надежность паяных соединений и их результаты с точки зрения механических, электрических и температурных характеристик отражают только некоторые аспекты технологии SB2-WB, для оценки которой требуются дополнительные исследования

- Между проволокой и окружающим ее припоем в процессе пайки создается стабильный диффузионный слой. Система SAC305/Au, упомянутая в настоящей работе, требует дополнительного изучения, чтобы выяснить:

- происходит ли дальнейшая диффузия золота в олово
- определить точку насыщения
- рассмотреть другие композиции, например, такие как Au80Sn20

- Варьирование результатов теста на отрыв при одинаковых видах разрушения может быть объяснено небольшим различием геометрии петель паяных соединений

- Чтобы паяные соединения достигли сварные по уровню температурной стабильности, необходимо применять высокотемпературные сплавы [19]

- Технология SB2-WB обеспечивает создание стабильного и надежного паяного соединения между медной проволокой и серебряным проводящим слоем LTCC-подложки.

Дальнейшая работа включает детальный анализ паяных соединений проволоки в сочетании с определением оптимальных условий выполнения процесса SB2-WB. Будет исследована возможность применения этого процесса в других областях – пайка пучка проводов, ленты или оптоволокон. Также будет изучена возможность использования проволоки диаметром в диапазоне от 15 мкм до 600 мкм. Перспективы процесса SB2-WB показаны на рисунке 22.

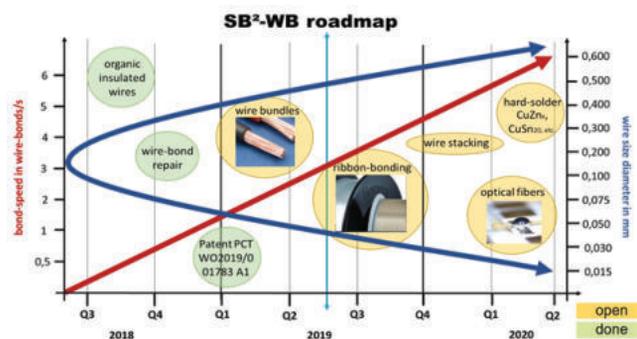


Рис. 22 – дорожная карта развития технологии SB2-WB



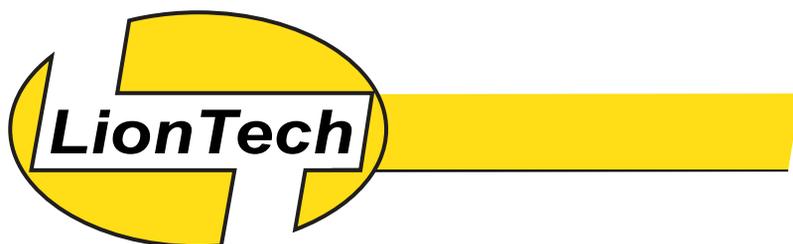
Звонок по России бесплатный:

8 800 555 6889

8 (812) 309-27-37

8 (495) 646-14-76

www.liontech.ru



СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] TechSearch International, "Advanced Packaging Growth", 2017
- [2] J. Phan, P. Fraud, "wire-bonding challenges in optoelectronic packagings", 1st SME Annual Manufacturing Technology Summit Deabron, 2004
- [3] P. Kasulke, W. Schmidt, T. Oppert, „Solder Ball Bumper SB²-A flexible Manufacturing Tool for 3-dimensional Sensor and Microsystem Packages”, 22th Inter. Electronics Manufacturing Technology Symposium, 1998
- [4] User manual Optris CT
- [5] Lee Levine, ASM International, "wire-bonding", EDFAAO, 2016
- [6] ASIC Labor Heidelberg, "wire-bonding interconnections", workshop on Silicon Detectors, 2007
- [7] Prof Dr. Salwani Mohd Daud, "IC Assembly, packaging and testing", DDE3253 Microelectronics
- [8] Daniel Lu, C.P. Wong, "Materials for advanced packaging", Springer, 2009
- [9] Lee R. Levine, "wire-bonding in optoelectronics", Advancing Microelectronic, 2002
- [10] C.K. Charles Jr, K.J. Mach, R.L Edwards, "wirebonding: Reinventing the process for MCM's"
- [11] U. Geißler, M. Schneider, "wire-bonding as dynamic process of hardening and softening", FHG-IZM
- [12] Hiroshi Nishikawaa, Noriya Iwatab, "Formation and growth of intermetallic compound layers at the interface during laser soldering using Sn–Ag Cu solder on a Cu Pad", Journal of material processing technology, 2014
- [13] W. Liu, C. Wang, M. Lie et al, "Comparison of AuSn_x IMCs's Morphology", Distribution in Lead-free Solder Joints Fabricated by Laser and Hot Air Reflow Process", 6th Electronic Packaging Technology Conference, 2005
- [14] H. Xu, C. Liu, V. Silberschmidt et al., "A micromechanism study of thermosonic gold wirebonding on aluminum pad", Journal of Applied Physics 108, 2010
- [15] B. Chlyk, L. Levine, S. Babinetz et al., "Advanced Ultra-Low-Loop Wire Bonds", Semicon China, 2006
- [16] Beng Teck Ng, Ganesh VP, Charles Lee, "Optimization of Gold Wire Bonding on Electroless Nickel Immersion Gold for high temperature Applications", IEEE, 2006
- [17] Nordson Dage, "Finaler-Entwurf-Prüfdokument", 2016
- [18] F. Seigneur, Y. Fournier, Th. Maeder et.al., "Laser soldering of piezoelectric actuator with minimal thermal impact", 2014
- [19] S. Stein, J. Dippert, S. Roth et al., "Laser drop on demand micro joining for high temperature wirebonding applications-system technology and mechanical joint performance"

