

# Технология и области применения микроконтактных соединений ClawConnect

**Степень интеграции современных электронных устройств постоянно растет. В большей степени эта тенденция проявляется в секторе мобильных устройств. Актуальным вопросом в данном контексте является реализация новых технологий, обеспечивающих повышение плотности монтажа компонентов. Одной из ключевых технологий является монтаж кристаллов микросхем на носитель. Активная площадь кристаллов год от года уменьшается, а периферийная зона размещения контактов практически остается неизменной вследствие ограничений, свойственных текущим технологиям монтажа.**

Александр САМАРИН

Традиционная технология соединений контактов кристаллов с контактами корпуса с помощью микросварки золотых проволочек была разработана еще в начале 60-х годов. В настоящее время это самая распространенная и дешевая технология соединений кристалла с носителем. Однако возможности технологии ограничены — минимальный шаг выводов, который может быть реализован с использованием данной технологии, составляет 35 мкм. В большинстве же случаев минимальный шаг составляет 60 мкм. Для соединения контактов кристалла с контактами носителя применяется золотая проволочка диаметром 15 мкм. Максимальная длина такого соединения — около 8,4 мм.

## Технология TAB

В технологии TAB кремниевые кристаллы крепятся к полимерной ленте, формирующей внутренние соединения выводов чипа. Присоединение выводов чипа к сборке второго уровня (голой печатной плате либо иной подложке) достигается при помощи внешних выводов полимерной ленты. Для соединения внешних выводов компонента TAB с подложкой обычно используются методы контактной пайки, пайки горячим газом или лазерной микросварки.

## Технология Flip-chip

Технология была разработана фирмой IBM. В общем случае технология монтажа Flip-chip обеспечивает формирование объемных контактов с обратной стороны (flip) кристалла микросхемы (в противополож-

ность обычной технологии монтажа с помощью проводных соединений с фронтальной стороны кристалла). В качестве шариков применялись композитные металлические сплавы NiV, NiVCu, а также AuSn. Технология Flip-chip достаточно дорогая, поскольку в ней присутствуют затратные операции сквозного травления подложки для формирования перехода с фронтальной стороны на обратную сторону кристалла, а также операция формирования шарикового вывода. Стоимость одного контакта Flip-chip составляет около 1 цента. На данном этапе развития технология flip-chip обеспечивает шаг выводов на уровне 200–500 мкм. В настоящее время эта технология становится более востребованной. В 2006 году около 5,6% от всех выпускаемых в мире микросхем было произведено именно по этой технологии соединений контактов. К 2009 году ожидается увеличение доли применения этой технологии до 10,6%.

## Технология ACF

Технология соединений с помощью анизотропных проводящих пленок (Anisotropic Conductive Film) была разработана более 30 лет назад. Она широко используется в настоящее время для создания соединений при монтаже драйверов ЖК-дисплеев. Технология может обеспечивать соединения контактов кристалла с площадками на разных носителях: полиимидном гибком шлейфе (TCP, FCP), стеклянной подложке (COG-монтаж), а также на печатной плате.

Применяются два типа ACF. Первый тип имеет один слой полимерного адгезива, со-

державший массив проводящих частиц, покрытых очень тонким слоем диэлектрика. В качестве основы используются полимерные или стеклянные шарики. Они покрываются сначала тонкой пленкой никеля для адгезии, а затем пленкой золота, которая обеспечивает наименьшее сопротивление проводящего контактного соединения. Частицы имеют диаметр 5 мкм и покрыты тонким слоем диэлектрика, который предотвращает замыкание между шариками электродов, обеспечивая зазор около 10 мкм. Однако слой диэлектрика нарушается при деформации шариков. В другом типе ACF используется двухслойная структура. Первый слой, содержит проводящие частицы, а второй слой адгезивный (без частиц). Таким образом, разделяются функции адгезии и проводимости. Частицы имеют диаметр около 3 мкм. Этот тип ACF имеет примерно в четыре раза больше частиц, чем первый тип. Качество и надежность соединения зависит от однородности распределения частиц в слое. Для надежного соединения контактов требуется обеспечить плотность не менее 5 частиц на контакт.

При сборке шарики сдавливаются, и вследствие деформации слой диэлектрика разрушается, обнажая проводящую пленку золота. Таким образом возникают проводящие точечные контакты между соединяемыми контактными площадками микросхемы и подложки. В горизонтальной плоскости слоя шариков сохраняется высокое сопротивление, поскольку в этой плоскости не происходит образования проводящих конгломератов шариков. На рис. 1 показан процесс формирования контактного соединения с помощью ATF.

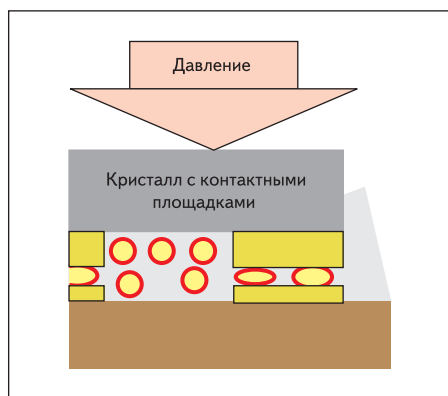


Рис. 1. Процесс формирования контактного соединения с помощью ACF

Монтаж по технологии ACF требует давления и значительной температуры для процесса формирования соединения. Продолжительность процесса также достаточно велика. Воздействие температуры вызывает механические напряжения на границах раздела и деградацию свойств материалов и структуры кристалла. Шаг соединений, реализуемых с помощью ATF, ограничен значениями 60–100 мкм. Для применения в технологических процессах производят готовые пленки ATF. Самый известный производитель пленок ATF — фирма 3M.

### Технология ClawConnect

Одним из направлений деятельности известной фирмы PARC (Palo Alto Research Center) является разработка новых технологий монтажа, обеспечивающих более высокую плотность расположения выводов. В первую очередь, эти технологии предназначены для нужд самой фирмы, которая разрабатывает и производит лазерные головки для принтеров. К настоящему моменту фирма разработала ключевые технологии, позволяющие обеспечить шаг выводов 6 мкм. Компания PARC зарегистрировала два торговых знака для своей технологии:

- StressedMetal — название технологии формирования напряженной металлической пленки для контактов (дословно: «напряженный металл»).
- ClawConnect — название технологии формирования межсоединений с использованием процесса StressedMetal.

В технологии StressedMetal используется механическое напряжение, которое возникает в процессе напыления тонкой биметаллической пленки на поверхность подложки. Для формирования структуры StressedMetal на кремниевую или стеклянную подложку напыляется тонкий слой металлической пленки с градиентом механического напряжения вдоль поверхности пленки. PARC разработала технологический процесс образования контролируемого с высокой точностью механического напряжения в тонкопленочных структурах.

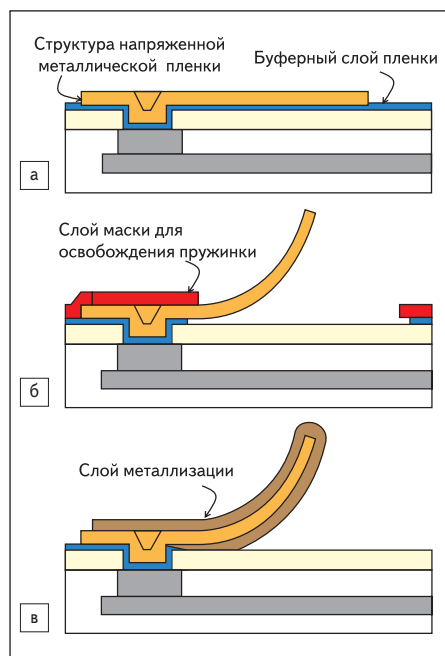


Рис. 2. Фазы формирования консоли StressedMetal  
а) структура после нанесения слоев металла и буферного слоя;  
б) после травления буферной пленки;  
в) нанесение упрочняющей металлизации на «когти»

С одной стороны, ClawConnect является разновидностью технологии flip-chip. С другой стороны, объемная структура, формируемая по данной технологии, относится к MEMS-устройствам. В технологии ClawConnect контактный узел представляет собой подпружиненную микроконсоль. Контактные группы формируются с обратной стороны кристалла на периферийной зоне. В качестве подложки для формирования контактов могут быть использованы различные материалы, в частности, кремниевая подложка или стеклянная пластина.

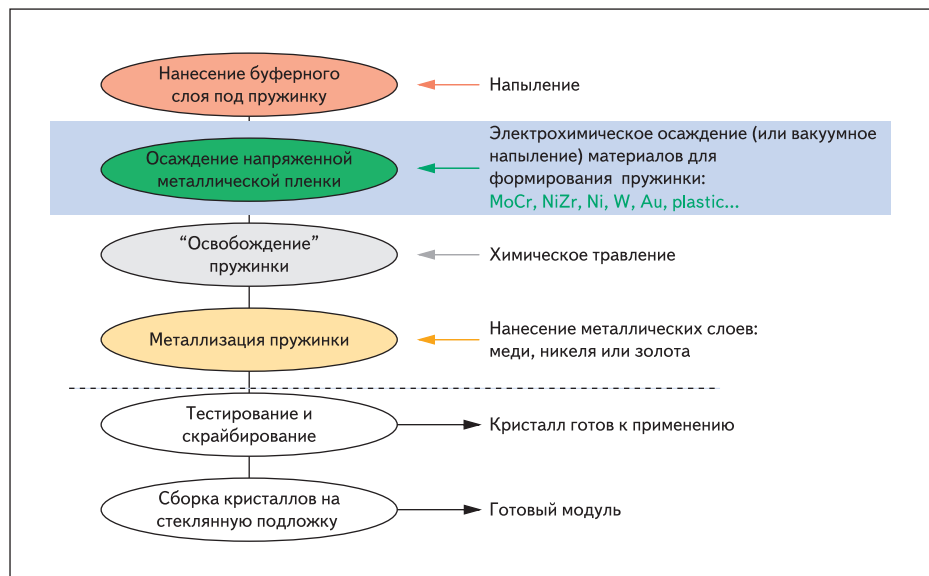


Рис. 3. Фазы технологического процесса формирования StressedMetal

Технология соединений ClawConnect обеспечивает шаг выводов 6 мкм, используя тонкопленочные консольные микропружинки. Линейный массив формируется при использовании стандартной технологии формирования структур на полупроводниковой подложке (напыление металлической и буферной пленок, фотолитография, формирующая массив полосок выводов, селективное травление в две фазы — травление по металлической пленке и травление буферной пленки под полосками контактов). На рис. 2 показаны основные фазы формирования консоли StressedMetal.

В качестве материала пленки консоли применяется слой MoCr (молибден-хром). Удельное сопротивление этого материала от 20 до 30 мкОм/см при распылении на холодную подложку и 15 мкОм/см, если подложка предварительно была нагрета. Однако эта величина все же значительно выше, чем величина удельного сопротивления стандартных металлических пленок, таких как Al или Cu, используемых при создании межсоединений. Тем не менее проводимость консоли можно увеличить нанесением дополнительного слоя металлизации алюминия, меди или золота. После проведения фотолитографии и травления буферного (sacrifice — «приносимого в жертву») слоя механически напряженная консоль поднимается над поверхностью подложки, образуя основу для подпружиненного контакта. Консоль, которая выгибается по определенному радиусу, образует трехмерную пружинку, похожую на коготь (claw), торчащий из подложки. На рис. 3 показан технологический маршрут формирования StressedMetal.

Для монтажа по технологии ClawConnect не применяется нагрев. Адгезивный состав, который заполняет зону монтажа под кристаллом, отвердевает при воздействии ультрафиолетового излучения. Отрицательно-



Рис. 4. Массив консольных пружинящих контактов ClawConnect с шагом 6 мкм

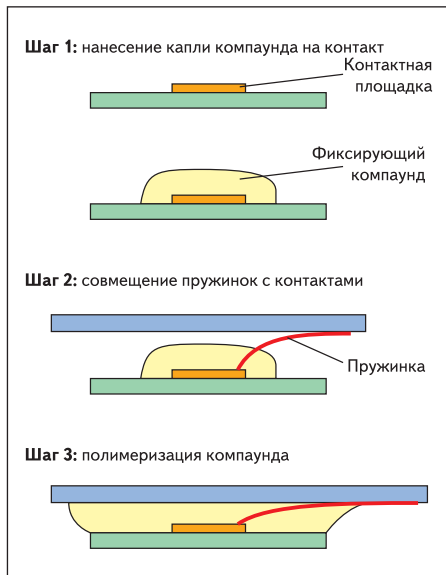


Рис. 5. Образование соединения ClawConnect

го влияния ультрафиолетового излучения на свойства материалов замечено не было. На рис. 4 показан массив консольных пружинящих контактов ClawConnect с шагом 6 мкм.

На Рис. 5 показан процесс формирования контактного соединения ClawConnect.

Основные преимущества технологии ClawConnect:

- высокая плотность контактов (в тестовых образцах был сформирован массив контактов с шагом 6 мкм);
- бессвинцовая и бесприпойная технология соединения, не требующая нагрева;
- совместимость технологии со стандартным технологическим процессом для полупроводниковых пластин;

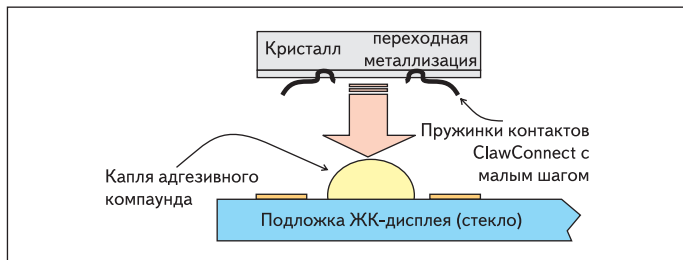


Рис. 7. Нанесение адгезивного полимера на стеклянную подложку перед монтажом кристалла

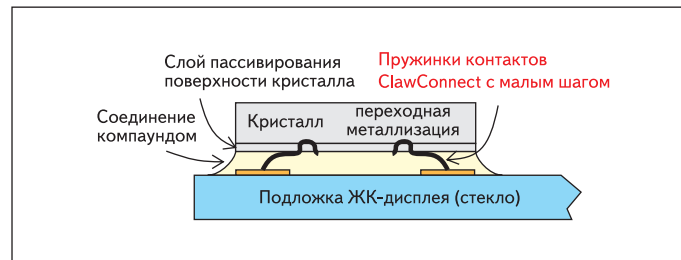


Рис. 8. Применение ClawConnect для монтажа драйверов ЖК-дисплеев по технологии COG

- любые подложки: кремний, стекло, печатные платы, керамика, гибкие шлейфы;
- большая сила прижима контактов;
- для формирования структуры применяется стандартный тонкопленочный процесс, который не требует использования экзотических материалов или процессов;
- гибкость задания параметров консоли. Области применения технологии ClawConnect:
- межсоединения ЖК-драйверов с малым шагом выводов (технология монтажа COG (chip-on-glass);
- монтаж кристаллов в корпуса или на носители;
- формирование контактов зондовых установок для тестирования и термотренировки многовыводных кристаллов микросхем;
- создание контактов без использования припоев вообще и свинца в частности;
- создание межкристалльных соединений при сборке стопки кристаллов;
- формирование на подложках межсоединений, имеющих малый импеданс для высокочастотных сигналов (несколько десятков гигагерц);
- межсоединения для VCSEL (массивов микролазеров с вертикальной структурой).

### Применение ClawConnect для монтажа драйверов в ЖК-дисплеях

Быстрый рост рынка ЖК-дисплеев требует, с одной стороны, уменьшения стоимости, а с другой — улучшения характеристик дисплеев, в частности их разрешения. Технология ClawConnect может быть использована для создания соединений кристаллов драйверов с выводами ЖК-панелей по COG-технологии. Новая технология предназначена, в первую очередь, для следующего поколения ЖК-панелей с высокой степенью интеграции (System-On-Glass), в которой будет использоваться улучшенная технология монтажа COG. В настоящее время монтаж кристаллов на стекле находит все большее применение в стандартных ЖК-модулях, дисплеях мобильных устройств, а также в ЖК-панелях ноутбуков, мониторов и телевизоров.

Применяемая в данный момент технология COG использует пленки ACF (anisotropic conducting film) для монтажа кристаллов драйверов на стеклянную подложку панели. Посколь-

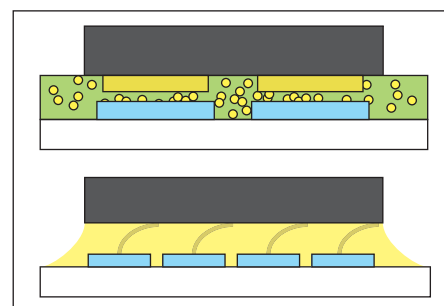


Рис. 6. Сравнение технологий ACF и ClawContact

ку разрешение дисплеев растет, возможности ACF уже не обеспечивают должного уровня плотности соединений между контактами кристалла и контактными площадками на стеклянной подложке панели. Применение технологии ACF также увеличивает цену дисплея и влияет на процент выхода годных. Технология ClawConnect рассматривается в качестве альтернативы ACF. Базовые элементы межсоединений в данной технологии — консольные пружинки с высокой плотностью размещения — формируются сразу же, на технологическом уровне производства кремниевой пластины драйверов. Это позволяет сделать шаг выводов меньше, чем позволяет технология ACF, уменьшить размеры кристалла и сократить стоимость монтажа кристалла на носитель или на стеклянную подложку.

На рис. 6 приведено сравнение технологий ACF и ClawContact.

Преимущества технологии ClawConnect перед ACF:

- меньшая удельная стоимость соединения при большей разрешающей способности;
- замена технологии соединений ACF, применяемой при COG-монтаже, обеспечивающая меньший шаг выводов и меньшую стоимость дисплея;
- уменьшается шаг межсоединений, и следовательно, уменьшается размер кристалла и его цена:
  - замена матрицы золотых шариков, содержащихся в ACF, массивом пружинко-консоль с маленьким шагом;
  - возможность рационального перераспределения контактов в активной области кристалла;
- уменьшение стоимости монтажа кристалла в корпус или на носитель.

## Применение ClawConnect для тестирования кристаллов на пластинах

В настоящее время производители микросхем и устройств стараются сократить как размеры кристаллов, так и стоимость технологических процессов. Стоимость процессов тестирования и монтажа кристаллов составляет большую часть цены микросхемы. Технология ClawConnect способна обеспечить уменьшение расходов при использовании ее для тестирования кристаллов в пластине. В настоящее время для тестирования пластин используются многоигольчатые зондовые головки. Стоимость их довольно высока, а ресурс невелик. Технология ClawConnect позволяет сформировать на поверхности зондовой платформы массивы подпружиненных контактов, которые и будут являться зондовыми щупами. На рис. 9 показана зондовая головка для электрофизического контроля параметров кристаллов на пластине, реализованная по технологии ClawConnect.

Применение данного типа зондовой головки позволяет увеличить ее ресурс, поскольку при ее работе не происходит истирания и затупления кончиков зондовых игл. Также уменьшается время и стоимость процедуры тестирования. Высокая степень интеграции технологии обеспечивает высокую плотность зондовых контактов, которая недостижима для обычных зондовых головок. В процессе тестирования за счет подпружиненности контактов допускается определенная неплоскость тестируемой поверхности. На рис. 10 показана микрофотография контактов зондовой головки, изготовленной по технологии ClawConnect.



Рис. 10. Контакты зондовой головки

На рис. 11 показан более впечатляющий пример реализации достоинств данной технологии. На подложке сформирован массив из 800 контактов, расположенных в шахматном порядке для достижения более высокой плотности зон контактирования.

Основные достоинства зондовых устройств на основе технологии ClawConnect

- эластичное сопряжение взамен жестких контактов с пластической деформацией контактных шариков припоя;
- контактные пружинки не содержат свинец;

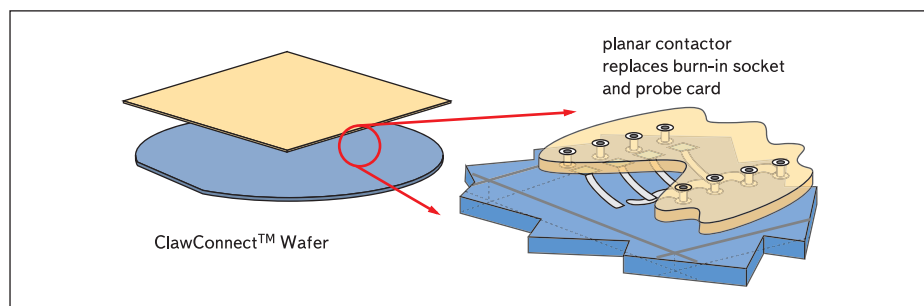


Рис. 9. Зондовая головка для электрофизического контроля параметров кристаллов на пластине, созданная по технологии ClawConnect

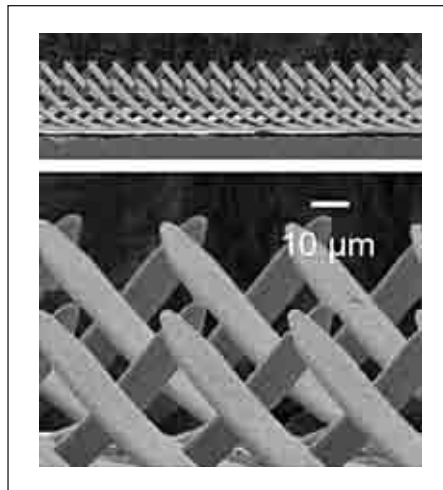


Рис. 11. Формирование многорядной цепочки контактов в шахматном порядке. На фото показан фрагмент массива тестового образца с полем из 800 контактов с шагом 20 мкм

- недорогой технологический процесс формирования контактов с использованием всего трех масок;
- сборка производится по стандартной технологии поверхностного монтажа и способна заменить TSOP (thin small outline package) и FBGA (fine-pitch ball grid array);

- сжимаемые контакты обеспечивают более тонкий профиль корпуса, что особенно важно для портативных устройств;
- зондовые головки с жесткими иглами в стендах контроля микросхем и пластин могут быть заменены на недорогие плоские контакторы с массивом пружинных консолей ClawConnect;
- при сдавливании подпружиненного контакта обеспечивается отличное качество электрического соединения с площадкой.

## Технология ClawConnect для многокристального вертикального монтажа Stacked Packages

Быстрый рост степени интеграции в мобильных устройствах требует увеличения плотности монтажа компонентов и модулей. Технология ClawConnect может быть с успехом использована для монтажа многокристальных модулей с вертикальной упаковкой кристаллов (stacked package). Существующая технология стопочного монтажа кристаллов микросхем имеет массу ограничений. Так, модули, смонтированные по этой технологии, имеют низкую тестопригодность, нет возможности для ремонта или повторного монтажа компонентов. Большие размеры

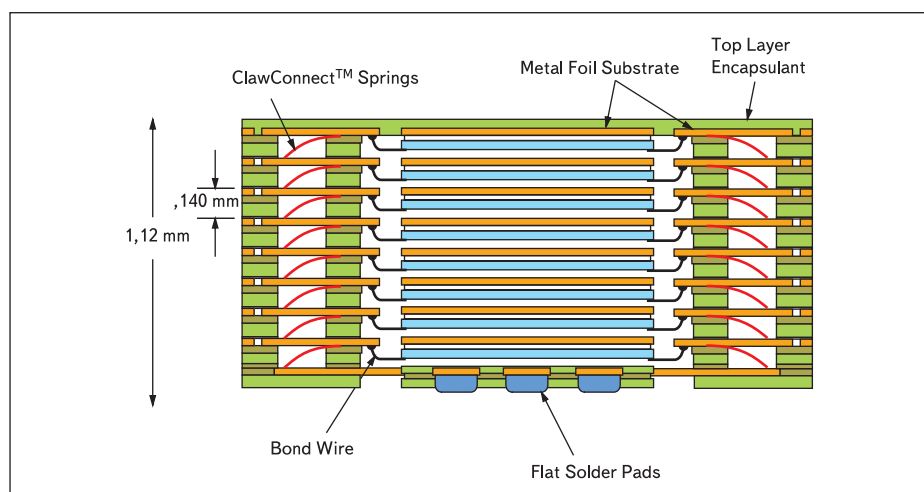
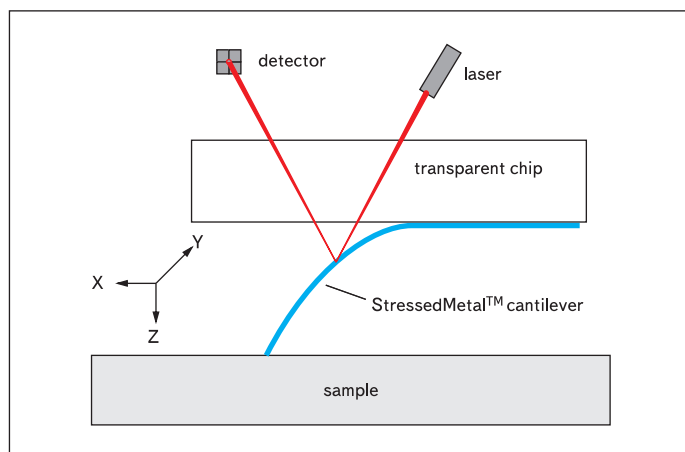


Рис. 12. Стопка из 8 кристаллов памяти имеет толщину всего 1,2 мм благодаря использованию контактов ClawConnect для межкристалльных соединений





**Рис. 13.** Зонды StressedMetal имеют очень малые размеры и обеспечивают высокое разрешение для сканирующих микроскопов

шариков припоя в межкристалльных соединениях увеличивают толщину многослойной конструкции. Сложность монтажа увеличивается, если число слоев превышает 4. Высокие температурные и механические напряжения внутри слоев при монтаже.

Применение технологии ClawConnect для стопочного монтажа кристаллов обеспечивает решение всех перечисленных проблем, причем с уменьшением цены монтажа.

Часть соединений в показанном модуле реализована с помощью обычного проволоочного монтажа микросваркой.

Преимущества технологии ClawConnect в данном применении:

- возможность проведения тестирования и термотренировки каждого из монтируемых слоев перед фиксацией соединений модуля;
  - легкая замена неисправного модуля, поскольку не требуется распайка и нагрев при разборке многослойной конструкции;
  - достигается меньшая толщина многослойной стопки (например, для восьмикристалльного модуля DRAM ее значение составляет 1,2 мм);
  - отсутствие градиентов температуры при сборке модуля;
  - сборка модулей производится при комнатной температуре, не требуется штамповка.
- Области применения:
- модули памяти или логических блоков — упаковки высокой плотности монтажа для DRAM, кристаллов процессоров, Flash NOR/NAND, ASIC;
  - создание процессорных этажерочных блоков (Stacked processor) с улучшенным теплорассеянием;
  - формирование гетерогенных чипсетов;
  - мобильные связные устройства, портативные ПК с высокой плотностью монтажа и минимальными габаритами.

Использование соединений ClawConnect для трассировки сверхвысокочастотных шин

Увеличение скоростей передачи данных опережает возможности определенных тех-

нологий, формирующих среду для передачи. В частности, одним из узких мест при передаче высокочастотных сигналов через шины проводников на платах и кристаллах являются межсоединения и межслойные переходы. Их импеданс на высоких частотах выше, чем импеданс проводников. Соединения с использованием контактов, разработанных PARC, обеспечивают прохождение сверхвысокочастотных сигналов вплоть до 40 ГГц.

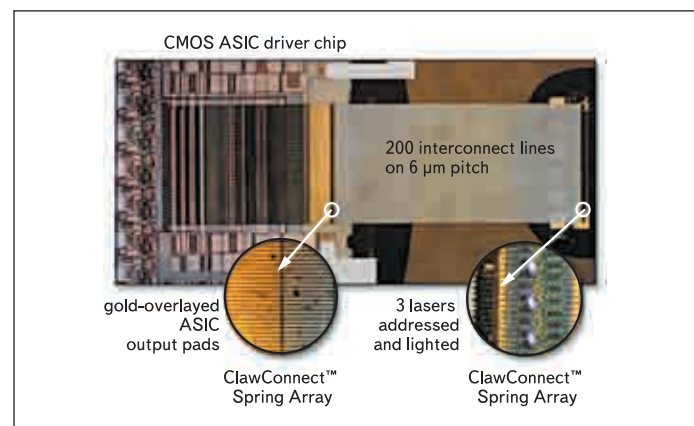
### Использование консолей StressedMetal в зондовых головках сканирующих микроскопов

Одним из эффективных применений данной технологии является использование пружинок StressedConnect в качестве кантиливера в сканирующих микроскопах AFM (атомно-силовой микроскоп). Зондовая консоль, выполненная по данной технологии, имеет размеры в три раза меньшие, чем консоль традиционной конструкции. На рис. 13 показан принцип работы консоли StressedMetal в качестве кантиливера атомного силового микроскопа.

Луч лазера проходит через прозрачную подложку, на которой сформирована консоль, и попадает на зеркальную поверхность консоли. В процессе перемещения вдоль изучаемой поверхности консоль отклоняется и отклоняет луч лазера на некоторый угол. Эти отклонения луча фиксируются фотодетектором. Информация, полученная от фотодетектора, образует массив данных для формирования в компьютере изображения микрорельефа тестируемой поверхности.

Достоинства технологии для данного приложения:

- высота кончика зонда — десятки и сотни микрон.
- бесконтактное измерение профиля образцов (неразрушающий контроль поверхностей);
- выбор различных типов зондов для различных приложений;



**Рис. 15.** Технология межсоединений ClawConnect позволяет создать площадку шириной 4 мкм с шагом 6 мкм на кристалле CMOS-драйвера с равномерной плотностью соединительных линий

- плотность размещения массива консолей может быть в 4 раза выше, чем плотность, которую обеспечивает технология производства существующих зондов;
- высокая технологичность изготовления и меньшая цена.

На рис. 14 показан ряд зондовых консолей (полоски MoSi на кварцевой подложке) с разной высотой иглы для сканирования образцов с разной высотой рельефа. Самая малая высота иглы над поверхностью на этой фотографии — 15 мкм, а самая большая — 300 мкм.



**Рис. 14.** Изображение зондов StressedMetal, полученное с помощью электронного микроскопа

Области приложения зондов StressedMetal:

- неразрушающие измерения топологии поверхностей подложек различных материалов;
- измерение высоты профилей в AFM;
- измерение электрических параметров;
- получение изображений биообъектов в жидкой среде.

### Межсоединения ClawConnect для массивов VCSEL

Новая технология StressedMetal в первую очередь нашла применение в устройствах, которые разрабатывает сама фирма PARC. Это массивы лазерных светодиодов VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser), которые предназначены для применения в лазерных сканерах и принтерах. Благодаря применению массивов соединительных контактов

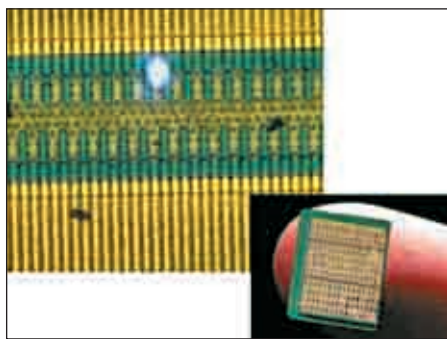


Рис. 16. Активная поверхность VCSEL-массива (яркая точка — зажжен один лазер)

ClawConnect удалось получить многокристальный оптоэлектронный модуль с очень высокой плотностью расположения выводов. На рис. 16 показан твердотельный модуль лазерной головки, состоящий из микросхемы драйвера и кристалла с массивом лазеров, которые соединены гибким шлейфом. Драйвер обеспечивает независимое управление каждым из 200 лазерных светодиодов массива, которые расположены в ряд с шагом 3 мкм. В качестве технологии соединения была использована технология ClawConnect, которая позволила создать на кристаллах контактные площадки шириной всего 4 мкм с шагом выводов 6 мкм. Пока ни одна из существующих технологий соединения не обеспечивала такую высокую плотность расположения выводов для кристаллов микросхем.



Рис. 17. Интегральная лазерная печатающая головка — комбинация на одной подложке линейки лазеров и линз

## Формирование MEMS-микроиндуктивности

На базе описываемой технологии формирования металлических механических напряженных пленок PARC разработала объемную микроиндуктивность с высокой добротностью, создаваемую простым технологическим процессом на различных подложках. На рис. 18 показаны микроиндуктивности, смонтированные на поверхности кристалла микросхемы. Подобная индуктивность может использоваться, например, в таких портативных приложениях, как сотовые телефоны, ТВ-тюнеры, беспроводные связные устройства.

Высокодобротная индуктивность с низкими потерями пока еще является тем компонентом, который трудно поддается инте-



Рис. 18. Объемная MEMS-индуктивность, сформированная на поверхности кристалла микросхемы

грации в микросхему. В свою очередь, радиочастотные микросхемы RFIC (radio-frequency integrated circuits) нуждаются в применении объемных, дорогих и сложных в изготовлении дискретных индуктивностей. К таким устройствам, в частности, относятся и генераторы, управляемые напряжением (VCO — voltage-controlled oscillator), которые используются в передатчиках сотовых телефонов.

Формирование катушки индуктивности по технологии StressedMetal обеспечивает получение витков, которые расположены не в плоскости поверхности подложки, как в обычных планарных индуктивностях, а сверху подложки. Объемные MEMS-индуктивности имеют существенно лучшую добротность, чем планарные. Технология их изготовления совместима с обычным тонкопленочным процессом и обеспечивает интеграцию высокодобротных и объемных

индуктивностей прямо в активной части микросхемы. Характеристики индуктивности не зависят от типа подложки. В частности, в качестве подложки могут использоваться как кремниевые пластины, так и пластины GaAs и SiGe. При формировании интегральной индуктивности можно получить множество отводов от разных витков, что обеспечивает управление, например, переключением частотных диапазонов устройства. Характеристики объемной индуктивности моделируются в САД. На тестовых образцах объемных индуктивностей с размером около одного миллиметра была получена добротность на уровне 70 для частоты 1 ГГц.

## Процесс авто сборки индуктивности

На рис. 19 и 20 показаны две фазы формирования индуктивности на поверхности подложки. В первой фазе на поверхности



Рис. 19. Начальная фаза сдвигания ламелей (после травли буферного слоя)

## О фирме PARC

Фирма PARC (Palo Alto Research Center, w [www.parc.xerox.com](http://www.parc.xerox.com)) является дочерним подразделением корпорации Xerox. Подразделение было создано в 1970 году как часть Xerox Research, затем, в 2002-м, оно выделилось в самостоятельную фирму и получило возможность проводить независимые разработки. Деятельность PARC с самого основания была ориентирована на разработку новых технологий в секторе лазерных принтеров, компьютерных систем распределенной обработки, Ethernet, разработки графического интерфейса пользователя и объектно-ориентированного программирования. С этой целью была собрана группа ведущих ученых и специалистов.

## Знаменательные события в жизни PARC

- 1 июля 1970 — создание фирмы
- 1971 — создание светокопировального аппарата (ксерокса)
- 1973 — разработан первый в мире лазерный принтер и первая сеть Ethernet
- 1976 — создана архитектура «клиент — сервер», персональные рабочие станции
- 1978 — двумя работниками фирмы создана первая самораспространяющаяся программа-вирус типа «червь»
- 1980 — разработана магнитооптическая дисковая система памяти
- 1982 — первая оптоволоконная компьютерная сеть
- 1986 — объем продаж ксероксов достиг 1 млрд долларов
- 1997 — для достижения более высокого разрешения в лазерных принтерах стали применяться голубые лазеры вместо инфракрасных
- 2006 — разработка схемы управления на базе поликремневой технологии для активно-матричного дисплея на гибкой металлической фольге для инфракрасного дисплея PHOLED фирмы Universal Display Corporation (заказ на разработку получен от Министерства обороны США).

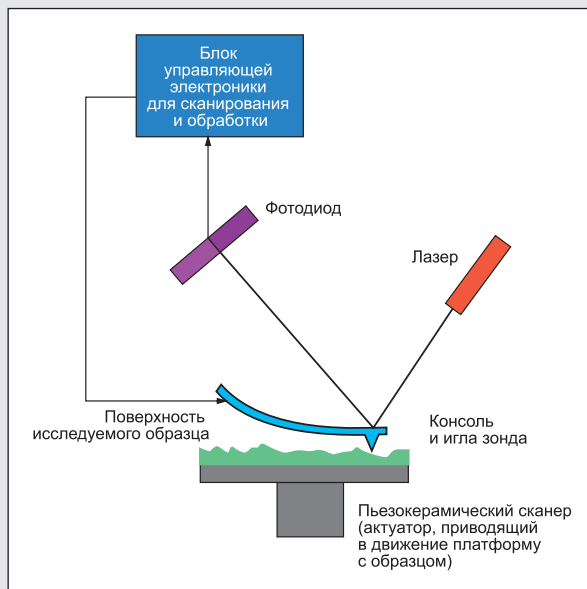
**AFM** (атомно-силовой микроскоп) был изобретен Binnig, Quate и Gerber в 1986 году и в настоящее время является одним из самых востребованных инструментов для получения изображений микрорельефов поверхностей, а также для измерения размеров объектов в нанодиапазоне. В отличие от электронного сканирующего микроскопа для его работы не требуется создавать вакуум в рабочей зоне, а также наносить на образец металлические пленки или жидкость. Поэтому он активно используется для исследования биообъектов.

AFM состоит из полоски кантильвера (или консоли) с острой иглой-зондом на конце. Кончик зонда движется вдоль исследуемой поверхности на расстоянии нескольких микрон. Зонд обычно выполнен из кремния или нитрида кремния с закругленной поверхностью кончика (радиус закругления — порядка нескольких нанометров). При движении кончика зонда над поверхностью на него действуют силы притяжения и отталкивания, которые отклоняют консоль на некоторый угол. Величина угла отклонения контролируется с помощью оптической системы (рис. 21). В зависимости от ситуации ключевое воздействие может быть обусловлено различными силами: сила механического контакта, сила Ван-дер-Ваальса, капиллярные силы, силы химических связей, электростатические силы, силы магнитного поля. Обычно для контроля отклонения применяется лазерный луч и массив фотодиодов. Определяется отклонение пятна лазерного луча. Массив значений отклонений далее обрабатывается компьютером и преобразуется в рельеф поверхности. Вместо оптики в зонде может применяться емкостной или пьезоэлектрический датчик. Для того чтобы не повредить зонд при соприкосновении с исследуемой поверхностью, в процессе движения производится контроль высоты кончика зонда над поверхностью за счет введения обратной связи. Обычно выдерживается постоянная высота положения за время всего процесса сканирования.

Атомный силовой микроскоп используют для определения микрорельефа поверхности проводящих и непроводящих веществ; для наблюдения различных дефектов структуры, локализованных на изучаемых поверхностях; для выявления границ различных блоков в кристалле, в частности доменов. Современная атомно-силовая микроскопия активно используется во всем мире для исследования как полупроводников, так и любых других материалов.

подложки формируется топология развертки индуктивности в плоскости, состоящая из фрагментов разомкнутых витков. Каждый виток будет образован смыканием двух дуго-

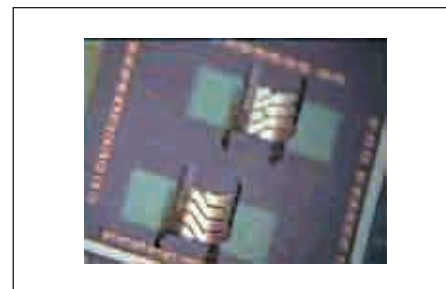
вых пластинок. Пока это еще только полоски. На поверхности, таким образом, вытравливается массив полосок, расположенных параллельно друг другу. До удаления буферной



**Рис. 21.** Принцип работы атомного сканирующего микроскопа

пленки, массив консолей, из которых далее будут сформированы витки обмотки индуктивности, располагается на поверхности подложки. Буферные слои находятся с двух разных сторон полосок. В процессе травления слоев буферной пленки концы консолей в массиве отделяются от поверхности с обеих сторон и начинают изгибаться навстречу друг другу, замыкая половинки составных витков.

Радиус изгиба подобран таким образом, что после завершения травления буферной пленки концы ламелей с обеих сторон плотно соприкасаются друг с другом, образуя омический контакт.



**Рис. 20.** Конечная стадия формирования замкнутого индуктивного контура

На рис. 20 видим готовый продукт — индуктивность, имеющую 4 витка. Можно заметить, что в процессе изготовления сборки произошла автоматически, без проведения дополнительного процесса и участия оператора! Для уменьшения сопротивления и повышения добротности можно выполнить дополнительную металлизацию витков, например слоем золота. Полученная объемная индуктивность имеет существенно лучшие характеристики, чем традиционная планарная. ■

## Литература

1. David K. F., Eugene M. Ch., Christopher L. C., Hantschel Th., Koenraad Van Schuylenbergh, Ty Jagerson, Lai Wong and Vicki Geluz. Chip on Glass Bonding Using StressedMetal Technology // SID'05 Digest.