

3. Требования к выполнению работ и (или) оказанию услуг по проектированию, монтажу, наладке и техническому обслуживанию систем пожарной сигнализации, систем оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре, систем противодымной вентиляции, установок пожаротушения автоматических: утв. постановлением Совмина Респ. Беларусь от 10.04.2023 № 234. – Мн.: МЧС Респ. Беларусь, 2025. – URL: <https://rcce.mchs.gov.by> (дата обращения: 19.09.2025).

4. ТКП 316-2011. Система технического обслуживания и ремонта автоматических установок пожаротушения, систем противодымной защиты, пожарной сигнализации, систем оповещения о пожаре и управления эвакуацией. Организация и порядок проведения работ. – Введ. 01.01.2025. – Мн.: Нац. фонд ТНПА Респ. Беларусь, 2025. – URL: <http://www.tnpa.by> (дата обращения: 19.09.2025).

УДК 621.9.04

КОМПЛЕКСНАЯ АРХИТЕКТУРА УСТАНОВОК FLIP-CHIP МОНТАЖА: КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ, ПРОБЛЕМЫ ТОЧНОСТИ

Россоловский А. Ю., Щербакова Е. Н.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Аннотация. Монтаж кристаллов методом Flip-Chip является важным методом в производстве изделий микроэлектроники. В работе представлены конструктивные особенности технологического оборудования для обеспечения технологического процесса Flip-Chip монтажа.

Ключевые слова: flip-chip, монтаж кристаллов, приводная система, контактные площадки, точность.

COMPLEX ARCHITECTURE OF FLIP-CHIP ASSEMBLY SYSTEMS: DESIGN SOLUTIONS, PRECISION ISSUES

Rossolovsky A. Yu, Sherbakova E. N.

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Abstract. Flip-chip assembly is an important method in microelectronics manufacturing. This paper presents the design features of the process equipment used to support the flip-chip assembly process.

Keywords: flip-chip, crystal assembly, drive system, contact pads, manufacturing precision.

*Адрес для переписки: Щербакова Е. Н., пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: ens@tut.by*

Введение. Монтаж кристаллов с использованием Flip-Chip метода является сложным технологическим процессом и заключается в присоединении полупроводникового кристалла интегральной схемы активной стороной вниз, непосредственно на контактные площадки корпуса [1]. Соединение кристалла и корпуса происходит за счет металлических шариков (бампов) или столбиков металла (выполненных из золота или меди), проводящего полимера, а также самих металлических контактных площадок. Данный метод помогает производить интегральные микросхемы с высокой плотностью монтажа, низким сопротивлением соединений и улучшает глобальный процесс миниатюризации изделий за счет матричного расположения контактных площадок и минимальной протяженности соединений между корпусом и присоединяемым кристаллом. Реализация технологического процесса требует высокой точности и согласованности между рабочими механизмами оборудования.

Особенности технологического оборудования. Монтаж кристаллов методом Flip-Chip может производиться с использованием ручного, полуавтоматического и автоматического оборудования. В зависимости от выбранного вида инженерные установки будут иметь свои конструктивные особенности.

В случае ручного исполнения большинство операций будет выполнять оператор установки, а также

исполнение технологической машины будет самым простым. Рабочими узлами такой установки являются: корпус (где размещаются все механизмы), головка присоединения кристалла на приводной системе (минимум две координаты), место присоединения кристалла (нагревательный столик с возможностью ручного перемещения по направляющим), оптическая система совмещения кристалл-корпус, блок управления с персональным компьютером (ПК). Установки такого типа обычно выполняются в настольном варианте. В рабочем цикле оператор сам переворачивает кристалл, активной стороной вниз, используя специализированную оснастку (пинцет, вакуумный пинцет) и ориентирует его контур под инструментом головки присоединения кристалла. Далее управляя установкой, производит захват: при этом головка перемещается по минимум двум осям и вакуумным инструментом захватывает кристалл. Следующим этапом является расположение корпуса на нагревательном столике, также производится с помощью пинцета или дополнительной оснастки. После этого оператор начинает совмещать контактные площадки кристалла и корпуса за счет оптической системы: производится процесс механического выставления нагревательного столика с корпусом относительно захваченного на головке кристалла по шаблону, изображенному на экране ПК установки. Последним этапом происходит присоединение кристалла, за счет управления оператором ПК установки. Такой вид оборудования

не может решить всех проблем Flip-Chip монтажа и имеет множество недостатков. Во-первых, все зависит от размеров присоединяемых изделий. Если размеры кристаллов и корпусов будут менее $1 \text{ мм} \times 1 \text{ мм}$, то подготовка к монтажу, которую оператор производит руками приведет к большому количеству повреждений и брака. Также многое зависит от квалификации оператора и длительности рабочей смены, что также сказывается на качестве и количестве выпускаемых изделий. Однако самая большая проблема – это процесс совмещения кристалл-корпус. В зависимости от количества контактных площадок этот процесс усложняется, ведь оператор визуально на экране ПК установки определяет, насколько площадки кристалла и корпуса совпадают. При взаимодействии с количеством не более 10 площадок, данные установки могут быть хорошим решением, но со сложными изделиями работать не предоставляется возможным.

Полуавтоматические установки монтажа Flip-Chip намного превосходят исполнение ручного типа. В данном случае мы имеем согласованную систему, которая автоматизирует проблемные для человеческого фактора процессы. Рабочие узлы представляют из себя примерно тоже самое, что и в первом случае, но почти все из них дополнены приводными системами. Оператор также взаимодействует с кристаллами и корпусами с помощью технологической оснастки, однако только для загрузки и выгрузки их в установку. Все процессы перемещения производятся за счет приводных систем рабочего узла. Т. е. в данном случае оператор лишь управляет ими с помощью блока управления и ПК, перемещая в нужную точку. Координаты точек он видит на экране установки, может занести их в память, что сводит к минимуму вопрос точности переноса кристалла или корпуса под оптическую систему. Вопрос человеческой ошибки снижается, ведь механические перемещения осуществляют двигатели приводов (шаговые, серводвигатели, высокоточные линейные двигатели). А самое главное, что процесс совмещения также берет на себя программное обеспечение с небольшим участием оператора. Оптическая система с помощью технического зрения сама совмещает контактные площадки корпусов и кристаллов. Она устроена таким образом, что в момент совмещения между кристаллом и корпусом выдвигается оптическая призма, которая разделяет видеоканал системы и дает возможность видеть два изображения одновременно. Оператор видит расхождение между ними и доводит разницу с помощью приводом нагревательного столика или приводов рабочей головки установки, таким образом совмещая их в реальном времени, а не по компьютерному шаблону как в ручном варианте. Только при полном совпадении, установка дает оператору сигнал о возможности проведения процесса присоединения кристалла в корпус. Данный вид оборудования позволяет работать со всеми типами кристаллов и корпусов с большим количеством контактных площадок. Количество брака снижается,

т. к. минимизируются ошибки человеческого фактора. В данном случае неточности оператора и его действий скорее сводятся к неточностям механических перемещений двигателей и качеству оптической системы, но это несоизмеримые вещи. Недостатком данного вида установок является производительность, как и в первом случае, присоединение одного кристалла может занимать от нескольких десятков секунд до нескольких минут (в зависимости от количества контактных площадок).

Автоматические установки монтажа кристаллов Flip-Chip методом являются ведущим технологическим оборудованием в данной сфере. Данное оборудование представляет из себя массивные машины с крепким каркасом и основанием. Часто основания выполняют из толстых стальных плит или габбро-диабазы. Такой подход обусловлен минимизацией внешних воздействий на технологический процесс, гашение внешних и внутренних вибраций (от электронных блоков управления и механических перемещений мощных приводных систем). Установки имеют высокоточную приводную систему XYZF (3 координаты линейные и одна на угол поворота) рабочей головки, с погрешностью перемещений до 1 мкм по линейным координатам и до 1° по углу поворота. Также особенностью таких машин является добавлением механизмов для съема кристалла непосредственно с липкого носителя. Следующей особенностью является механизм переворота. Данный механизм позволяет автоматически переворачивать кристалл активной стороной вниз и передавать на рабочую головку. Технологический цикл можно представить следующим образом. Оператор загружает липкий носитель с кристаллами и групповую оснастку с корпусами в установку, а далее весь процесс монтажа происходит автоматически. Установка распознает каждый кристалл на липком носителе, далее происходит съем с помощью механизма подкола и механизма переворота. Механизм подкола выкалывает кристалл с липкого носителя, а механизм переворота вакуумом забирает его и переворачивает. Далее рабочая головка распознает перевернутый кристалл и снимает его с механизма переворота. Следующим этапом идет распознавание корпуса и само присоединение. Все процессы происходят за счет ПО установки. Машины оснащены техническим зрением и возможностью автоматического совмещения контактных площадок кристалл-корпус. Данный вид оборудования имеет недостатки в сложности его производства и стоимости. Все системы должны быть точно отлажены и синхронны. Только в этом случае возможен автоматический процесс монтажа кристаллов методом Flip-Chip.

Литература

1. Технологические особенности монтажа Flip-Chip / А. Ланин, И. Петухов, С. Волкенштейн // Силовая электроника. – 2010. – № 4. – С. 78–82.