

3D-СБОРКА. ТЕХНОЛОГИЯ КОРПУСИРОВАНИЯ. ЧАСТЬ 1

ВИКТОР ВАНЬКОВ, руководитель проектов ЦП ИС «Миландр». vankov.v@milandr.ru,

ЕКАТЕРИНА ИПАТОВА, магистр, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

В первой части цикла статей, посвященных 3D-технологии сборки, представлены конструктивные особенности компонентов и методы их подготовки для монтажа в микромодуль. Рассматривается базовая конструкция микромодулей, технологии формирования слоев адаптеров на контактных площадках кристаллов микросхем и шариковых выводов на основе припоя.

ВВЕДЕНИЕ

Технология flip-chip (FC) была разработана компанией IBM более 40 лет назад. Необходимость в ее использовании была обусловлена требованием корпусирования кристаллов микросхем с большим количеством выводов, для которых разварка проволокой уже не годилась. В настоящее время выпускаются микросхемы с более чем 10 тыс. контактных площадок; при этом размер кристалла не превышает 7×7 мм². Как правило, такие высокоинтегрированные устройства отличаются высокой производительностью и предназначены для работы в высокоскоростных вычислительных системах. Специфика применения этих изделий также накладывает требования по надежности, которое обычно оценивается количеством времени непрерывной работы микросхемы при максимальной эксплуатации. Высокие требования, предъявляемые к современным микросхемам, привели к появлению разных способов корпусирования, в т. ч. к созданию 3D-технологии с использованием широкого ряда материалов.

3D-ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ

3D-технология сборки flip-chip заключается в присоединении полупроводникового кристалла интегральной схемы (ИС) к коммутируемой плате активной стороной вниз (см. рис. 1).

Данный метод позволяет устранить ограничения, связанные со сборкой кристаллов с субмикронными топологическими размерами, автоматизировать процесс сборки, открывает новые возможности в миниатюризации полупроводниковых изделий благодаря ряду компоновочных, конструктивных особенностей, обеспечивает компактность

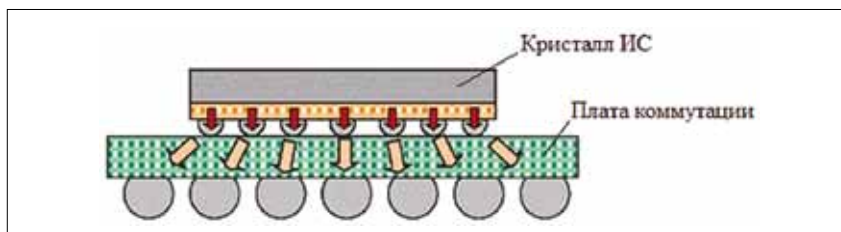


Рис. 1. Схематический вид присоединения кристалла ИС к коммутируемой плате

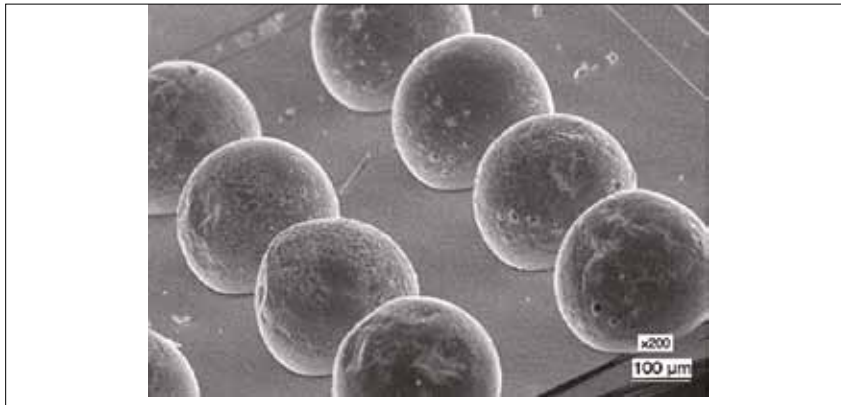


Рис. 2. Выводы на основе припоя

и улучшает электрические характеристики межсоединений.

Для проведения сборки методом FC предварительно создаются электрические выводы кристаллов ИС. Существуют три основных типа электрических выводов, которые принципиально различаются по методу монтажа: выводы на основе припоя, металлов, токопроводящих клеев.

В первой части статьи мы рассмотрим выводы на основе припоя. Выводы этого типа широко используются в сборочном производстве компании «Миландр» при изготовлении устройств разной конструктивной сложности, в т. ч. при создании 3D-модулей.

Выводы кристалла представляют собой полусферы/шарики припоя

(см. рис. 2). В зависимости от размера шариковые выводы могут формироваться гальваническим, химическим, механическим способом, а также трафаретной печатью.

Перед нанесением припоя на контактных площадках кристалла ИС формируются слои-адаптеры UBM, которые обеспечивают две главные функции – повышение надежности контакта и хорошую растекаемость припоя.

ФОРМИРОВАНИЕ СЛОЕВ UBM

Структура UBM включает адгезионный, барьерный, смачивающий и защитный слои (см. рис. 3).

Пассивирующий слой (1) необходим для защиты алюминиевой контактной площадки кристалла от коррозии

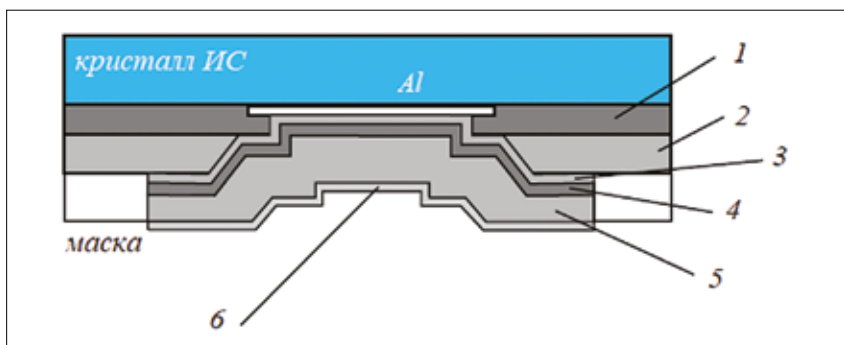


Рис. 3. Структура UBM: 1 – пассивация (SiO₂, Si₃N₄); 2 – полиимид; 3 – адгезионный слой; 4 – барьерный слой; 5 – смачивающий слой; 6 – защитный слой

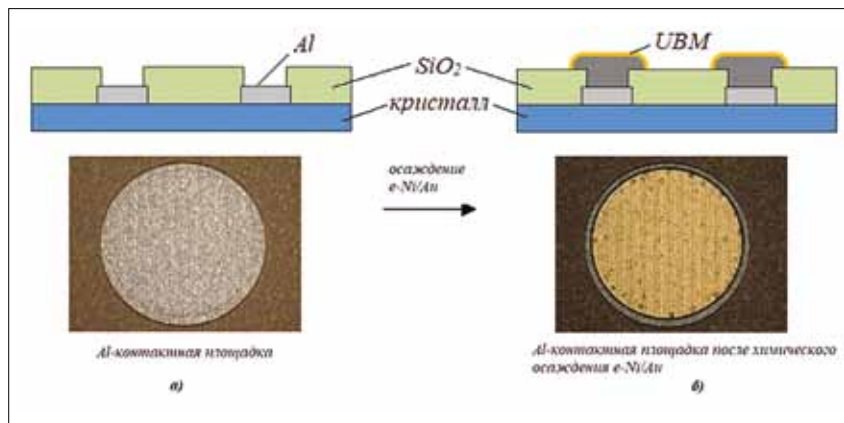


Рис. 4. Структура контактных площадок кристалла: а) до формирования UBM; б) после формирования UBM химическим осаждением e-Ni/Au

и влаги; полиимид (2) – для снятия внутренних напряжений структуры.

Для улучшения адгезии вводится адгезионный слой (3) (Cr, Ti, Ni, W, TiW). Барьерный слой (4) (Cr, W, Ti, TiW, Ni, Cr-Cu) препятствует диффузии частиц, которая может привести к формированию интерметаллических соединений и коррозии адгезионного или Al-слоев, что значительно уменьшает надежность соединений. Толщина адгезионного и барьерного слоев составляет ~0,15 мкм. Смачивающий слой необходим для создания паяного соединения с шариком припоя и традиционно представляет собой толстый слой (3–5 мкм) Cu, Pd, Ni или Pt, а для предотвращения окисления смачивающего слоя (5) наносится защитный слой (6) золота.

Слои UBM можно получить несколькими методами: термическим испарением, ионным распылением и химическим осаждением.

Широко используется химическое осаждение UBM e-Ni/Au на алюминиевые контактные площадки кристалла (см. рис. 4). Процесс химического осаждения никеля на алюминиевые контакты включает несколько этапов (см. рис. 5): очистку пластин от органических загрязнений и остаточных примесей; травление Al₂O₃; цинкование; химическое осаждение Ni (1–30 мкм); осаждение слоя Pd (по выбору); осаждение Au (100–1000 Å). На рисунке 6 показано, как выглядит кристалл с нанесенным слоем UBM.

ФОРМИРОВАНИЕ ВЫВОДОВ КРИСТАЛЛА

Шариковые выводы (см. рис. 7) не только обеспечивают электрическое соединение кристалла ИС и платы, но также влияют на механические и тепловые характеристики структуры. Например, уменьшается задержка распространения сигнала благодаря лучшей пропускной способности, и зна-

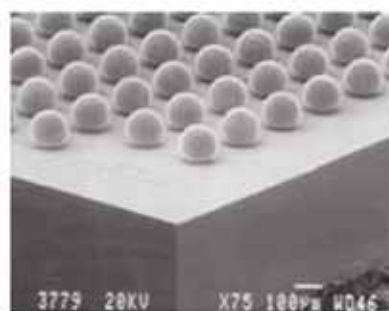


Рис. 7. Микрофотографии припойных шариков на кристалле

Таблица. Параметры материалов для шариковых выводов

Параметр	SnPb (63/37)	PbSn (95/5)	SnAgCu (38,5/1,0/0,5)	AuSn (80/20)
Жидкая фаза, °C	183	314	226	280
Твердая фаза, °C	183	308	218	280
Плотность, г/см ³	8,4	11,1	7,3	14,5
Модуль Юнга, ГПа	35	28,9	34	–
Предел прочности	30,6	27,6	30	–
Коэффициент теплопроводности, В/(м·град)	50,9	23	57	57
Коэффициент Пуассона	0,4	–	0,4	–

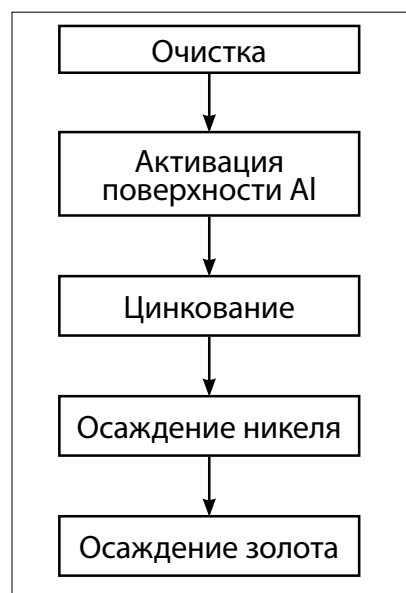


Рис. 5. Основные операции химического осаждения e-Ni/A

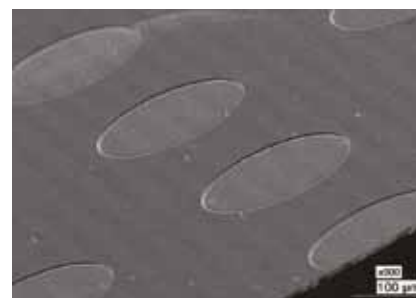


Рис. 6. Вид кристалла с нанесенным слоем UBM

чительно сокращается площадь монтажа по сравнению с пайкой проволокой.

Для формирования выводов используются следующие материалы:

1) тугоплавкие припои с $T_{пл} > 250^{\circ}\text{C}$ (95% Pb – 5% Sn; 97% Pb – 3% Sn);



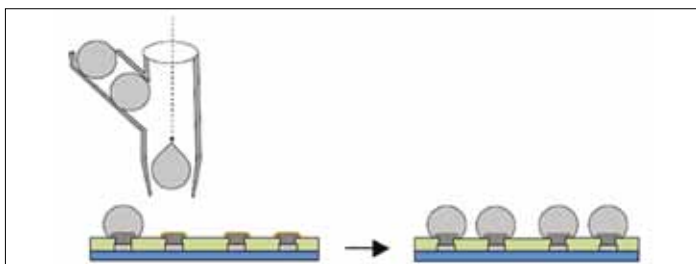


Рис. 8. Формирование шариковых выводов механическим способом

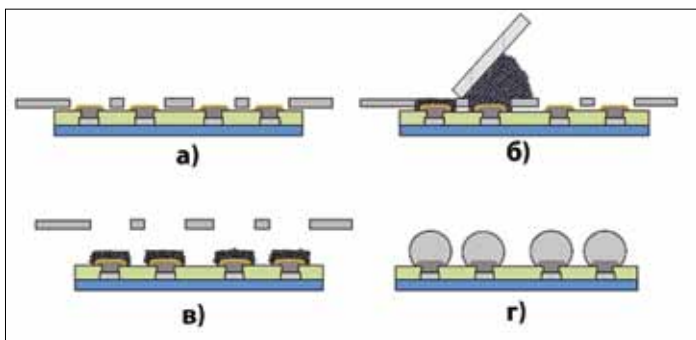


Рис. 10. Формирование шариковых выводов методом трафаретной печати: а) совмещение трафарета с подложкой; б) нанесение припойной пасты и движение ракеля; в) удаление трафарета; г) оплавление структуры

- 2) средней температуры с $200^{\circ}\text{C} < T_{\text{пл}} < 250^{\circ}\text{C}$ (95,5% Sn – 3,5% Ag – 1,0% Cu; Cu-Ag-Sb-Sn; 85,9% Sn – 3,1% Ag – 10% In – 1,0% Cu; 96,5% Sn – 3,5% Ag);
- 3) легкоплавкие припои с $T_{\text{пл}} < 200^{\circ}\text{C}$ (37% Pb – 63% Sn; 88% In – 12% Pb; 100% In; 48% Sn – 52% In).

Параметры сплавов для формирования выводов flip-chip показаны в таблице.

Формирование выводов механическим способом показано на рисунке 8. В этом случае исходным материалом служат преформы припоя (шарики с требуемым диаметром). Существуют две разновидности процесса. В первом случае лазерное оплавление шариков при-

поя осуществляется внутри рабочего инструмента; при этом, попадая на контактные площадки, шарики остаются расплавленными достаточное время, чтобы сформировать необходимые интерметаллические соединения для хорошей адгезии. Эта технология позволяет получать до 10 шариков в секунду.

Во втором случае шарики оплавляются лазером после того, как устанавливаются на контактные площадки микросхемы (см. рис. 9а–б). Затем инструмент поднимается, передвигается к следующей контактной площадке, и процесс повторяется (см. рис. 9в). Скорость создания выводов таким спо-

собом достигает 3 шариков/секунду. В обоих случаях не требуется применение флюса.

Технология получения шариков припоя методом трафаретной печати показана на рисунке 10 и заключается в следующем. На контактные площадки с предварительно сформированными слоями UBM наносится паяльная паста через металлический трафарет (как правило, из фольги). При горизонтальном перемещении ракеля по поверхности трафарета паста продавливается через отверстия, затем трафарет удаляется вместе с излишками пасты. Для формирования шариков пластина оплачивается.

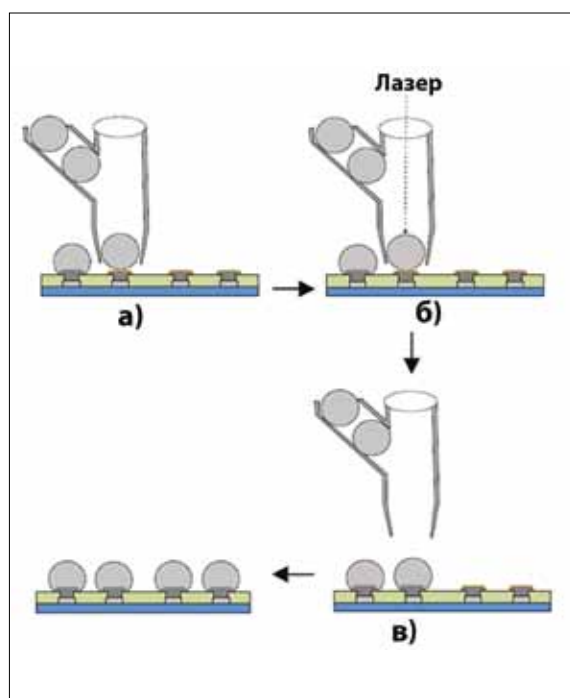


Рис. 9. Формирование шариковых выводов механическим способом