

АНАЛИЗ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА И НАДЕЖНОСТИ МИКРОСВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИС

В процессе производства и эксплуатации ИС специалистам постоянно приходится сталкиваться с проблемой обеспечения качества и надежности контактов. Качество микросварных соединений в ИС зависит от самых различных факторов. Для оценки качества соединений используются различные методы контроля.

Уже на стадии оптического осмотра контактов можно распознать их некоторые потенциальные дефекты. Так, например, недостаточная степень деформации шарика или проволоки, повреждения в местах соединений, отклонения от заданного положения, слишком низкая высота проволочной перемычки, изломы или трещины в проволоке без особого труда выявляются опытными специалистами [1].

На основе заданных параметров и требований к их качеству соединений, а также в зависимости от области последующего применения ИС и условий эксплуатации можно разработать критерии визуального тестирования контактов [2]. При этом необходимо оценивать как положение и форму привариваемой проволоки, так и непосредственно само соединение.

Общепринятыми требованиями к качеству и надежности микросварных соединений ИС считаются следующие [1-3]:

- диаметр шарикового контакта должен находиться в пределах 2-6 диаметров привариваемой проволоки. Выход проволоки из контакта не должен быть на периферии раздавленного шарика или контактной площадки, а находиться как можно ближе к центру;

- изгиб клинообразного контакта должен осуществляться, по возможности, симметрично на всей длине участка деформации. Ширина первого контакта должна составлять при этом 1,5-3, а длина – 1,5-5 диаметров привариваемой проволоки. Второй контакт обычно шире и короче. Его ширина должна находиться в пределах 1,5-5 проволочных диаметров и длина – 0,5-3;

- по меньшей мере 50% занимаемой контактом площади должно находиться на контактной площадке;

- приваренная проволока не должна пересекаться ни с какими другими проволочными перемычками или контактными площадками;

- проволочные мостики не должны провисать или иметь какие-либо изгибы в разные стороны.

Однако визуальный контроль качества контактов ИС требует как больших затрат физических сил операторов, так и финансовых средств. Так как в силу очень малых размеров контактов он проводится вручную с помощью микроскопа, то этот процесс является довольно напряженным, утомительным и весьма трудоемким. Более того, если речь идет о контроле большой партии ИС, то этот метод представляется, по меньшей мере, малоэффективным. В таких случаях требуется поиск других, более реальных способов контроля качества микросварных соединений ИС. Поэтому для решения этой проблемы были разработаны специальные автоматизированные установки визуального контроля. Принцип действия такой установки заключается в том, что изображения контролируемой схемы и схемы-эталопа снимаются с помощью видеокамеры, выводятся на монитор, где они уже сравниваются и оцениваются контролирующим оператором или обрабатываются с помощью системы распознавания изображений [3]. Прибор позволяет одновременно осуществлять протоколирование и обработку полученных данных.

Однако визуальный контроль не позволяет в необходимой мере судить о качестве сцепления привариваемой проволоки с контактной площадкой. Нередко случается, хотя это внешне и незаметно, что проволока имеет плохое сцепление с металлизацией, а то и вовсе лежит на ней не прикрепленной. Такого рода дефекты выявляются уже только посредством механического тестирования микросоединений.

Испытания контактов на механическую прочность проводят обычно с помощью растяжения на отрыв, среза контакта или его отлупливания. При испытании на отрыв (*Pulltest*) маленький крючок заводится под проволочный мостик, затем с равномерным усилием и постоянной скоростью он движется вверх, натягивая при этом проволоку. Таким способом одновременно тестируются обе сварные точки, и регистрируется сила натяжения проволоки при разрыве соединения. При этом если проволока с подложкой образует угол в 30%, то сила натяжения, действующая в проволоке, равна регистрируемой результирующей силе [1, 3].

Контактное соединение может подвергаться нагрузке до его полного разрушения или до

определенного заданного предела. Однако силу, действующую на каждую отдельную точку сварки, невозможно определить при таком тестировании. При оптимально установленных параметрах процесса сварки разрыв проволочного соединения почти всегда происходит в типичных слабых местах - на переходе от деформированного участка проволоки к недеформированному. Поэтому с помощью метода растяжения на отрыв хорошо проверяются и устанавливаются оптимальные параметры сварной установки при контактировании ИС.

Испытание контактов методом растяжения на отрыв можно производить также и не для всего сразу проволочного мостика. После осторожного разрезания переключки измерение прочности на отрыв проводится уже отдельно для каждой сварной точки с помощью щипцов вместо крючка. При этом целесообразно выбирать направление натягивающей силы перпендикулярно вверх по отношению к плоскости сварки для шариковых контактов и под углом в 45° к подложке для клинообразных контактов [1].

При испытании микросварных соединений ИС на срез (*Sheartest*) с помощью маленького резца создается давление со стороны на шариковый контакт до тех пор, пока он не будет срезан. При этом сила, необходимая для полного среза контакта, измеряется и регистрируется оператором [1, 3].

Фотографии мест сварки также помогают оценить качество сварного соединения. Хорошо сваренный контакт отрывается только вместе с повреждением металлизации. Плохо сваренный контакт оставляет, наоборот, только незначительные полосы на металлизации, или они вовсе могут отсутствовать.

При тестировании контактов на срез они подвергаются большей нагрузке, чем при испытании на растяжение. Поэтому даже некоторые контакты, которые выдержали тест на отрыв, могут отказывать при испытании их прочности на срез.

Клинообразные контакты нельзя испытывать методом срезания их резцом. Их прочность контролируется тестированием на отлупливание (*Peeltest*). Для этого проволочные мостики разрезаются недалеко от места контактирования, и конец проволоки зажимается щипцами. Затем под прямым углом к контакту прикладывается усилие до тех пор, пока он не оторвется (не отлупится) или пока не порвется проволока. Максимально приложенная сила при этом регистрируется. Однако более полно оценить качество

конкретного контакта позволяет опять-таки только фотография разрушенной точки сварки [1, 3].

Испытания на растяжение, срез и на отлупливание контактов проводятся сравнительно просто, и они весьма пригодны прежде всего при текущем контроле изготовления микросоединений. Исследование же металлургических свойств контактов требует значительно больших затрат.

Интерметаллические фазы сварных контактов ИС довольно четко можно различить на фотографиях шлифов контактов. Более быстрому образованию и росту интерметаллических фаз содействует искусственное старение микроконтактов, осуществляющееся воздействием на контакты ИС дестабилизирующих факторов (ДФ), таких как повышенная температура, влажность, токовая нагрузка и др. [4, 5]. Исследования интерметаллических фаз, а также металлургии контактов при их многократном увеличении позволяет производить растровый электронный микроскоп (РЭМ).

Исследование поверхности контактов ИС в РЭМ начинается с поиска на ней повреждений и загрязнений. Затем производится их идентификация с помощью имитированного рентгеновского облучения. Последующие шаги контроля качества и надежности контактов ИС состоят в оценке некоторых параметров изготовления, обнаружении дефектов маски и металлизации, а также в целенаправленном поиске возможных диффузионных дефектов, выявлении роста «усов» на кристалле и электромиграции материала. Такие исследования проводятся, как правило, с помощью вторичных электронов и электронов обратного рассеяния и дополняются анализом некоторых других элементов. Количественное описание дефектных структур, заключающееся в измерении длины и определении ширины структуры с размерами меньше 1 мкм, а также в измерении толщины слоев или шероховатостей поверхности является следующим шагом в процессе исследования качества и надежности контактов ИС.

Во всех случаях РЭМ как неразрушающий инструмент исследования с очень хорошей четкостью изображения предлагает, пожалуй, самые лучшие возможности всеохватывающего анализа дефектов не только контактов, но и всей ИС [1-4].

Спектр приборов для механического тестирования контактов ИС разнообразен, начиная от простых установок с пружинными весами и ручным позиционированием подложки и заканчивая

полностью автоматическими тестовыми установками. Простые установки позволяют проводить часто лишь испытания на отрыв проволочного мостика. Более же сложные приборы позволяют осуществлять испытание на отрыв каждого отдельного соединения, а также испытание на срез и отлупливание контактов. Применение приборов с микропроцессорным управлением позволяет получать не только протокол измерений, но и необходимую статистику. Для стопроцентного же тестирования всех микросварных соединений ИС специалистами разработаны специальные сварочные автоматы с автономно подключаемой тестовой станцией [1].

Электрическая характеристика тестовых образцов в последнее время осуществляется все в большей мере с помощью программируемых компьютерных приборов. Для более полного и тщательного исследования свойств контактов ИС и их конструктивного анализа требуются высокие точность и разрешающая способность экспериментальных приборов, а также возможность максимальной автоматизации измерений.

Исследование свойств контактов ИС, измерения их электрических характеристик производятся чаще всего в промышленности с помощью графических самописцев, в которых измеряемые значения отображаются прямо на экране приборов. Более модифицированные экспериментальные приборы содержат в себе также внутреннюю память, так что задаваемые условия, конфигурация измерений и полученные результаты могут сохраняться на винчестере прибора [1]. Одним из таких тестирующих приборов является анализатор параметров HP 4145 В фирмы Hewlett-Packard, располагающий весьма широкими техническими возможностями при проведении измерений ИС. Он оборудован четырьмя входами SMU (Source/Measure-Units), которые могут программироваться как источник напряжения/измерение тока или как источник тока/измерение напряжения и двумя дополнительными источниками напряжения, а также двумя вольтметрами.

Разрешающая способность SMU-входов нисходит до 1 мВ (в ± 20 В – диапазоне) и, соответственно, до 1 мА (в ± 1000 мА – диапазоне). Максимальные диапазоны составляют ± 100 В и ± 10 мА. Результаты измерений выводятся на дисплее прибора в виде графика, списка или

таблицы. Внутренняя память анализатора позволяет также производить дальнейшую математическую обработку полученных экспериментальных данных. Можно осуществить программирование анализатора параметров. Расчетные программы и результаты испытаний могут быть записаны на различные носители. Имеется также дополнительная возможность оценки и обработки полученных данных на компьютере, связанного с прибором *HP-IB-шиной*. Компьютер позволяет обработать данные и построить графические зависимости.

Таким образом, в настоящее время в промышленности имеются вполне достаточные возможности контроля качества и надежности микросварных контактов ИС. Проблема же обеспечения надежности работы сварных соединений по-прежнему остается актуальной и требует проведения дополнительных исследований в этой области.

Литература

1. *Schumicki, G., Seegebrecht, P.*: Prozeßtechnologie. Fertigungsverfahren für integrierte MOS-Schaltungen. Reihe Mikroelektronik Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, 1991.
2. *K. Oyama*: Overview of Placement and Bonding Technology for 1005 Components and 0,3 mm-Pitch LSIs: An Equipment Perspective in: J. Vardaman (ed) Surface Mount Technology – Recent Japanese Developments. IEEE Press, New York 1992, S. 77-108.
3. *Laskey, Wildenberger*: Pattern Recognition Techniques for Automatic Evaluation of Hybrid Microcircuits. Electronic Packaging and Production, 2 (1992), S. 129-146.
4. *В.П. Бруцкий-Стемковский*. Металлические контактные системы в микросварных соединениях ИС и их свойства. // Известия Белорусской инженерной академии №1(7) / 2, 1999 г. – С. 189-191.
5. *В.П. Бруцкий-Стемковский, В.Ф. Алексеев, В.И. Журавлев* Анализ методов испытаний устойчивости контактов ИС к воздействию дестабилизирующих факторов. // Радиотехника и электроника: республиканский межведомственный сборник научных трудов. – Мн.: БГУИР, 1999 г. – Вып. 24. – С. 180-183.