

# Контроль качества микросварных соединений

**Выбор эффективных методов контроля качества микросварных соединений в изделиях микроэлектроники важен при отработке технологии их изготовления и оценке надежности.**

**Владимир Ланин  
Игорь Петухов  
Николай Передков**

Для изделий микроэлектроники одним из наиболее важных вопросов является обеспечение высокого качества и надежности проволочного монтажа, так как в настоящее время 35–60% всех отказов изделий связано с низким качеством присоединения внутренних выводов. Методы контроля качества соединений подразделяются на два основных вида:

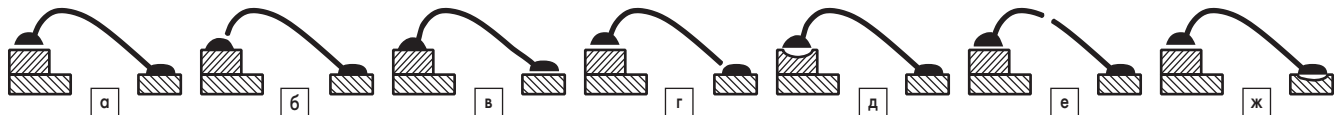
- с разрушением, выполняемые в процессе отработки технологических режимов или при периодических испытаниях;
- без разрушения при испытании самих соединений и готовых приборов.

К первому виду относятся механические испытания соединений на сдвиг и отрыв, микроскопические исследования на шлифах с применением обычных металлографических или электронных микроскопов, химический анализ. Ко второму — визуальный осмотр соединений и готовых приборов, оценка качества соединений с помощью щупов, рентгеноскопия, тепловой контроль с помощью инфракрасных микроскопов, измерение электрических характеристик приборов [1].

При анализе сформированных внутренних соединений выборочный или 100%-ный контроль проводят по следующим параметрам [2]:

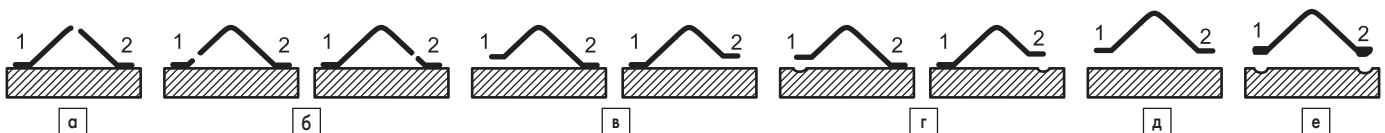
- наличие и общее количество петель на контактных площадках;
- расположение, высота и форма петли;
- наклон и изгиб проволочной петли;
- расположение соединений на контактной площадке;
- длина «хвостов» проволочного соединения;
- степень деформации соединения;
- симметрия деформации соединения (для сварки клин-клин).

При проверке прочности присоединения проволоки или ленты разрушающим методом тянущим усилием зацепленным крючком производится подвод крючка к испытываемому выводу так, что он находится параллельно плоскости вывода и затем поворачивается перпендикулярно, обеспечивая зацепление вывода. Затем при выполнении тестирования производится подъем крючка в вертикальном направлении вверх (по оси Z) на регулируемой скорости. Сила тянущего усилия контролируется тензометрическим датчиком, закрепленным на консольном держателе крючка. Сигнал тензометрического датчика обрабатывается контроллером и выводится на дисплей (монитор) в цифровом и графическом виде. Типичные дефекты проволочных микросоединений типа шарик-клин и клин-клин приведены на рис. 1–2 [3].



**Рис. 1.** Типичные дефекты проволочных соединений шарик-клин на разноуровневых контактных площадках:

- а) отрыв шарика; б) разлом у шейки соединения; в) отрыв клиновое соединения; г) разрыв клиновое соединения; д) отрыв шарикового соединения вместе с площадкой; е) разрыв проволоки; ж) отрыв клиновое соединения вместе с площадкой



**Рис. 2.** Типичные дефекты проволочных соединений клин-клин:

- а) разрыв проволоки; б) отрыв клиновое соединения у шейки слева или справа; в) отрыв клиновое соединения слева или справа; г) отрыв соединения с площадкой слева или справа; д) полный отрыв соединения вместе от площадки; е) полный отрыв соединения вместе с площадкой

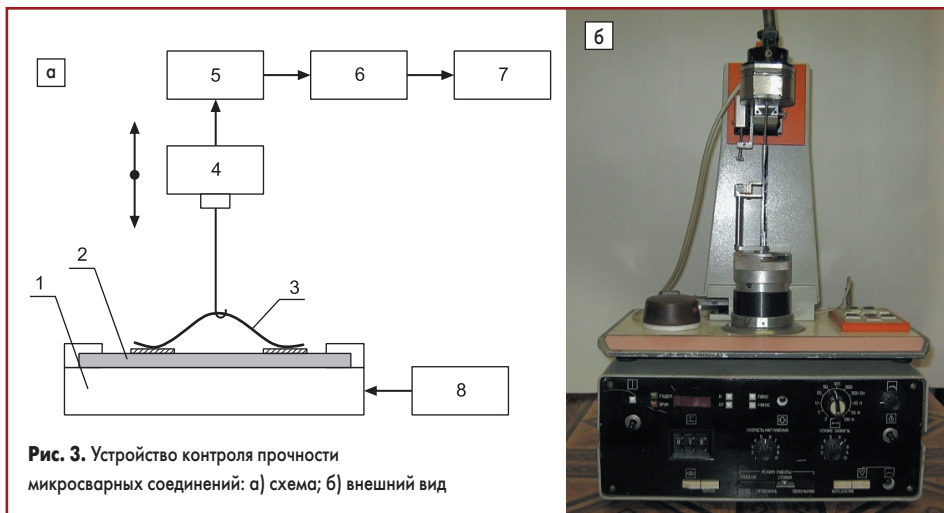


Рис. 3. Устройство контроля прочности микросварных соединений: а) схема; б) внешний вид

При контроле прочности микросоединений статическими и динамическими испытаниями необходимо учитывать расположение контактных площадок на разных уровнях. При испытаниях на растяжение важную роль играет угол отрыва проволочной перемычки, так как при малых углах измеренная прочность сварного соединения оказывается в несколько раз меньше действительной величины.

В производстве широко используется способ контроля прочности микросоединений между кристаллом и корпусом натяжением с усилием, меньшим, чем разрывное усилие (примерно 50% разрывного усилия), крючком проволочной перемычки. При этом для 100%-ного контроля испытание должно быть неразрушающим. Возникает необходимость определить взаимосвязь между приложенным к перемычке усилием и действительным значением прочности сварного соединения в зависимости от механических свойств материала, геометрической формы и размеров перемычки.

Для оценки качества свариваемости функциональных покрытий по критерию механической прочности микросварных соединений существует множество устройств или механических тестеров, с автоматизированным перемещением крючка, преобразованием механического усилия в электрический сигнал и далее в цифровую форму с выводом информации на индикаторное устройство с погрешностью измерений не более  $\pm 1,5\%$ . На рис. 3 показано простое устройство, которое включает столик (1), на котором закрепляется образец тестируемой платы (2) с проволочными выводами. Проволочный вывод (3) с помощью крючка натягивается при его вертикальном перемещении относительно платы (2). Жазим крючка присоединяется к датчику (4).

Сигнал с датчика преобразуется в цифровую форму с помощью АЦП (5), с выхода которого подается на вход измерительного устройства (6) и далее на цифровой индикатор (7). С помощью манипулятора (8) перемещают столик (1) относительно крючка. Устройство обеспечивает контроль прочности микросоединений, выполненных по гальваническим покрытиям, в диапазонах 0,05–10; 0,1–20 и 0,2–50 сН.

Для проверки качества соединений после операции ультразвуковой микросварки методом подъема крючком или сдвига лезвием

(Pull-test и Shear-test) используют специальную головку для тестирования прочности сварных соединений [4]. Тестовая головка модели 5600С оснащена цветной ПЗС-камерой и приводом поворота крючка, аналогично сварочным головкам, и позволяет проводить тестирование в ручном, полуавтоматическом и в полностью автоматическом режимах. Тестирование можно проводить как разрушающим, так и неразрушающим методом, что дает возможность производителям электроники проводить достоверный неразрушающий 100%-ный тест соединений перед операцией герметизации приборов.

При перепаде высот между поверхностями кристалла и подложки (траверсы корпуса) крючок должен быть смещен в сторону точки, находящейся на более высокой поверхности. Углы приложения силы в этом случае выравниваются и усилие, прикладываемое к обоим точкам сварки, получается одинаковым.

В отличие от тестирования крючком тест на сдвиг дает более полезную информацию при проведении неразрушающего контроля с калиброванным усилием, поскольку его значение гораздо ближе к разрушающему порогу. Важно то, что неразрушающий тест на сдвиг не изменяет форму петли, в отличие от неразрушающего теста на подъем крючком, после которого петля оказывается деформированной, а остаточная прочность соединения уменьшается на 10–20%.

Установка контроля прочности KS-501E фирмы Attonic Corporation (Япония) имеет ско-



Рис. 5. Установка тестирования микросоединений DAGE 4000 Plus



Рис. 4. Установка контроля прочности микросварных соединений KS-501E

рость нагружения 5–200 мм/мин, максимальную нагрузку до 500 Н (рис. 4), что расширяет возможности механического контроля.

Популярная у производителей электроники установка тестирования микросоединений DAGE 4000 Plus компании Nordson Dage [5] (рис. 5) позволяет проводить измерения и тестовые испытания проволочных соединений при монтаже интегральных микросхем и многокристалльных модулей и отличается следующими особенностями:

- проведение специальных типов испытаний технологических материалов: на изгиб, усталостную выносливость, ползучесть и срез;
- возможность установки четырех различных типов цифровых, управляемых посредством интегрированного программного обеспечения камер контроля проведения испытаний;
- возможность установки многофункциональных испытательных картриджей, позволяющих проводить испытания сварных соединений на отрыв и на сдвиг с максимальной нагрузкой до 10 и 20 кг соответственно;
- повышенная точность обратного хода рабочего инструмента испытаний на сдвиг до  $\pm 1$  мкм при перемещении вертикальной оси свыше 2 мм.

DAGE 4000 Plus обеспечивает повторяемость и воспроизводимость результатов с абсолютной точностью  $\pm 0,1\%$  от номинальной нагрузки. Система 4000 Plus откалибрована в соответствии с международными стандартами, что обеспечивает полное единство измерений и достоверность при испытании продукта.

Установка ЭМ-6705 ОАО «Планар-СО» (рис. 6) предназначена для контроля прочности проволочных перемычек в изделиях электронной техники, а также контроля прочности на сдвиг объемных выводов и определения относительного удлинения проволоки. Перемещение тестируемых приборов и приложение рабочих нагрузок выполняется трехкоординатным приводом на шаговых двигателях. Это обеспечивает точность позиционирования испытываемого прибора, возможность дозирования нагрузки и повторяемость выполнения однотипных тестов.



Рис. 6. Установка контроля прочности проволочных и объемных выводов в интегральных схемах ЭМ-6705



Рис. 9. Диаграмма разрыва вывода при тесте прочности крючком

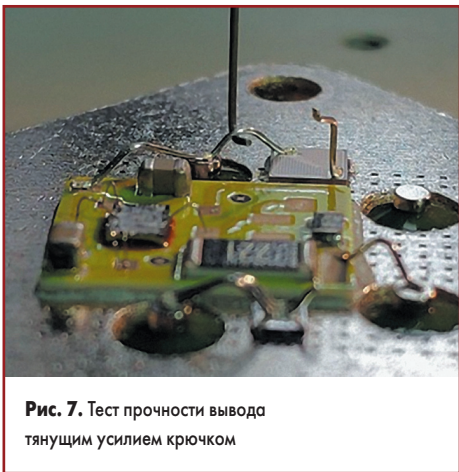


Рис. 7. Тест прочности вывода тянущим усилием крючком

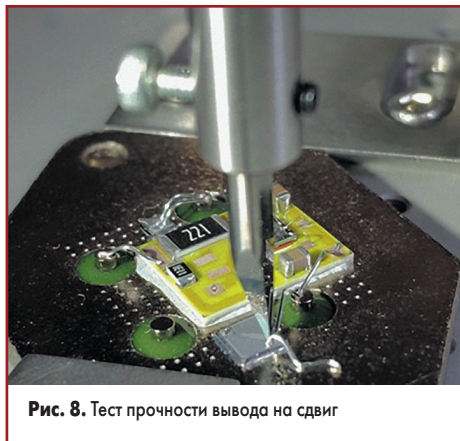


Рис. 8. Тест прочности вывода на сдвиг

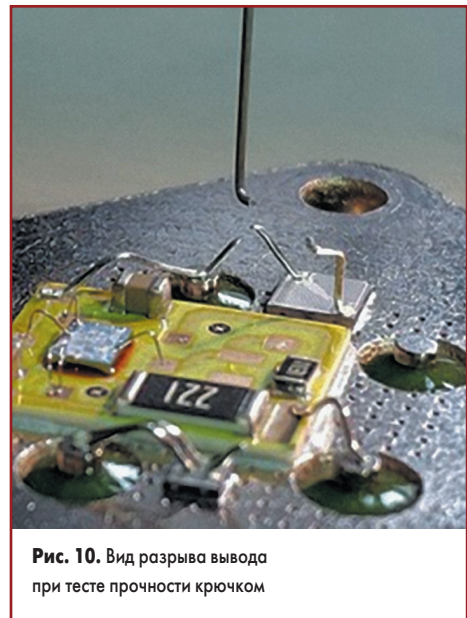


Рис. 10. Вид разрыва вывода при тесте прочности крючком

Установка ЭМ-6705 выполняет в полуавтоматическом режиме тесты трех видов: прочности проволочных выводов, когда проволочный вывод прибора зацепляют инструментом-крючком и перемещают стол с образ-

цом вниз до разрыва, а измеритель фиксирует усилие при разрыве проволоки (рис. 7); прочности объемных выводов и сварной точки на сдвиг (рис. 8). При этом тестировании инструмент-лопатка подводится к объемному выводу прибора до касания. Последующее

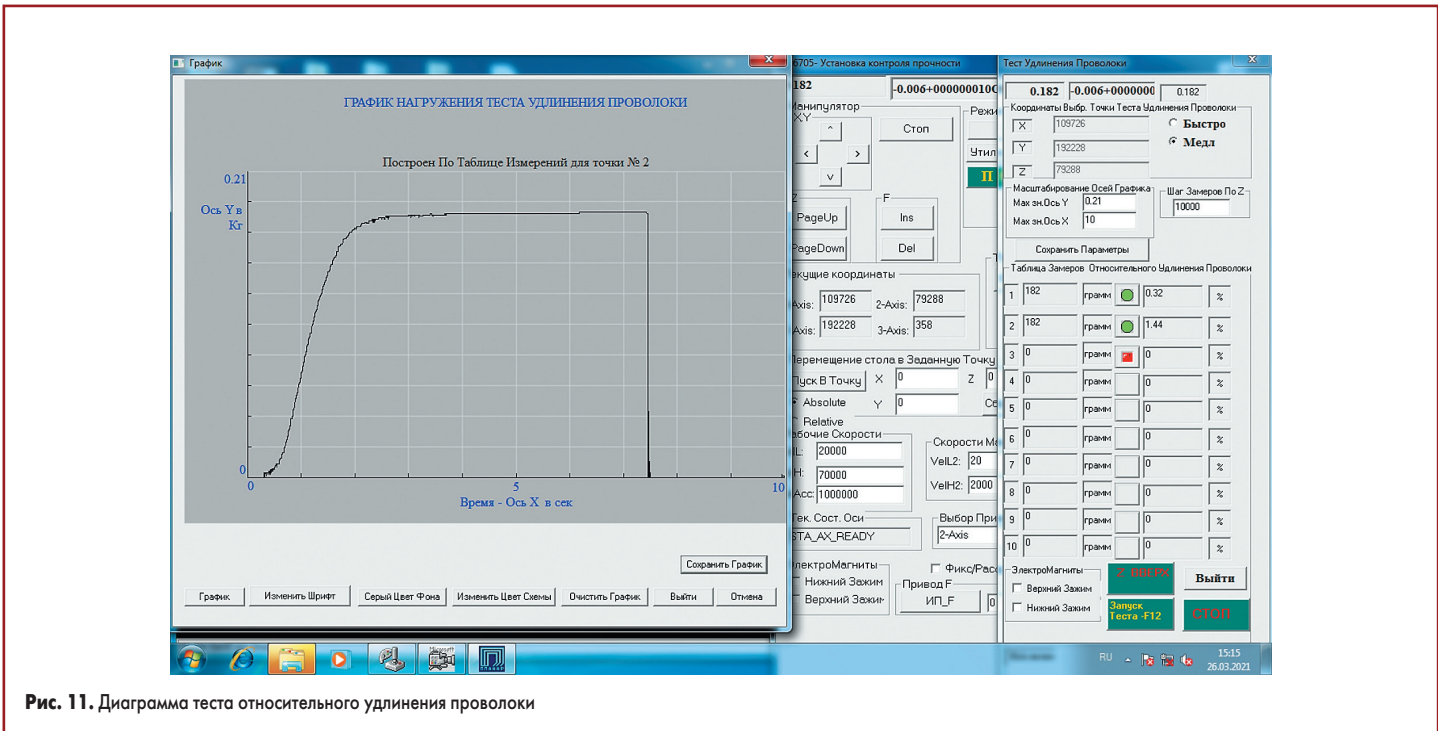


Рис. 11. Диаграмма теста относительного удлинения проволоки

движение столика с прибором по координатам X–Y нагружает рабочий инструмент, который передает информацию о нагрузке на измеритель. При отрыве/срезе объемного вывода информация о максимальном усилии фиксируется, и выводится графическая информация на монитор, аналогично испытанию при тесте вывода тянущим усилием крючком. При выполнении теста относительного удлинения проволоки мерный отрезок проволоки зажимается с помощью двух электромеханических зажимов. Тестирование позволяет определить усилие при разрыве проволоки и величину ее удлинения. Результаты теста также фиксируются в памяти и выводятся в графическом виде на монитор установки.

Диапазоны усилий установки ЭМ-6705: 1–5–500 г, 2–1–10 кг. Перемещение по координатам X–Y — 50×50 мм. По оси Z скорость теста программируется до 5 мм/с. Интерфейс передачи данных — RS-232, USB.

Для оценки качества контактных соединений в силовых модулях, выполненных Al-проволокой диаметром 300 мкм, проведены pull-тесты на прочность на установке ЭМ-6705. Диаграмма прочности показывает усилие разрыва 0,4 кг (рис. 9). Проволочные выводы разрушаются посередине (рис. 10). Прочность вывода зависит от длины перемычки и от степени ее прочности.

Тест относительного удлинения алюминиевой проволоки диаметром 150 мкм представлен на рис. 11. Точка перегиба растягивающего усилия составляет 180 г, что соответствует справочным данным пределу

прочности алюминиевой проволоки 95 Н/м<sup>2</sup>. Относительное удлинение проволоки составило при тесте 1,44%.

Таким образом, установка ЭМ-6705 позволяет производить основные тесты для контроля качества проволочного монтажа при сборке изделий электронной техники, а именно прочности проволочных выводов, прочности объемных выводов и сварной точки на сдвиг. ■■■

### Литература

1. Балашов Ю. С., Зенин В. В., Сегал Ю. Е. Сборочные операции и их контроль в микроэлектронике. Воронеж, ВГТУ, 1999.
2. Фархад Ф., Зельдмаер Й. Нулевая дефектность: цель и средства // Технологии в электронной промышленности. 2006. № 2.
3. Зенин В. В., Емельянов В. А., Ланин В. Л. Монтаж кристаллов и внутренних выводов в производстве полупроводниковых изделий. Минск, Интегралполиграф, 2015.
4. Зейдл З., Зельдмаер Й., Валев С. Автоматическая головка для тестирования прочности сварных соединений от F&Delvotec: шаг на пути к бездефектному производству // Технологии в электронной промышленности. 2010. № 1.
5. Установка тестирования микросоединений DAGE 4000Plus. [www.nordson.com](http://www.nordson.com)