

СБОРКА 3D ЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ШАРИКОВЫХ ВЫВОДОВ ПРИПОЯ И ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Фам В.Т.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Ланин В.Л. – д.т.н., профессор

Аннотация. Технологии Flip Chip позволяют соединять контактные площадки кристаллов и подложек с помощью шариков припоя. Формирование выводов для Flip Chip технологии включает в себе сложный и многоэтапный технологический процесс. Применение лазерного излучения позволяет локальный нагрев на шарике припоя, обеспечивает высокая стабильность температурно-временных режимов и отсутствие контакта с шариком припоя. Измерение высоты микровыводов, сформированных из шариков припоя размером от 80 до 1100 мкм показывают, что их высота совпадает с ожидаемой величиной, доверительный интервал которого составляет $\pm 8-15\%$ средней величины. Усилия сдвига полученных бампов из шариков припоя диаметром 80 мкм равно 0,15 гс и не сильно зависит от положения бампов на поверхности пластины.

Ключевые слова. Flip Chip технология, лазерное излучение, шарик припоя, микровыводы.

Введение. Технология Flip Chip и сопряженные с ней технологии монтажа кристаллов позволяют соединять контактные площадки кристаллов и подложек с помощью адгезионных паст, контактных бампов, медных столбиков или шариков припоя [1]. Основное преимущество технологии Flip Chip – высокая плотность монтажа и очень короткие электрические связи, поскольку вывод располагается непосредственно напротив контактных площадок кристалла и основания. Высокая плотность монтажа подразумевает малую площадь, занимаемую электронным компонентом и предельно малый шаг выводов (менее 150 мкм). Это особенно актуально в сфере портативной электроники, габаритные размеры которых напрямую зависят от применяемой компонентной базы.

Сравнение Flip Chip с технологией проволочного монтажа показывает, что возможно экономить до 30% площади [2]. Эта перспектива особенно ценна для технологий COB, многокристальных модулей и микросборок 3D интеграции, актуальных в настоящее время. Ликвидация проволочных соединений уменьшает емкостные и индуктивные потери в 10 раз, уменьшая длину связей в 25–100 раз, в результате увеличивается скорость прохождения сигнала вне кристалла. Кристалл является одновременно корпусом микросхемы и при этом достигаются отличные электрические характеристики для высокочастотных устройств

Формирование выводов для Flip Chip технологии – это сложный и многоэтапный технологический процесс. В качестве альтернативного метода соединения кристалла с контактными площадками корпуса или платы применяются столбиковые либо шариковые выводы. В данном исследовании приведены результаты экспериментального исследования процесса формирования выводов из шариков бессвинцового припоя обсуждение полученных результатов.

Основная часть. В настоящее время используется несколько направлений технологии Flip Chip. Выводы кристалла могут быть выполнены из шариков припоя, либо из смеси высокотемпературного и низкотемпературного припоев, шариков бессвинцового припоя, золотой, медной проволоки. Кроме этих методов, в технологии формирования микровыводов также используют методы, в которых применяются специальные изотропный/анизотропный адгезивы (клей), целью которых является повышения качества межсоединений [3]. По сравнению с соединениями проволокой (рисунок 1), пониженная индуктивность столбиков приводит к снижению потерь и уменьшению энергопотребления. Помимо этого, обеспечиваются хорошие условия теплообмена, ведь в случае Flip Chip идет конвективные теплообмен с внутренним пространством корпуса всего электронного устройства, а в случае обычных кор-

пусированных микросхем первая фаза теплообмена – теплообмен кристалла внутри корпуса, т.е. температура кристалла во втором случае на 20–30 градусов выше.



Рисунок 1 – Схема монтажа кристалла по Flip Chip, WB и SiP технологий

Для реализации формирования микровыводов для технологии Flip Chip необходимо не только правильно выбрать материалы, а также необходимо выбрать способы нагрева, обеспечивающие достоинства, как высокая локализация мощности в зоне нагрева, так и малые зоны термического влияния. Монтаж шариков припоя необходимо осуществляется в инертной атмосфере без использования флюса как на кремниевую пластину, так и на коммутационную плату BGA. Наиболее перспективным методом формирования микровыводов, обеспечивающим возможность решения технологической задачи, является использование лазерного нагрева. Отличительной особенностью данного процесса является локальность теплового воздействия, высокая стабильность температурно-временных режимов, гибкое регулирование подводимой тепловой энергии, отсутствие контакта с шариком припоя, высокая производительность процесса, возможность автоматизации, высокое качество и надежность сформированных соединений.

Выбор технологических режимов при формировании микровыводов лазерным излучением основывается на учете свойств обрабатываемого материала: коэффициенте поглощения и отражательной способности при данной длине волны лазерного излучения, определяющих процесс поглощения энергии; удельной теплопроводности и температуропроводности, тепловой поток в материале; плотности, удельной теплоемкости, скрытой теплоты и температуры фазового перехода, энергоемкость процесса перехода материала в жидкое состояние. При выборе режимов необходимо учитывать влияние энергетических и временных характеристик лазерного излучения.

Автоматизация процесса лазерной пайки предполагает две основные операции: подача припойного шарика в сквозной сужающийся к торцу инструмент и расплавление шарикового припоя под торцом сварочного инструмента лазерным излучением (рисунок 2) [4]. Вначале припойный шарик при помощи подающего устройства доставляет шарик на контактную площадку. После того, когда шарик находится на контактной площадке, лазерный импульс через канал в капилляре воздействует на припойный шарик, который оплавляется и изменяет свою форму.

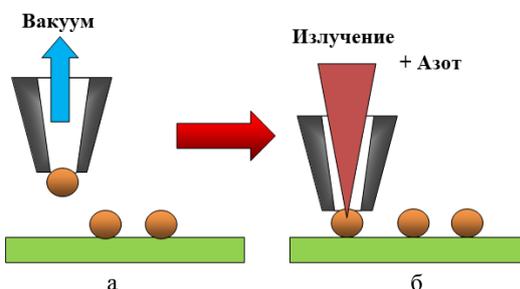


Рисунок 2 – Припойный шарик перед присоединением под торцом сварочного инструмента (а); припойный шарик в позиции присоединения (б)

Для оценки качества полученных микровыводов необходимо исследовать их усилия сдвига, которое проводилось с использованием тестера прочности. Схематическая конфигурация образца для испытания на сдвиг показана на рисунке 3. Отметим, что для проверки бампов больше размеров, расстояние от поверхности пластины будет больше того, в случае шариков 80 мкм. Протестированы десять образцов, и их значения усреднены по их средней

прочности. Поверхности полученных паяных выводов диаметром 80 и 500 мкм оценивались под микроскопом *Supereyes B008*.

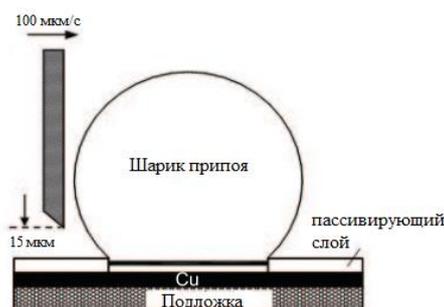


Рисунок 3 – Пример испытания на сдвиг припоя

Исследован процесс лазерного формирования шариковых выводов припоя на установке ЭМ-4452 компании «ПЛАНАР». Установка ЭМ-4452 предназначена для монтажа объемных микровыводов на поверхностях кристаллов полупроводниковой пластины диаметром до 200 мм из бессвинцового припоя методом лазерной пайки. В качестве лазерной системы использован пикосекундный Nd:YAG лазер. Импульсные режимы работы лазера позволяют получать лазерную генерацию в виде коротких импульсов длительностью от нескольких микросекунд до десятков фемтосекунд с высокой пиковой мощностью (от нескольких киловатт до сотен мегаватт) [5].

Используя рекомендации по выбору метода обработки шариков припоя, указанные выше, были сформированы 3 группы микровыводов из шариков припоя диаметром 500, 800 и 1100 мкм соответственно. В каждой группе содержалось 3 матрицы по 16 бампов, каждый из них сформирован автоматически на установке ЭМ-4452. Микровыводы имеют вид половины сферы, равномерно круглой по всем сторонам, как показано на рисунке 4.

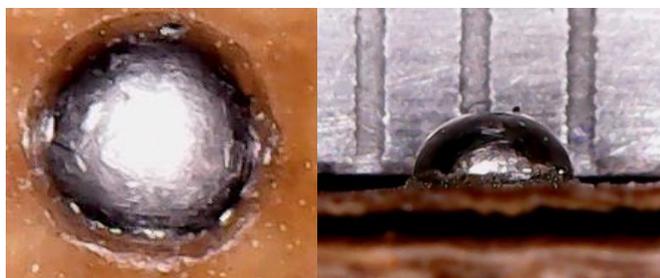


Рисунок 4 – Внешний вид микровыводов припоя диаметром 1100 мкм

В результате исследования построены зависимости высоты сформированных микровыводов от размеров шариков припоя (рисунок 5). Также выполнен статистический анализ и определен доверительный интервал для каждого типа микровывода.

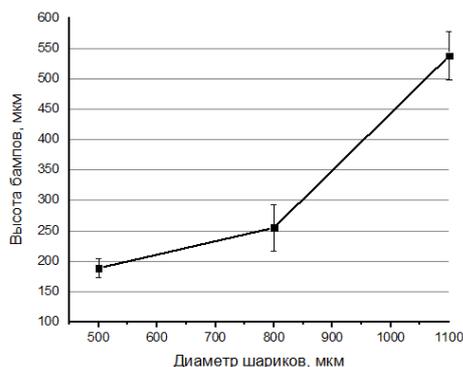


Рисунок 5 – Зависимости размеров сформированных микровыводов от диаметра шариков припоя

Хотя качество шарика припоя достигло их требованию, погрешность находится в диапазоне 8-15% средней величины. Полученное высокая среднее отклонение во многом обусловлена субъективным фактором в процессе измерения. Для устранения этих факторов рекомендуется использовать СЕМ изображение (рисунок 6) и цифровой инструмент с большей точностью.

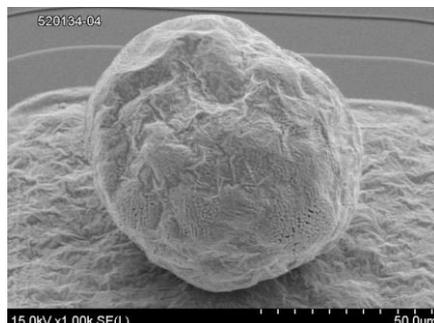


Рисунок 6 – СЕМ изображение микровыводов из шариков припоя

С помощью программного обеспечения Mark III получено изображение микровыводов, сформированного из шарика припоя диаметром 80 мкм (рисунок 7). Размеры шарика в оптимальных условиях определены с помощью профилометра, диаметр шарика 80 мкм, высота 71,7 мкм, а при промышленном режиме диаметр шарика меньше на 5–6%, которые считаются эффективнее по причине теплопереноса внутренних компонентов.

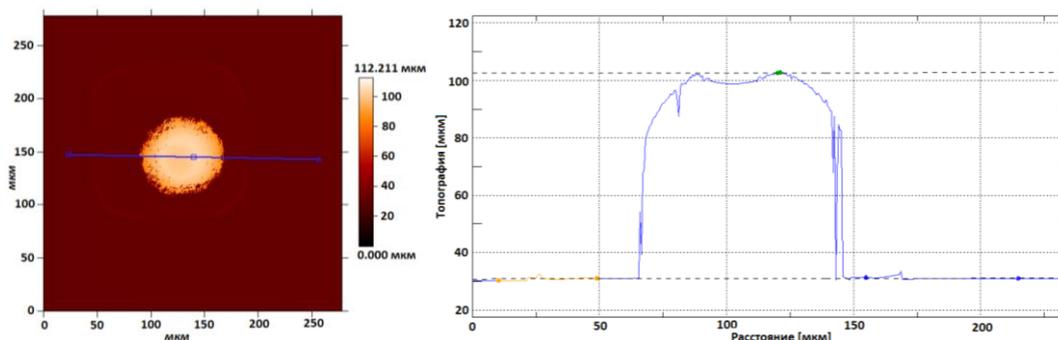


Рисунок 7 – Припойный бамп SAC, измеренный прибором MicroProf с программным обеспечением Mark III

При небольшой энергии лазера поверхность бампов припоя гладкая и блестящая, как приведены на рисунке 8, а шарик припоя выглядели темными, а поверхности были шероховатыми при большой подводимой энергии. В данном исследовании наблюдаются переломы на поверхности сформированных микровыводов [6]. Рост и направление переломы может быть вызвано свойством затвердевания припоя. Режим затвердевания шарика припоя является односторонним с поверхности шарика в его центр. При нагреве шарика лазером большой энергии температурный градиент между твердой и жидкой фазами тоже большой, замедляя процесс затвердевания шарика и дает возможность появления трещины.

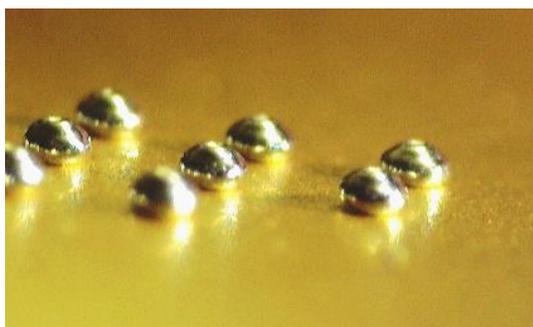


Рисунок 8 – Изображение микровыводов из шариков припоя

Для уточнения полученной зависимости усилия сдвига припойных шариков от их положений на пластине построено дополнительное исследование, результат которого приведен в таблице 1. Усилие сдвига незначительно зависит от положений шарика на поверхности пластины, кроме случая, когда шарик находится на правее пластины. Предлагается, что полученное значение в этом случае может быть связано с кристаллизацией кремниевой пластины.

Таблица 1 – Усилия сдвига припойных шариков на пластине

Группа	Расположение шарика на пластине	Усилие сдвига, гс
1	Справа на пластине	2,64
2	Низ пластины	0,113
3	Верх пластины	0,12
4	Центр пластины	0,2
5	Слева на пластине	0,22

Испытание на сдвиг припойных шариков показало, что разрыв шарика происходил на пластине, то есть существует металлургическая связь между площадкой и сформированным шариком. Считается, если шарики бессвинцового припоя и металлизация могут быть хорошо металлургически скреплены во время лазерного формирования, то прочность соединения на границе раздела выше, чем внутри паяного соединения.

Заключение. Технология Flip Chip является перспективным методом 3D сборки в производстве микроэлектроники. Микровыводы сформированы лазерным излучением и соответствуют стандарту качества для применения в технологии 3D сборки электронных модулей. Рассмотрен метод автоматизации процесса лазерной пайки и оценки полученных микровыводов, выполнено экспериментальное исследование по рассмотренному методу. Размер микровыводов из шариков припоя диаметром от 500 до 1100 мкм соответствует качеству для 3D сборки электронных модулей поскольку отклонение находится в диапазоне 5-15%.

Список литературы

1. Wong, C. L. *Low cost flip chip bumping technologies*. / C. L. Wong, J. How // *Electronic Packaging Technology Conference*. – 1997. С.8–10.
2. Lau, J.H. *Low cost Flip Chip Technologies for DCA, WLPSP and PBGA Assemblies* / J.H. Lau. N. Y.: McGraw Hill, 2000. – 585 p.
3. Редкин, Ю.Н. Часть 5. Физика атома, твёрдого тела и атомного ядра / Ю.Н. Редкин. – Курс общей физики. – Киров: ВятГГУ, 2006. – С. 57. – 152 с.
4. Петухов И.Б. Оптимизация технологических режимов лазерной пайки бессвинцовых припойных шариков в 3D структурах микроэлектроники / И.Б. Петухов [и др.] // *Электроника. Наука, Технология. Бизнес*, 2020. – № 8 (00199). – С. 144–148.
5. Громов, Л. Современные лазерные технологии / Л. Громов // *Технологии в электронной промышленности*. – 2018. – № 8. С. 32–36.
6. Фам, В.Т. Формирование шариковых микровыводов припоя с использованием лазерного излучения для Flip Chip монтажа / В.Т. Фам, И.Б. Петухов, В.Л. Ланин // *Технологии в электронной промышленности*, 2020. – № 6. – С. 56–60.

UDC 621.791.16

ASSEMBLY 3D ELECTRONIC MODULES USING SOLDER BALLS AND LASER RADIATION

Pham V.T.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Lanin V.L. – Doctor of Technical Sciences, Professor

Annotation. Flip Chip technology allows to connect the contact pads of crystals and substrates using solder balls. Formation of conclusions for Flip Chip technology includes a complex and multi-stage technological process. The use of laser radiation allows local heating on solder ball, ensures high stability of temperature and time modes and the absence of contact with the solder ball. Measurement of the height of micro bumps formed from solder balls ranging in size from 80 to 1100 microns shows that their height coincides with the expected value, the confidence interval of which is $\pm 8-15\%$ of the average value. The shear test of the obtained bumps from solder balls with a diameter of 80 μm is 0.15 gf and does not strongly depend on the position of the bumps on the plate surface.

Keywords. Flip Chip technology, laser irradiation, solder ball, micro bump