

# Оборудование и методы монтажа полупроводниковых кристаллов

И. Мандрик, к.т.н.<sup>1</sup>, И. Новожилов<sup>2</sup>

УДК 621.3 | ВАК 2.2.2

Монтаж кристаллов интегральных схем (ИС) является одним из ключевых этапов сборки полупроводниковых устройств (ППУ). Соединение кристалла ИС с основанием корпуса ППУ должно обеспечивать заданную механическую прочность, отвод тепла, стойкость к ударам и вибрациям. Применение специализированного оборудования для присоединения и пайки кристаллов имеет решающее значение для обеспечения производительности и качества процесса. В данной статье рассмотрено оборудование для высокоточного монтажа полупроводниковых кристаллов и предъявляемые к нему требования, а также приведена информация о различных методах монтажа кристаллов.

**В** настоящее время наиболее трудоемкими технологическими операциями при изготовлении ППУ являются процессы сборки. Около 60–70% от общей стоимости изготовления ППУ приходится на монтажно-сборочные операции. Эти затраты обоснованы, так как от качества выполнения данных операций напрямую зависит эксплуатационная надежность готовых изделий. Разработка новых способов и технологий монтажа кристаллов находится в центре внимания разработчиков ППУ. Использование таких технологий, как корпусирование ИС на уровне полупроводниковой пластины (WLP), разработка архитектур систем-в-корпусе (SiP), сборка ИС с использованием методов 2,5D-и 3D-интеграции направлены на уменьшение размеров ППУ и сокращение длины межсоединений за счет замены длинных горизонтальных связей на короткие вертикальные. Особенностью, с которой обычно сталкиваются разработчики ППУ на производствах, использующих новые технологии сборки, является широкое разнообразие характеристик оборудования и методов монтажа кристаллов.

## ТРЕБОВАНИЯ К ОБОРУДОВАНИЮ ДЛЯ МОНТАЖА КРИСТАЛЛОВ

Конструкция платформы установки имеет решающее значение для высокоточного монтажа, так как нестабильность, случайное смещение или вибрация приводят к дополнительной ошибке при установке кристалла. Параметры оборудования, влияющие на точность установки кристаллов, включают:



Рис. 1. Установка высокоточного монтажа кристаллов T18

- расположение линейных энкодеров;
- использование термостабильных материалов с соответствующими коэффициентами теплового расширения (КТР);
- наличие встроенной системы защиты от вибраций;
- современное машинное зрение;
- стабильное программное обеспечение;
- способность захвата удерживать кристалл в определенном положении относительно его центра;
- разрешение энкодера, отвечающего за вращение захвата;
- динамический и статический контроль усилия в процессе монтажа;
- надлежащая калибровка оборудования.

<sup>1</sup> ГК «Диполь», руководитель проектов, MandrikI@ dipaul.ru.

<sup>2</sup> ГК «Диполь», руководитель направления «Микроэлектроника», NovozhilovI@ dipaul.ru.



Рис. 2. Программируемый дозатор клея установки T18

Продуманная конструкция платформы начинается с выбора материалов, которые стабильны независимо от перепадов температуры и влажности. Для этого используются гранит или полимерные материалы. Рама установки проектируется с учетом КТР сопутствующих элементов оборудования для исключения относительного смещения. Манипулятор не должен быть консольной конструкции для минимизации усилия и износа, приводящих к снижению производительности.

Машинное зрение также имеет важное значение для высокоточного монтажа. Управление подсветкой кристалла, разрешение камеры и выбор оптики – ключевые параметры для анализа и обработки изображений с высокой степенью детализации. Подсветка должна обладать высокой гибкостью регулировки для достижения необходимого контраста для быстрой и качественной обработки изображений. Одним из таких решений является система из двух камер для кристалла и подложки. Использование такой системы позволяет одновременно опознавать элементы и реперные метки на кристалле и подложке для повышения точности монтажа.

Для облегчения ориентации и повышения повторяемости операций монтажа на поверхности кристаллов формируются отдельные элементы (метки совмещения), выполняющие роль маркеров. Система машинного зрения должна быстро находить и выравнять кристаллы, располагающиеся в произвольной ориентации. Однако даже сложная система машинного зрения требует оптических ориентиров для монтажа с высокой точностью.

## МЕТОДЫ МОНТАЖА КРИСТАЛЛОВ

### Монтаж на адгезив

Одним из наиболее распространенных методов создания соединения между кристаллом и корпусом ППУ является процесс монтажа с использованием адгезива. На первом

этапе наносится проводящий или непроводящий адгезив. Для этого используются различные методы (шприцевое дозирование, штемпелевание, каплеустройное нанесение и др.). На следующем этапе кристалл захватывается вакуумной монтажной головкой и устанавливается на адгезив. Затем адгезив отверждается с использованием нагрева в течение заданного времени.

*Настраиваемые параметры:*

- объем адгезива;
- рисунок нанесения адгезива;
- давление в дозаторе;
- время ожидания между операциями дозирования.

*Преимущества метода:*

- низкое прикладываемое усилие на кристалл;
- низкая термическая нагрузка на кристалл.

### Монтаж на УФ-отверждаемый адгезив

В отличие от эпоксидного адгезива, для которого требуются определенное время и температура в зависимости от его типа, УФ-клей остается в жидком состоянии до тех пор, пока не подвергнется воздействию УФ-излучения. Время отверждения при воздействии УФ-излучения составляет всего несколько секунд.

*Настраиваемые параметры:*

- объем адгезива;
- рисунок нанесения адгезива;
- давление в дозаторе;
- время ожидания между операциями дозирования.

*Преимущества метода:*

- низкое прикладываемое усилие на кристалл;
- отсутствие термической нагрузки на кристалл;
- свободно определяемое время для полимеризации;
- быстрое отверждение.



Рис. 3. Установка сортировки кристаллов S17



Рис. 4. Процесс сортировки кристаллов



Рис. 5. Установка многокристальной сборки M18

### Монтаж ультразвуком

Монтаж ультразвуком – это процесс монтажа кристалла с использованием давления и ультразвуковой вибрации (трения) для создания электропроводящего соединения между кристаллом и подложкой. Так как этот процесс можно использовать при комнатной температуре, в отличие от термозвукового монтажа, дополнительного нагрева подложки в данном случае не требуется. Компоненты, чувствительные к температуре, или компоненты, которые трудно нагреть, могут быть установлены с использованием ультразвука.

*Настраиваемые параметры:*

- усилие при склеивании;
- мощность ультразвука;
- частота;
- время применения ультразвука.

*Преимущества метода:*

- уменьшение времени монтажа;
- не требует дополнительного нагрева.

### Термокомпрессионный монтаж

В большинстве случаев данный процесс заключается в монтаже методом перевернутого кристалла с шариками (бампами) припоя на подложку. При прикладывании силы и нагреве в течение заданного времени создается электропроводящий контакт. Данная технология особенно подходит для радиочастотных и оптоэлектронных устройств. Например, в системах «кристалл-кристалл» и «кристалл-пластина». В качестве соединения используются сплавы золото-золото (Au-Au) и золото-кремний (Au-Si).

*Настраиваемые параметры:*

- усилие при склеивании;
- температура подложки;
- температура монтажной головки.

*Преимущества метода:*

- высокая прочность соединения;
- электропроводящее соединение.

### Монтаж кристалла с использованием технологии спекания (синтеринга)

В процессе спекания кристалл приклеивается к подложке с использованием пасты на основе наночастиц серебра. Это происходит под воздействием температуры (более 220 °С) и давления (в диапазоне 50–300 бар). Наночастицы серебра соединяются друг с другом за счет диффузионных процессов. Преимуществом по сравнению с обычными процессами пайки является высокая термомеханическая стабильность, которая необходима, прежде всего, в силовой электронике.



Рис. 6. Настольная установка монтажа M-10S для НИОКР

Таблица 1. Характеристики установок монтажа с точностью до ±3 мкм

Параметры	T18	T18 Plus	T18 Pro
Основные технические характеристики			
Размер кристаллов	От 0,2×0,2 до 10×10 мм; толщина ≥ 70 мкм	От 0,2×0,2 до 10×10 мм; толщина ≥ 70 мкм	От 0,2×0,2 до 10×10 мм; толщина ≥ 70 мкм
Точность монтажа (3σ), мкм	±7	±5	±3
Угловое перемещение монтажной головки	±360°, точность ±1°	±360°, точность ±0,5°	±360°, точность ±0,1°
Усилие склеивания	20–200 г, точность ±10 %	20–200 г, точность ±10 %	20–200 г, точность ±10%
Смена инструмента	Автоматическая (12 инструментов)	Автоматическая (12 инструментов)	Автоматическая (12 инструментов)
Оснащение	Программируемый дозатор клея; модуль штемпелевания; ионизатор воздуха	Программируемый дозатор клея; модуль штемпелевания; ионизатор воздуха	Программируемый дозатор клея; модуль штемпелевания; ионизатор воздуха
Производительность, кристаллов/ч	1200	1000	800
Система подачи кристаллов и подложек			
Загрузка/выгрузка	Ручная/автоматическая	Ручная/автоматическая	Ручная/автоматическая
Входная оснастка	Держатель для 6"/8"/12" рамок (wafer frame); держатель для 6"/8" палец (wafer ring); адаптер для кассет Waffle/Gel-Pak (макс. 12 шт.)	Держатель для 6"/8"/12" рамок; держатель для 6"/8" палец; адаптер для кассет Waffle/Gel-Pak (макс. 12 шт.)	Держатель для 6"/8"/12" рамок; держатель для 6"/8" палец; адаптер для кассет Waffle/Gel-Pak (макс. 12 шт.)
Выходная оснастка	Координатный стол X-Y 205×165 мм с держателем для плат	Координатный стол X-Y 205×165 мм с держателем для плат	Координатный стол X-Y 205×165 мм с держателем для плат
Характеристики системы управления			
Система машинного зрения	Точечный (point light) и кольцевой (red ring light) осветители; распознавание: <ul style="list-style-type: none"> <li>• образов кристаллов и пластин,</li> <li>• негодных кристаллов (ink point recognition),</li> <li>• данных картографирования пластины (mapping reading)</li> </ul>	Точечный и кольцевой осветители; распознавание: <ul style="list-style-type: none"> <li>• образов кристаллов и пластин,</li> <li>• негодных кристаллов,</li> <li>• данных картографирования пластины</li> </ul>	Точечный и кольцевой осветители; распознавание: <ul style="list-style-type: none"> <li>• образов кристаллов и пластин,</li> <li>• негодных кристаллов,</li> <li>• данных картографирования пластины</li> </ul>
Система управления	Встроенное программное обеспечение; язык интерфейса: английский; создание, хранение, редактирование рецептов (до 99 шт.); журнал наработки инструментов; система защитных блокировок для безопасной работы оператора	Встроенное программное обеспечение; язык интерфейса: английский; создание, хранение, редактирование рецептов (до 99 шт.); журнал наработки инструментов; система защитных блокировок для безопасной работы оператора	Встроенное программное обеспечение; язык интерфейса: английский; создание, хранение, редактирование рецептов (до 99 шт.); журнал наработки инструментов; система защитных блокировок для безопасной работы оператора

Таблица 2. Характеристики установок сортировки кристаллов

Параметры	S17	S17 Plus	S17 Pro
Основные технические характеристики			
Размер кристаллов	От 0,2×0,2 до 16×16 мм; толщина ≥ 70 мкм	От 0,2×0,2 до 16×16 мм; толщина ≥ 70 мкм	От 0,2×0,2 до 16×16 мм; толщина ≥ 70 мкм
Точность монтажа (3σ)	X, Y ≤ ±38 мкм для кристаллов ≥ 5×5 мм; X, Y ≤ ±25 мкм для кристаллов < 5×5 мм	X, Y ≤ ±38 мкм для кристаллов ≥ 5×5 мм; X, Y ≤ ±25 мкм для кристаллов < 5×5 мм	X, Y ≤ ±25 мкм для кристаллов ≥ 5×5 мм; X, Y ≤ ±15 мкм для кристаллов < 5×5 мм
Угловое перемещение монтажной головки	Без функции вращения, точность ±3°	±360°, точность ±2°	±360°, точность ±2°
Усилие склеивания	Ручная настройка, 30–200 г, точность ±10%	Автоматическая настройка, 20–100 г, точность ±10%	Автоматическая настройка, 20–100 г, точность ±10%
Оснащение	Модуль штемпелевания; ионизатор воздуха	Модуль штемпелевания; ионизатор воздуха	Модуль штемпелевания; ионизатор воздуха
Производительность, кристаллов/ч	7000	5000	1200
Система подачи кристаллов и подложек			
Загрузка/выгрузка	Ручная/автоматическая	Ручная/автоматическая	Ручная/автоматическая
Входная оснастка	Держатель для 6"/8" рамок и палец (wafer frame/ring); адаптер для кассет Waffle/Gel-Pak 2"/4"	Держатель для 6"/8"/12" рамок и палец; адаптер для 4" кассет Waffle/Gel-Pak (макс. 4 шт.); адаптер для 2" кассет Waffle/Gel-Pak (макс. 1 шт.); индивидуальная оснастка: 120×120 мм	Держатель для 6"/8"/12" рамок и палец; адаптер для 4" кассет Waffle/Gel-Pak (макс. 4 шт.); адаптер для 2" кассет Waffle/Gel-Pak (макс. 1 шт.); индивидуальная оснастка: 120×120 мм
Выходная оснастка	Держатель для 6" палеца (wafer ring); адаптер для 4" кассет Waffle/Gel-Pak (макс. 2 шт.); адаптер для 2" кассет Waffle/Gel-Pak (макс. 6 шт.)	Держатель для 6"/8" рамок и палец; адаптер для 4" кассет Waffle/Gel-Pak (макс. 2 шт.); адаптер для 2" кассет Waffle/Gel-Pak (макс. 6 шт.)	Держатель для 6"/8" рамок и палец; адаптер для 4" кассет Waffle/Gel-Pak (макс. 4 шт.); адаптер для 2" кассет Waffle/Gel-Pak (макс. 9 шт.)
Характеристики системы управления			
Система машинного зрения	Точечный (point light) и кольцевой (red ring light) осветители; распознавание: • образов кристаллов и пластин, • негодных кристаллов (ink point recognition), • данных картографирования пластины (mapping reading)	Точечный и кольцевой осветители; распознавание: • образов кристаллов и пластин, • негодных кристаллов, • данных картографирования пластины	Точечный и кольцевой осветители; распознавание: • образов кристаллов и пластин, • негодных кристаллов, • данных картографиро- вания пластины

Таблица 2. Продолжение

Параметры	S17	S17 Plus	S17 Pro
Система управления	Встроенное программное обеспечение; язык интерфейса: английский; создание, хранение, редактирование рецептов (до 99 шт.); журнал наработки инструментов; система защитных блокировок для безопасной работы оператора	Встроенное программное обеспечение; язык интерфейса: английский; создание, хранение, редактирование рецептов (до 99 шт.); журнал наработки инструментов; система защитных блокировок для безопасной работы оператора	Встроенное программное обеспечение; язык интерфейса: английский; создание, хранение, редактирование рецептов (до 99 шт.); журнал наработки инструментов; система защитных блокировок для безопасной работы оператора

Таблица 3. Характеристики установок многокристальной сборки

Параметры	M18	M18-TO
Основные технические характеристики		
Размер кристаллов	От 0,8×0,8 до 8×8 мм; опция: от 8×8 до 30×30 мм; толщина ≥ 70 мкм	От 0,2×0,2 до 5×5 мм; опция: от 5×5 до 10×10 мм; толщина ≥ 70 мкм
Точность монтажа (3σ)	±38 мкм; ±10 мкм (с нижней камерой)	±15 мкм; ±10 мкм (с нижней камерой)
Угловое перемещение монтажной головки	Точность ±3°; ±1° (с нижней камерой)	Точность ±1°
Усилие склеивания	Ручная настройка, 20–200 г, точность ±10 %	Автоматическая настройка, 20–200 г, точность ± 10%
Оснащение	Шприцевой дозатор; модуль штемпелевания; ионизатор воздуха; SMD-питатели	Шприцевой дозатор; модуль штемпелевания; ионизатор воздуха; SMD-питатели; модуль синтеринга
Производительность, кристаллов/ч	1000	600
Система подачи кристаллов и подложек		
Загрузка/выгрузка	Ручная	Ручная
Входная оснастка	Держатель для 8" рамок и пялец (wafer frame/ring); адаптер для 2" кассет Waffle/Gel-Pak (макс. 12 шт.); адаптер для 4" кассет Waffle/Gel-Pak (макс. 4 шт); оснастка под заказ: 150×220 мм	Оснастка под заказ: 220×220 мм
Выходная оснастка	Координатный стол X-Y: 150×220 мм	Координатный стол X-Y: 220×220 мм
Характеристики системы управления		
Система машинного зрения	Точечный (point light) и кольцевой (red ring light) осветители; распознавание: • образов кристаллов и пластин, • негодных кристаллов (ink point recognition), • данных картографирования пластины (mapping reading)	Точечный и кольцевой осветители; распознавание: • образов кристаллов и пластин, • негодных кристаллов, • данных картографирования пластины

Таблица 3. Продолжение

Параметры	M18	M18-TO
Система управления	Встроенное программное обеспечение; язык интерфейса: английский; создание, хранение, редактирование рецептов (до 99 шт.); журнал наработки инструментов; система защитных блокировок для безопасной работы оператора	Встроенное программное обеспечение; язык интерфейса: английский; создание, хранение, редактирование рецептов (до 99 шт.); журнал наработки инструментов; система защитных блокировок для безопасной работы оператора

Таблица 4. Характеристики настольной установки монтажа кристаллов

Параметры	M-10S
Основные технические характеристики	
Точность позиционирования (3 $\sigma$ ), мкм	$\pm 1$
Размеры компонента, мм	0,03–20
Поле зрения (мин.), мм	2×1,2
Поле зрения (макс.), мм	13,3×8
Перемещение рабочего столика по оси Z, мм	150
Рабочая область (оси X-Y), мм	120×60
Температура нагрева рабочего столика, °C	До 350
Диапазон усилия прижима, г	10–500
Антивибрационный стол	+
Система управления	Контроль процесса монтажа в режиме реального времени; система выравнивания кристаллов – камера со скользящим затвором + телецентрический объектив (MORITEX); персональный компьютер + ПЛК
Доступные технологические модули	
Модуль прижима – ручной	+
Модуль УФ-обработки	+
Модуль для эвтектической пайки	+
Модуль нагрева компонента (до 400 °C)	+
Модуль дозатора для нанесения клеев/паст	+
Модуль подключения рабочего газа (форминг-газа или азота)	+

### Сортировка кристаллов

Процесс сортировки заключается в перемещении кристаллов из одного источника кристаллов в другой носитель. Чаще всего кристаллы перемещаются из пластин (источник) в контейнер для кристаллов (waffle pack). Существует также сортировка в ленты, контейнеры с гель-пленкой (Gel-Pak) или другие носители для транспортировки кристаллов.

### Монтаж кристалла на эвтектический сплав

В данном процессе монтажа используются особые свойства отдельных материалов и их сплавов. Часто применяемый в данном методе сплав золото-олово (Au-Sn) имеет температуру плавления 280 °C, а сплав золото-кремний (Au-Si) – 363 °C.

Преимущество эвтектических сплавов в том, что их температура плавления значительно ниже, чем у ряда

других материалов. При нагревании выше эвтектической температуры образуется «жидкая фаза» и возникает соединение на атомарном уровне. Еще одним существенным преимуществом эвтектического соединения является то, что кристалл и подложка соединяются электрически и механически за один технологический этап.

*Настраиваемые параметры:*

- температура подложки;
- температура монтажной головки;
- температурный профиль пайки.

*Преимущества метода:*

- герметичность соединения;
- низкие температуры в сравнении термокомпрессионным монтажом.



С развитием передовых технологий гетерогенной интеграции требования к точности монтажа кристаллов

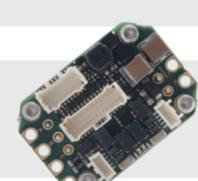
становятся все более строгими. В условиях растущего спроса на более компактную и эффективную электронику технологии сборки полупроводниковых устройств требуют особого внимания. Компания «Диполь» является экспертом в области высокоточной сборки и имеет многолетний опыт работы в области микроэлектроники. Компания «Диполь» предлагает широкий спектр инструментов и технологического оборудования для прецизионного монтажа и сортировки кристаллов (рис. 1–6, табл. 1–4), которые могут быть использованы как в научных исследованиях, так и в мелкосерийном и крупносерийном производстве. Возможно объединение нескольких типов установок в конвейерную линию, а также оснащение платформы SMD-питателями, вибрототком для подбора из россыпи, модулем синтеринга для максимальной универсальности процесса монтажа компонентов. Специалисты компании «Диполь» всегда помогут с выбором подходящего технологического решения в рамках поставленной задачи.

**ИНЕЛСО**

**ЭЛЕКТРОННЫЕ  
И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ  
КОМПОНЕНТЫ**

**МОТОРЫ  
РЕДУКТОРЫ  
ДАТЧИКИ  
КОНТРОЛЛЕРЫ  
ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ**




inelso.ru

+7 (812) 628-00-16

sales@inelso.ru



**ASSUN**  
DRIVING THE FUTURE

**Stefan Mayer Instruments**  
Fluxgate Magnetometers & more

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ  
АНДРОИДНАЯ ТЕХНИКА

**FEDAC**  
Automation Central

**micronel**  
Miniature Pin & Bowel Technology

**vishan** 唯川

**BLITZMotor**

**Preen**

**BLITZSensor**

**Xpower**  
AC/DC Power Source

**DELTA**  
ELEKTRONIKA  
DC POWER SUPPLIES

Лаборатория  
Микроприборов

**ZPP**

**InnaLabs**  
www.innalabs.com

**Elmo**  
Motion Control

**Han's Motion**

**InnaLabs**

**火丰科技**  
HWPPOWERTECHNOLOGY

**HOPO**  
— 奥浦科技 —

**Celera**  
MOTION  
A Novanta Company

**MW**  
MEAN WELL

**MicroE**  
Encoders  
Ingenia  
Servo Drives

**Zettlex**  
Inductive Encoders  
Applimotion  
Motors & Actuators