

Диагностика ультразвуковых колебательных систем в установках микросварки

Рассмотрены методики и устройства бесконтактной диагностики ультразвуковых колебательных систем в установках ультразвуковой и термозвуковой микросварки, обеспечивающие согласование преобразователя с микроинструментом в резонансном режиме работы.

Игорь Петухов

petuchov@kbtcm.by

Владимир Ланин

vlanin@bsuir.by

Введение

Прогрессирующая микроминиатюризация электронных компонентов и создание функционально-сложных микроэлектронных устройств, в частности 3D-интегральных микросхем и многокристальных модулей, выявили ряд проблем при формировании микросварных соединений. При микросварке данных изделий крайне важно обеспечить большое количество (от 100 до 1000) надежных проволочных межсоединений, учитывая разность уровней между компонентами и малые размеры контактных площадок активных структур, что обусловлено высокой степенью интеграции. При формировании микросварных соединений высокой плотности размеры контактных площадок на кристалле сокращаются до 55×55 мкм с шагом между ними 20–30 мкм. Столь малые габариты приводят к необходимости использовать проволоку соответствующего диаметра (17–25 мкм), а это предъявляет особые требования к настройке параметров ультразвуковых (УЗ) колебательных систем [1].

Уменьшение размеров контактных площадок на кристаллах интегральных схем предусматривает прецизионную работу УЗ-систем микросварки. Электрические колебания от генератора преобразуются ультразвуковым преобразователем (УЗП) в механические колебания на частоте резонанса УЗП, которые должны без потерь передаваться в зону сварки проволочных выводов. Для этого необходим точный контроль параметров УЗС микросварки и оптимальное согласование рабочего инструмента с УЗП. Сложность согласования заключается в том, что УЗП с инструментом представляет собой электромеханическую резонансную систему, параметры которой (частота и входной импеданс) могут меняться в процессе работы, например, при изменении статического усилия на УЗП. Для поддержания частоты резонанса все современные УЗ-генераторы содержат встроенную фазовую автоподстройку частоты (ФАПЧ) и устройства компенсации изменения импеданса нагрузки.

Термозвуковая микросварка методом «шариклин» в настоящее время является самым быстродей-

ствующим процессом присоединения проволочных выводов к контактным площадкам интегральных схем и обеспечивает высокую плотность соединений. До 95% изготавливаемых микросхем в мире используют золотую проволоку для формирования надежных межсоединений между кристаллом и выводной рамкой [2]. Быстрое развитие технологии сверхбольших интегральных схем и уменьшение размеров контактных площадок потребовало применения проводников диаметром менее 20 мкм и, соответственно, высокой воспроизводимости обрабатываемых шариков.

Для создания микросварных соединений высокой плотности в УЗ-системах термозвуковой сварки применяют УЗ-преобразователи повышенной частоты (с частотой резонанса более 100 кГц). Это позволяет повысить производительность за счет сокращения времени сварки, а также уменьшить температуру зоны сварки [3]. Возможность снижения температуры зоны микросварки особенно актуальна при сборке приборов на полимерных носителях, например, кредитных карт, SIM-карт и т. п. Такие УЗП характеризуются малыми амплитудами колебаний и повышенной чувствительностью к изменению нагрузки.

Важным моментом настройки УЗ-систем микросварки является корректная установка (зажим) микроинструмента в торце волновода УЗП — так называемый вылет инструмента. Необходимо, чтобы собственные частоты продольных колебаний УЗ-преобразователя и изгибных колебаний инструмента совпадали. В противном случае резонансная частота примет какое-то промежуточное значение и в месте сопряжения увеличится реакция нагрузки (за счет реактивных составляющих). Это может привести к рассогласованию преобразователя с инструментом и снижению амплитуды колебаний на рабочем торце инструмента. При сборке изделий с повышенной плотностью монтажа с шагом межсоединений 50–60 мкм используется капилляр с утонченным торцом (рис. 1) [4]. Передача УЗ-колебаний от места закрепления такого капилляра в волноводе к его торцу имеет ряд особенностей и требует специального оборудования для согласования системы «УЗ-преобразователь – капилляр».



Рис. 1. Формирование микросварных соединений высокой плотности

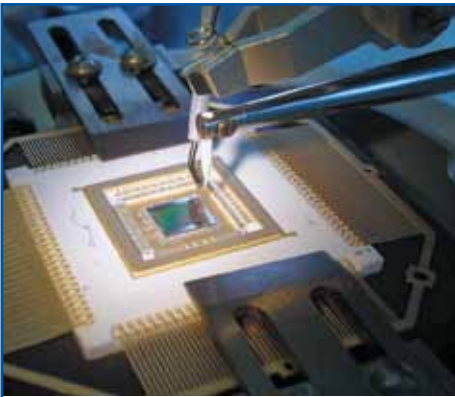


Рис. 2. Сварочный микроинструмент и электрод разрядника в установке термовзвучивающей микросварки

Рассмотрена методика бесконтактной диагностики УЗ колебательных систем установок микросварки с применением лазерных виброметров и исследованы зависимости амплитуды колебаний микроинструмента от подводимой мощности к УЗ-преобразователю при различной длине капилляра.

Измерение вибраций при настройке ультразвуковых систем микросварки

В технологической системе микросварки УЗ-преобразователь создает энергию в форме механических вибраций и приводит в действие УЗ-систему в продольном собственном режиме вибраций, который из-за асимметричного размещения инструмента микросварки (рис. 2), как правило, не совсем симметричен и имеет остаточные вибрации, перпендикулярные главному направлению разварки. Помимо собственного режима вибраций существуют дополнительные ортогональные режимы вибраций, а также собственные режимы вибраций подложки или основания контактной площадки. В связи с нелинейной динамикой процесса это может привести к появлению продольных усилий при контакте и к нарушению процесса разварки.

Существует бесконтактный метод контроля колебаний на рабочем торце инструмента, при этом инструмент находится между источником сфокусированного лазерного излучения и фотоприемником и под действием вибраций частично перекрывает лазерный луч (рис. 3).

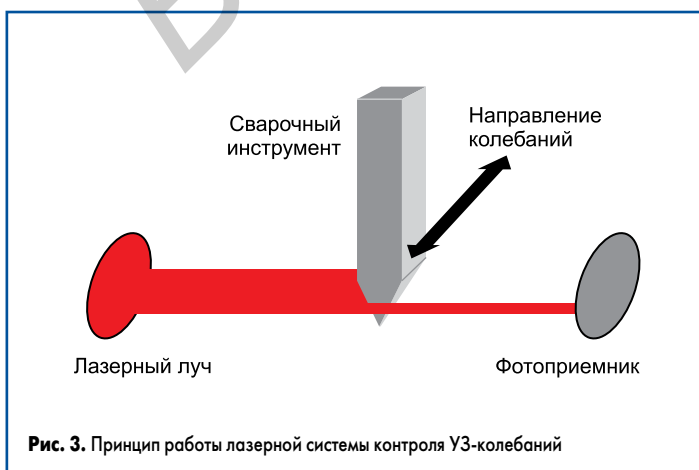


Рис. 3. Принцип работы лазерной системы контроля УЗ-колебаний



Рис. 5. Лазерный бесконтактный виброметр CLV-2534

Примером подобной системы служит измеритель перемещений модели ODS-20 F&K Physiktechnik (Германия) [3] (рис. 4), который позволяет бесконтактным методом измерить амплитуду вибраций рабочего инструмента в диапазоне 0,1–2 мкм с точностью $\pm 0,05$ мкм, а также частоту вибраций и усилие нагружения инструмента от 0 до 2 Н с точностью $\pm 0,01$ Н. Данная система доступна по цене, но требует близкого расположения инструмента относительно фотоприемника, что накладывает ограничения по габаритным параметрам диагностируемого устройства.

Для исследования распределения амплитуды капилляра применен бесконтактный лазерный виброметр на основе контроллера CLV-2534 компании Polytec (рис. 5) [6]. Данное устройство является наиболее передовым средством для бесконтактных измерений, визуализации и анализа колебаний различных ультразвуковых систем. Ядром прибора является лазерный доплеровский виброметр — высокоточный оптический датчик для определения виброскорости и амплитуды перемещения в заданной точке. Принцип работы виброметра основан на интерференции отраженного луча лазера от движущейся поверхности с опорным лучом. Результатом интерференции двух лучей является изменение интенсивности излучения, фиксируемого

фотоприемником. Это дает возможность измерения частоты колебаний от 0 Гц до 250 кГц, виброскорости от 0,1 м/с до 20 м/с и амплитуды колебаний от 0,01 до 10 мкм. К особенностям данного виброметра следует отнести видеокамеру, встроенную в сенсорную головку и позволяющую совмещать сфокусированный луч лазера с точкой измерения на мониторе. Диаметр сфокусированного пятна луча не превышает 70–80 мкм, таким образом, можно легко совмещать луч с объектами малых размеров. С помощью подобной системы не только определяют распределение колебаний вдоль оси инструмента, перемещая капилляр вертикально относительно лазерного луча, но и исследуют спектр колебаний.

Механические характеристики УЗП с резонансной частотой в диапазоне 60–120 кГц были проверены с помощью данного лазерного виброметра. Результаты измерения амплитуды механических колебаний торца капилляра, в зависимости от подводимой мощности электрических колебаний, приведены на рис. 6. Подводимая мощность по горизонтальной оси соответствует электрической мощности 4,5 Вт. Красная и синяя линии зависимостей относятся к УЗП с частотой резонанса 106 кГц при зажиме капилляра длиной 11 и 16 мм соответственно. На рис. 6 видно, что на частоте 106 кГц капилляр длиной 11 мм плохо согла-



Рис. 4. Измеритель перемещений ODS-20

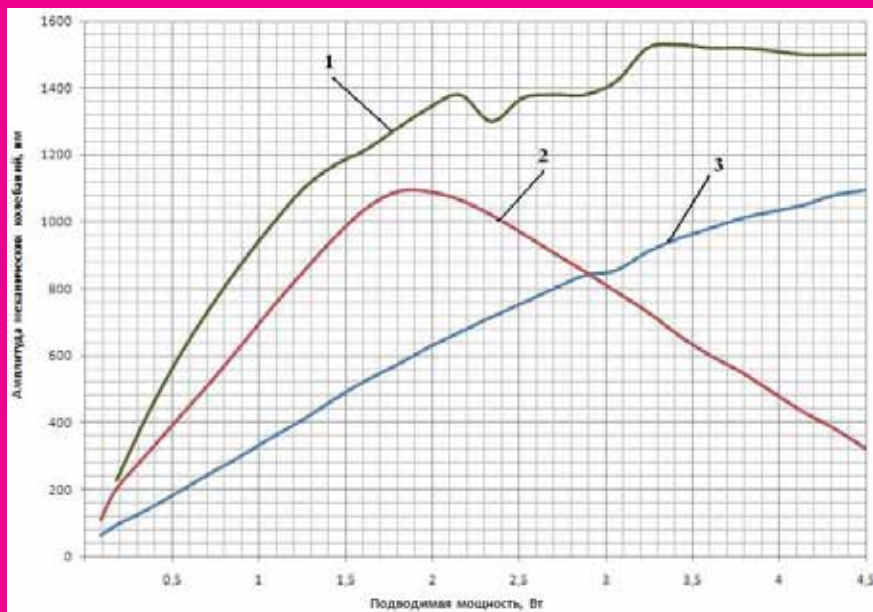


Рис. 6. Зависимости амплитуды колебаний рабочего инструмента от приложенной мощности и частоты УЗ: 1 — 60 кГц, 2 — 106 кГц, длина 11 мм; 3 — 106 кГц, длина 16 мм

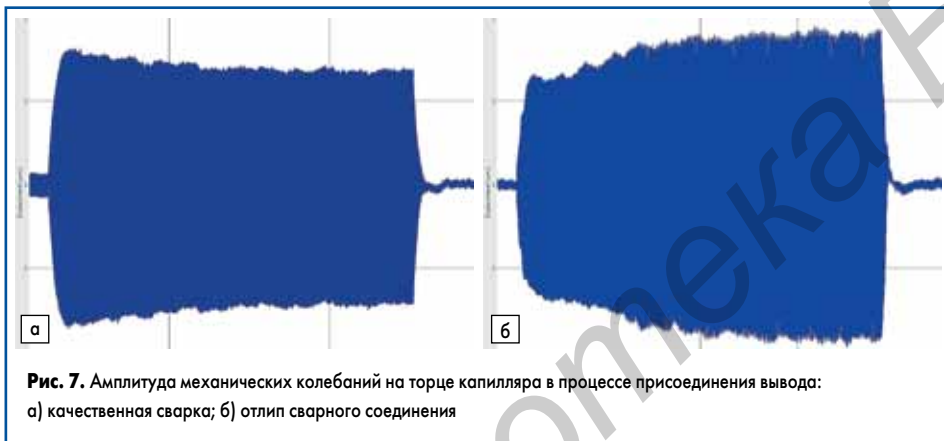


Рис. 7. Амплитуда механических колебаний на торце капилляра в процессе присоединения вывода: а) качественная сварка; б) отлип сварного соединения

суется и имеет спадающую характеристику после достижения максимума. При зажиме инструмента длиной 16 мм повышение подводимой мощности приводит к увеличению амплитуды механических колебаний. Для УЗП с частотой резонанса 60 кГц (1) характеристика близка к линейной зависимости. Данные результаты показывают, что при замене микроинструмента, а также при разработке новых УЗ-систем повышенной частоты необходима диагностика УЗ колебательной системы. Это позволяет оптимизировать конструкцию УЗП

и осуществить точную настройку всей системы на резонансный режим работы.

В процессе микросварки импеданс УЗП увеличивается, соответственно, в режиме стабилизации выходного напряжения УЗ-генератора ток через УЗП будет уменьшаться [7]. При измерении амплитуды механических колебаний УЗ-частоты во время микросварки проволочного вывода получено подтверждение связи величины протекающего электрического тока через УЗП с амплитудой механических колебаний на инструменте (рис. 7а).

Подъем амплитуды в процессе микросварки (рис. 7б) обычно свидетельствует о разупрочнении сварного соединения или срыве очагов взаимодействия свариваемых материалов, что приводит к снижению прочности соединения или его отказу.

Заключение

Для определения оптимального положения инструмента в УЗ-системе микросварки, при котором частоты резонанса без инструмента и с установленным инструментом совпадают между собой, а импеданс системы минимален, необходимо использовать лазерные методы контроля вибраций малых амплитуд. Лазерные системы виброметрии необходимы при разработке новых УЗ-систем и инструментов и позволяют оценить возможности их согласования в различных диапазонах частот. Данные системы полезны для оперативной и периодической диагностики УЗ сварочного оборудования в цеховых условиях, поскольку не требуют трудоемкой разборки сварочной головки и использования стендового оборудования.

Литература

- Ланин В. Л., Петухов И. Б. Получение соединений повышенной плотности термовзвучиваемой микросваркой в 3D интегральных микросхемах // Технологии и конструирование в электронной аппаратуре. 2014. № 2–3.
- Harmann G. G. Wire bonding in microelectronics. N. Y.: McGraw Hill, 2010.
- Ланин В. Л., Петухов И. Б. Методика расчета параметров УЗ-преобразователей повышенной частоты // Технологии и конструирование в электронной аппаратуре. 2013. № 5.
- Goh K. S., Zhong Z. W. Development of capillaries for wire bonding of low-k ultra-fine-pitch devices // Microelectronic Engineering. 2006. № 83.
- ODS-10 F&K Physiktechnik. www.fkphysiktechnik.com
- CLV-2534 Compact Laser Vibrometer. www.polytec.com
- Ланин В. Л., Петухов И. Б., Федоров Н. В. Настройка ультразвуковых колебательных систем микросварки соединений в электронике // Технологии в электронной промышленности. 2011. № 5.