

3D-СБОРКА. ТЕХНОЛОГИЯ КОРПУСИРОВАНИЯ. ЧАСТЬ 2

ВИКТОР ВАНЬКОВ, начальник отдела разработки систем-в-корпусе, vankov.v@milandr.ru,
ДАНИИЛ-ДОМИНИК ВАСИЛЬЕВ, инженер отдела разработки систем-в-корпусе, vasilev.d@milandr.ru,
ЕКАТЕРИНА ИПАТОВА, инженер отдела разработки систем-в-корпусе, ipatova.e@milandr.ru, АО «ПКК Миландр»

В первой части цикла статей, посвященных 3D-технологии сборки, были представлены конструктивные особенности компонентов и методы их подготовки для монтажа в микромодуль [1]. В этой статье рассматривается один из основных сборочных подходов термокомпрессионного флип-чип монтажа.

Полупроводниковая промышленность непрерывно сталкивается с необходимостью создавать устройства с высокой степенью интеграции, низкой стоимостью и большим набором функций. Более 1 млрд устройств было произведено за последние 10 лет в виде систем-в-корпусе (СвК). Из них 40% – в виде 3D-сборок. На сегодняшний день такой подход создания микросхем является одной из основных технологий.

Современный рынок интегральных микросхем предъявляет к конструкции ИС все более жесткие требования. Теперь они должны быть не только высокопроизводительными и иметь минимальные габаритные размеры, но и обеспечивать при этом максимально возможную функциональность. Повсеместная миниатюризация электронных приборов не оставляет выбора разработчикам современных технологий производства ИС. На сегодняшний день для обеспечения более высокого уровня функциональности при минимальных размерах и максимальном быстродействии остается единственный путь развития конструкции ИС – 3D-интеграция.

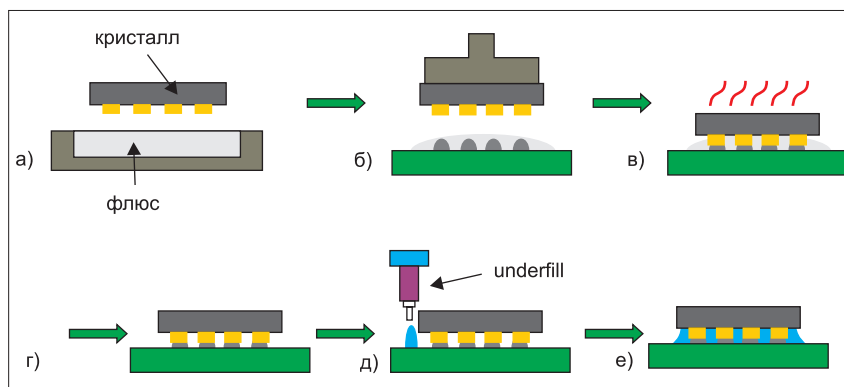


Рис. 1. Этапы традиционного flip-chip монтажа: а) погружение компонента во флюс; б) позиционирование компонента; в) оплавление в печи; г) удаление остатков флюса; д) заполнение зазора между компонентом и основанием корпуса компаундом; е) сушка

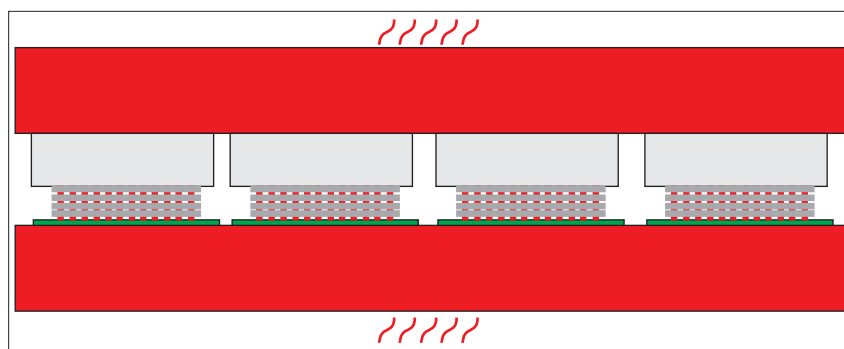


Рис. 2. Схематическое изображение процесса VCB

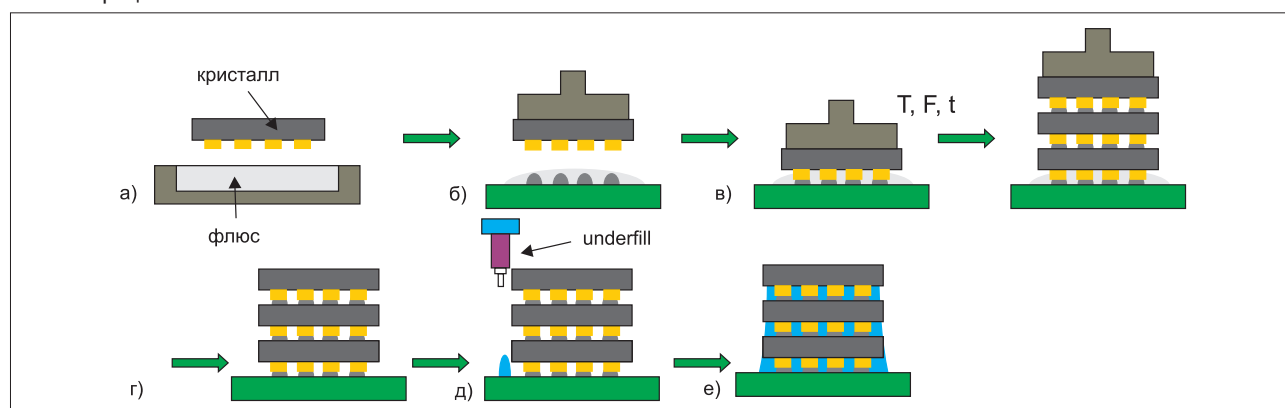


Рис. 3. Схематическое изображение 3D ТСВ-монтажа: а) погружение компонента во флюс; б) позиционирование компонента; в) оплавление; г) удаление остатков флюса; д) заполнение компаундом зазора между компонентом и основанием корпуса; е) сушка

Главным этапом производства устройств по технологии флип-чип («перевернутый кристалл») является формирование паяного соединения между компонентами для создания электрических контактов в изделии. Основные сборочные подходы можно разделить на три категории:

- традиционное оплавление (Control Collapsed Chip Connection, C4);
- термокомпрессионный монтаж (Thermal Compression Bonding, TCB);
- групповой TCB-монтаж (Vertical Collective Bonding, VCB).

Характерная особенность традиционного флип-чип монтажа заключается в том, что процесс осуществляется в печи оплавления и включает следующие этапы (см. рис. 1а–е):

- 1) захват компонента;
- 2) погружение компонента во флюс;
- 3) позиционирование компонента относительно основания корпуса;
- 4) оплавление в печи;
- 5) удаление остатков флюса;
- 6) заполнение компаундом зазора между компонентом и основанием корпуса (underfill);
- 7) сушка.

Основные достоинства традиционного flip-chip монтажа – возможность проведения процесса в инертных атмосферах, высокая производительность и низкая стоимость изготовления. Основными ограничениями являются деформация конструкции вследствие разности КТР, невозможность монтажа компонентов с выводами < 20 мкм или толщиной < 70 мкм, низкая пригодность для изготовления 3D-устройств.

Групповой TCB-монтаж представляет собой разновидность термокомпрессионного монтажа TCB, который мы рассмотрим ниже. В отличие от TCB, в процессе VCB (см. рис. 2) осуществляется одинаковый нагрев структуры с двух сторон для решения проблем, связанных с температурным градиентом между монтажным инструментом и столиком. Кроме того, в установках VCB допускается использование нескольких (до 12) монтажных инструментов, что позволяет значительно увеличить скорость монтажа.

Основные шаги термокомпрессионного монтажа TCB (см. рис. 3):

- 1) захват компонента;
- 2) погружение компонента во флюс;
- 3) позиционирование компонента относительно основания корпуса;
- 4) оплавление по температурному профилю;
- 5) удаление остатков флюса;
- 6) заполнение компаундом зазора между компонентом и основанием корпуса (underfill);
- 7) сушка.

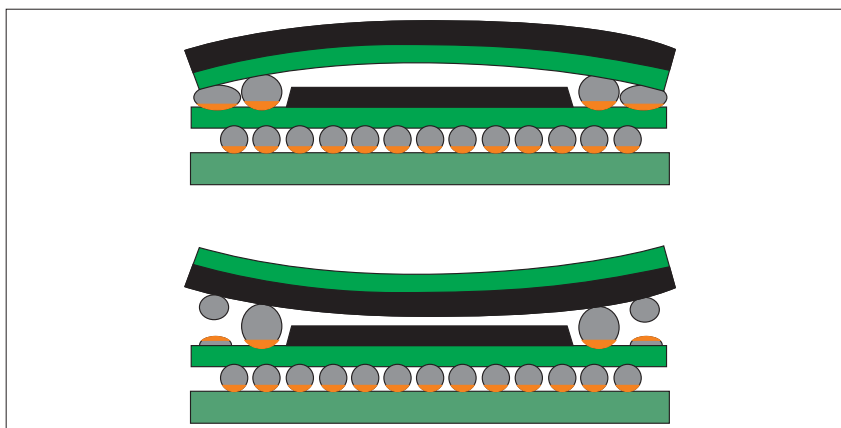


Рис. 4. Изгиб компонентов 3D-микросхем во время сборки

Таблица. Сравнение процессов монтажа C4, TCB и VCB

	C4	TCB	VCB
Достоинства	высокая производительность; низкая стоимость	высокая точность позиционирования; широкий выбор материалов; контроль геометрии конструкции за счет параметров монтажа	высокая точность, производительность
Недостатки	ограниченное количество слоев; невозможность сборки ультратонких компонентов; низкая пригодность к 3D-монтажу	низкая производительность; сложность оборудования и температурного профиля монтажа	ограниченное количество слоев (обычно менее 5); ограничения по применяемым материалам

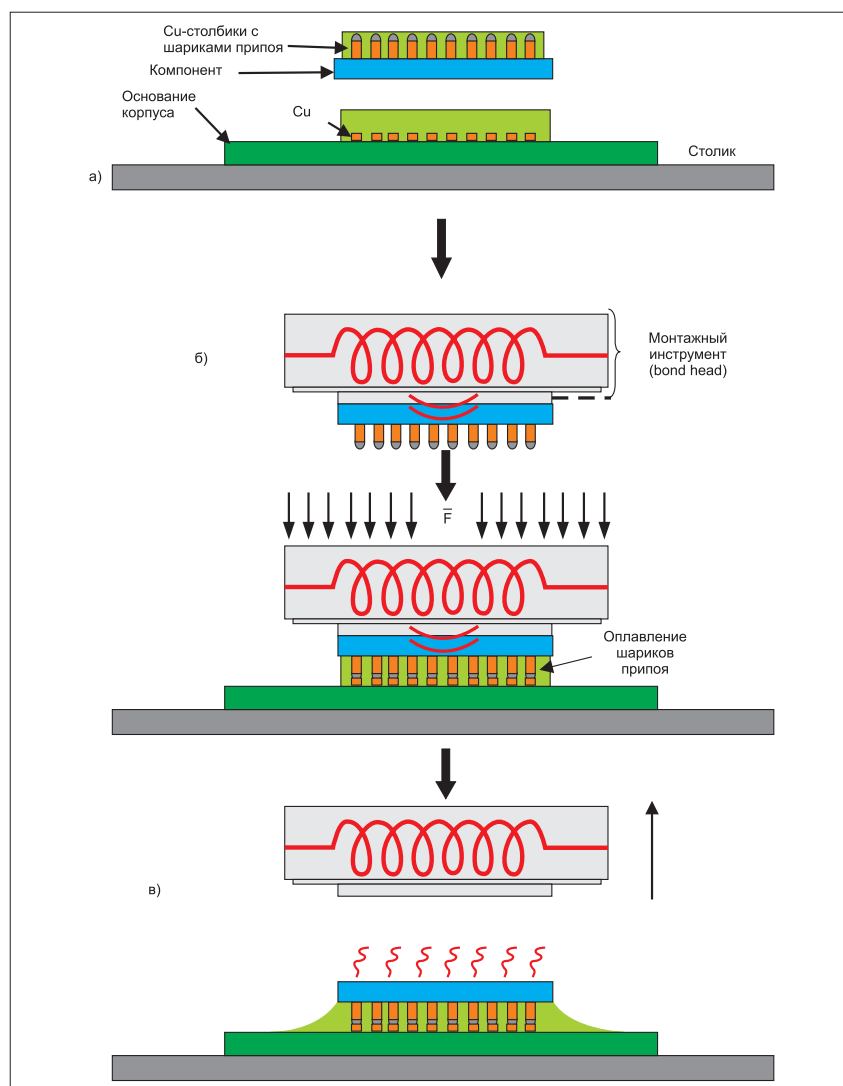


Рис. 5. Термокомпрессионный flip-chip монтаж (TCB): а) исходная структура; б) создание контакта и оплавление; в) охлаждение

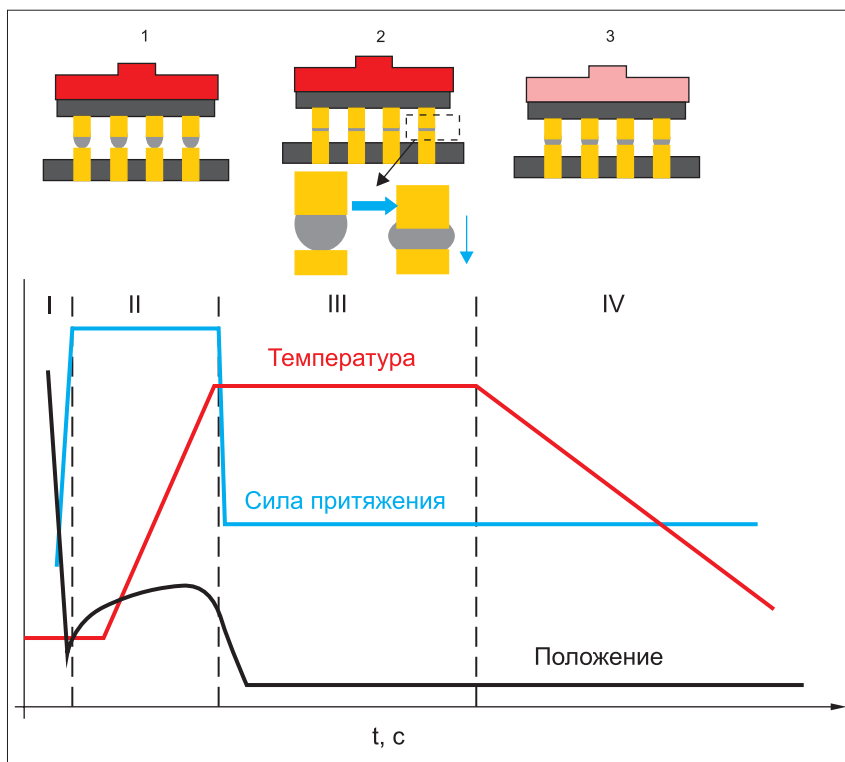


Рис. 6. Параметры ТСВ в соответствии со стадиями процесса: 1 – контакт; 2 – оплавление; 3 – охлаждение

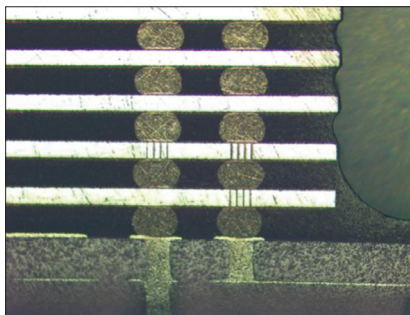


Рис. 7. Продольный разрез 3D-модуля

Главными достоинствами ТСВ по сравнению с традиционным оплавлением является возможность преодоления технических проблем, связанных с изгибом структур во время процесса (см. рис. 4), строгий контроль геометрии конструкции, проведение диффузионного монтажа, высокая точность позиционирования, а также возможность работы с ультратонкими компонентами. Основными ограничениями являются низкая производительность, сложность профиля монтажа.

В таблице приведены основные достоинства и недостатки процессов flip-chip монтажа.

Температурный профиль монтажа определяется, прежде всего, конструкцией и используемыми материалами (флюс, припой, тип Underfill). В качестве примера рассмотрим монтаж компонента, у которого в качестве выводов используются медные столбики с шари-

ками припоя (см. рис. 5а) на основании корпуса с заранее сформированным слоем Underfill.

Управление процессом ТСВ осуществляется временной зависимостью температуры, силы прижатия и положения монтажного инструмента. Рассмотрим процесс ТСВ с точки зрения данных параметров (см. рис. 6).

Профиль монтажа на рисунке 6 можно разделить на несколько участков.

Первый участок (I) – стадия предварительного нагрева. На данном этапе соединяемые компоненты находятся в контакте, происходит постепенное выравнивание температуры и активация флюса. Сила прижатия остается постоянной с одновременным ростом до максимальной для создания достаточной площади контакта.

Второй участок (II) – нагрев инструмента до температуры плавления материала и выше. Скорость роста температуры может достигать 200°C/с. На данном участке температура выбирается в зависимости от материала; обычно $T > T_{пл}$ на 30–40°C. Выбор T , как правило, обуславливается температурным градиентом.

Третий участок (III) – стадия формирования паяного соединения. Характеризуется максимальной температурой монтажа и финальным перемещением монтажного инструмента для обеспечения необходимого зазора. При достижении точки оплавления, как

видно из рисунка 6, сила прижатия монтажного инструмента резко снижается, чтобы не расплющились ставшие пластичными шарики припоя. В этот момент установка переводит монтажный инструмент из режима постоянной силы в режим контроля постоянного зазора.

Именно на данном этапе обеспечивается смачиваемость контактной площадки припоем, формируется геометрия шариков и собственно паяное соединение. При этом также необходимо добиться испарения остатков флюса, что является одним из требований к технологии устройств высокой надежности.

Четвертый участок (IV) – стадия охлаждения. Скорость охлаждения определяет остаточные внутренние напряжения в структуре.

На рисунке 7 представлен пример модуля, собранного по технологии 3D-сборки с использованием термокомпрессионного монтажа ТСВ.

Выбор оптимальных параметров термокомпрессионного flip-chip монтажа является ключевой задачей, поскольку его параметры напрямую определяют надежность и качество паяных соединений. В третьей части цикла статей, посвященных сборке устройств по 3D-технологии, будут рассмотрены практические результаты разработки и управления параметрами профиля монтажа процесса ТСВ для получения высоконадежных устройств. ▬

ЛИТЕРАТУРА

1. Виктор Ваньков, Екатерина Ипатов. 3D-сборка. Технология корпусирования. Часть 1. Электронные компоненты. 2018. № 8.
2. Lee S., Master R., Baldwin D. F. Assembly yields characterization of high I/O density, fine pitch flip chip in package using no-flow underfill. *Electronic Components and Technology Conference*. 2007.
3. Lee S., Master R., Baldwin D. F. Assembly yields characterization and failure analysis of flip chip in package using no-flow underfill. *International Wafer Level Packaging Congress*. 2007.
4. Ichikawa K. Key Technology Challenges in Computing Package and Assembly (Assembly Technology Development Japan). Intel Corporation. 2014.
5. Li Y., Goyal D. 3D Microelectronic Packaging from Fundamentals to Application. *Springer Series in Advanced Microelectronics*. 2017. Book 57.
6. Athia D. Experimental and Numerical Thermal Analysis for Advanced Flip Chip Thermo-Compression Bonding via CMOS Microsensor Arrays and Finite Element Modeling. 2017.