

# Плазменная обработка поверхности подложек и прочность сварных соединений

Статья, основанная на результатах исследований, рассматривает эффективность применения технологии атмосферной плазмы перед операцией ультразвуковой микросварки золотой проволокой на золотых подложках. Автор дает ответ на вопрос, насколько предварительная обработка подложек атмосферной плазмой влияет на качество сварочных соединений.

Юлия Борисова

lum@eurointech.ru

## Вступление

Микросварка проволоочных перемычек — это один из наиболее критичных процессов производства ИС. Качество поверхности контактной площадки значительно влияет на прочность сварочного соединения, что, в свою очередь, воздействует на надежность всей ИС.

Оксидный слой на поверхности контактной площадки — один из факторов, от которого зависит качество получаемых сварных соединений. Так, толстый оксидный слой приводит к снижению прочности соединений или даже отсутствию электропроводности.

Другой немаловажный фактор, влияющий на надежность проволоочных перемычек, — наличие органических загрязнителей и атмосферных слоев на контактной поверхности подложки.

Плазма позволяет физически и химически удалять оксидную пленку с поверхности, а также микропластицы загрязнений и примесей [1, 2]. Кроме того, плазменная обработка устраняет атмосферные слои и активирует поверхность. Ионы плазмы разрывают межмолекулярные связи в приповерхностном слое

материала контактной площадки, тем самым повышая его адгезию (рис. 1).

Плазменная обработка как метод очистки поверхности предпочтительнее, чем жидкостная обработка, поскольку не требует присутствия растворителей. Однако очищенные плазмой образцы должны быть как можно скорее переданы для ультразвуковой сварки во избежание накопления атмосферных слоев и, как следствие, повторного окисления и загрязнения поверхности.

В статье было исследовано влияние обработки поверхности подложек атмосферной плазмой на прочность получаемых впоследствии на этих подложках микросварных соединений. Для сравнения и анализа выбрано два одинаковых керамических корпуса с золотым покрытием: экспериментальный (прошел предварительную обработку атмосферной плазмой) и контрольный (предварительно очищен спиртом) — рис. 2.

## Условия проведения тестирования

Полный процесс проведенных исследований представлен на рис. 3.

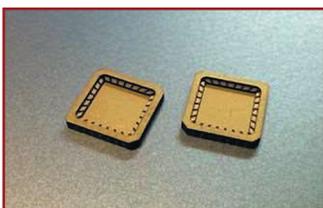


Рис. 2. Экспериментальный и контрольный образцы

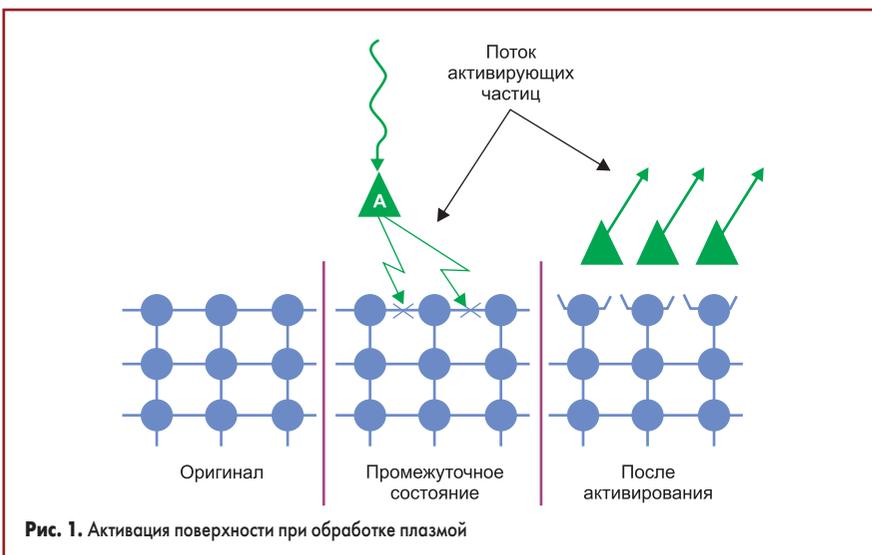


Рис. 1. Активация поверхности при обработке плазмой



Рис. 3. Схема проведения тестирования

**Обработка образцов.**

**Очистка и активация поверхности**

В качестве оборудования для обработки экспериментального образца был использован генератор атмосферной плазмы MonoJet производства компании Advanced Machines (Швейцария) — рис. 4, 5.



**Рис. 4.** Генератор атмосферной плазмы MonoJet



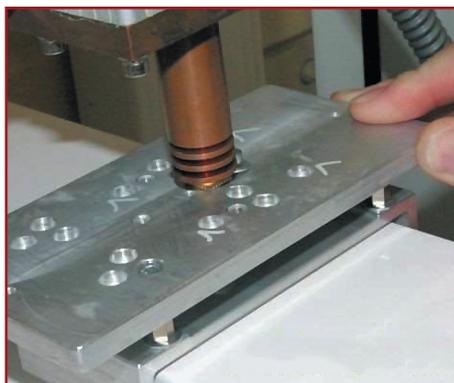
**Рис. 5.** Факел атмосферной плазмы MonoJet

Генератор атмосферной плазмы MonoJet — оборудование, не имеющее аналогов по мощности и эффективности в классе установок локальной плазменной обработки. Установка обеспечивает мощность потока плазмы до 2000 Вт.

Для обеспечения стабильности качества плазменной обработки необходимо соблюдение постоянной скорости перемещения факела над поверхностью, а также постоянной высоты от края сопла до обрабатываемого материала. Поэтому генератор плазмы должен использоваться в составе некоей системы автоматизации. В проведенном эксперименте позиционирование и перемещение головки генератора осуществлялось с помощью настольного трехкоординатного робота Janome



**Рис. 6.** Генератор плазмы, установленный на настольный робот Janome JR2203N



**Рис. 7.** Экспериментальный образец зафиксирован на рабочем столике настольного робота Janome JR2203N

**Таблица 1.** Параметры атмосферной плазмы

Мощность (относительная)*	73%
Расход воздуха	25 л/мин
Газ	Сжатый воздух
Давление газа	6 атм
Расстояние до подложки	3 мм

**Примечание.** \*Мощность потока плазмы зависит от используемого сопла и других факторов.

JR2203N производства компании Janome (Япония) — рис. 6.

Далее экспериментальный образец устанавливался на подвижную платформу робота (рис. 7) и обрабатывался атмосферной плазмой на оптимальном для данного материала режиме. Основные параметры используемой атмосферной плазмы представлены в таблице 1.

В качестве плазмообразующего газа использовался сжатый воздух, поскольку целью обработки являлась активация поверхности, никакие иные газы не вводились. Дополнительный положительный эффект, получаемый от воздействия потока плазмы на обрабатываемую поверхность, — очистка поверхности от органических загрязнений.

Контрольный образец вместо обработки плазмой был предварительно тщательно очищен 80%-ным изопропиловым спиртом.

**Ультразвуковая микросварка.**

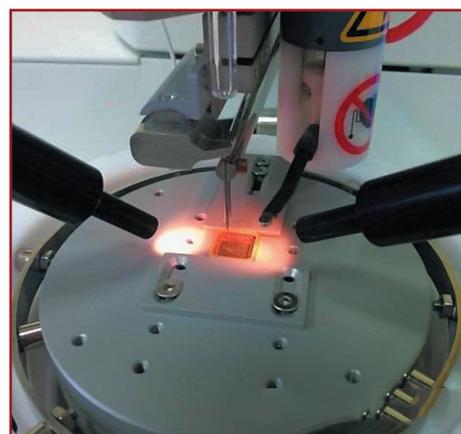
**Формирование проволочных соединений**

После обработки оба образца были переданы на операцию ультразвуковой микросварки, которая осуществлялась на полуавтоматической установке ТРТ НВ16 производства компании ТРТ Wire Bonder (Германия) — рис. 8, 9. Представленная установка может производить разварку проволочных перемычек диаметром 17–75 мкм методами «клин-клин», «шарик-клин», а также установку бампов (столбиков), разварку лентой до 25×250 мкм и разварку в глубоких «колодцах» (до 15 мм глубиной). Материалы, с которыми работает оборудование, — золото, алюминий, медь.

На каждом из образцов было разварено по 20 перемычек в режиме «клин-клин». Режимы ультразвуковой сварки для обоих образцов (контрольного и экспериментального) были одинаковы. Диаметр использован-



**Рис. 8.** Установка ультразвуковой микросварки ТРТ НВ16



**Рис. 9.** Образец помещен на рабочий нагреваемый столик установки ТРТ НВ16

**Таблица 2.** Параметры ультразвуковой микросварки

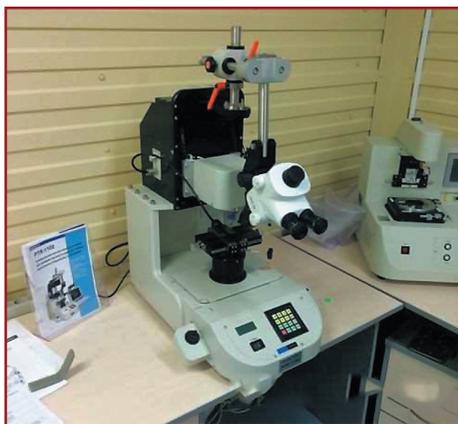
Точка 1	Параметр*	Точка 2
200	Мощность ультразвуковых колебаний (относит.)	260
200	Время сварки, мс	200
190	Усилие прижима инструмента, мН	260
90	Температура нагрева столика, °С	90

**Примечание.** \*Параметры УЗ-микросварки подбирались таким образом, чтобы разваренная перемычка визуально выглядела пригодной к дальнейшей эксплуатации. Использовались минимально возможные параметры для контрольного образца.

ной золотой проволоки — 25 мкм. Основные параметры сварки представлены в таблице 2.

**Тестирование полученных соединений на отрыв**

После проведения ультразвуковой микросварки экспериментальный и контрольный корпуса были переданы на тестирование усилия на отрыв проволочных соединений с помощью универсального тестера прочности механических соединений RHESCA PTR-1102 производства компании RHESCA (Япония) — рис. 10, 11. Установка PTR-1102 представляет собой простой в управлении тестер, предназначенный для проверки качества различных типов механических соединений или креплений электронных



**Рис. 10.** Универсальный тестер соединений RHESCA PTR-1102



**Рис. 11.** Образец установлен на рабочий столик тестера RHESCA PTR-1102

и механических компонентов в электронных и микроэлектронных устройствах. Установка позволяет тестировать соединения и компоненты на растяжение, на растяжение под наклоном, на разрыв/толкание, тестирование на отслаивание или отрыв, на изгиб, тестирование на сдвиг шариков и кристаллов, сварных или паяных соединений, тестирование на сдвиг под наклоном, на отрыв BGA и т. д. Система управляется двумя эргономическими манипуляторами (джойстиком) и помимо экрана имеет встроенный принтер для быстрого документирования полученных результатов. Для проведения оперативного тестирования установка работает без подключения к компьютеру, что позволяет существенно экономить время при отработке технологических процессов монтажа электронных устройств.

Разрушающее тестирование на отрыв представляет собой подведение вольфрамового крючка под центр петли и медленный подъем

крючка с постоянной скоростью до того момента, пока проволоочный проводник не оборвется. Во время подъема фиксируется усилие, с которым крючок тянет проволоку. Резкое снижение усилия означает разрыв проводника и указывает на окончание цикла тестирования. Далее оператор тестера RHESCA PTR-1102 определяет с помощью микроскопа, в каком именно месте происходит обрыв проволоки. В зависимости от места обрыва необходимо подбирать режимы микросварки (рис. 12).

Отрыв или разрыв в точках означает:

- А, Е — некачественная разварка. Причиной может быть некачественное или загрязненное покрытие, неправильные режимы разварки.
- В, D — разварка произведена правильно. Если в данных точках получено незначительное усилие на отрыв, это может означать, что в процессе сварки проволока сильно деформирована и пережата. Причиной может быть

**Таблица 3.** Параметры тестирования образцов на отрыв

Тип тестирования	На отрыв
Контроль	Разрушающий
Шкала тестера (рабочий диапазон)	0–50 г
Погрешность измерений	0,2% от шкалы; 0,1 г
Скорость подъема крючка	0,5 мм/с

неправильно подобранный режим сварки. Необходимо изменить режимы разварки и провести тестирование заново.

- С — превышен предел по усилию на разрыв самой проволоки.
- Основные параметры тестирования образцов на отрыв представлены в таблице 3.

### Результаты тестирования

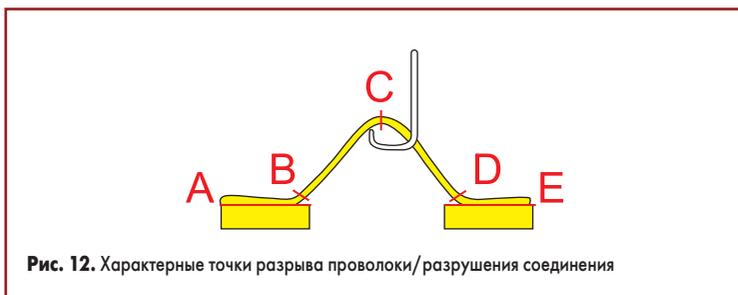
Результаты тестов представлены ниже в таблицах 4, 5.

Для большей наглядности полученные результаты были отсортированы по возрастанию усилия на отрыв.

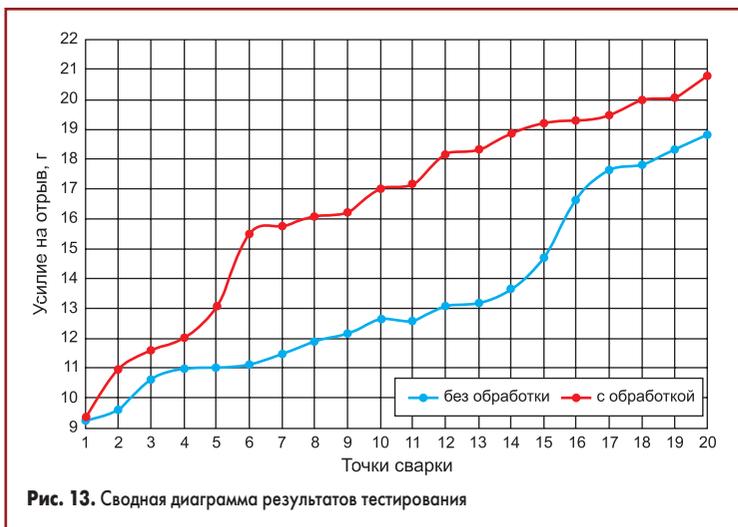
Обе группы полученных результатов объединены в сводную диаграмму для наглядного сравнения (рис. 13).

### Заключение

Из приведенных выше результатов видно, что предварительная обработка экспериментального образца атмосферной плазмой позволила значительно улучшить качество микросварки по сравнению с контрольным образцом, очищенным спиртом. Обработка атмосферной плазмой дала устойчивый прирост усилия на отрыв во всех разваренных точках. Средний прирост усилия на отрыв со-



**Рис. 12.** Характерные точки разрыва проволоки/разрушения соединения



**Рис. 13.** Сводная диаграмма результатов тестирования

**Таблица 4.** Результаты тестирования контрольного образца

Номер измерения	Усилие обрыва, г	Место разрыва
1	9,26	А
2	9,63	А
3	10,63	А
4	10,98	А
5	11,01	А
6	11,13	Е
7	11,47	А
8	11,88	А
9	12,16	А
10	12,62	В
11	12,62	А
12	13,06	А
13	13,17	А
14	13,64	А
15	14,7	А
16	16,66	А
17	17,61	А
18	17,82	А
19	18,31	Е
20	18,81	А

Среднее значение усилия на отрыв для контрольного образца составило 13,36 г.

**Таблица 5.** Результаты тестирования экспериментального образца

Номер измерения	Усилие обрыва, г	Место разрыва
1	9,35	В
2	10,94	В
3	11,59	В
4	12,02	А
5	13,06	В
6	15,51	А
7	15,6	А
8	16,06	А
9	16,22	В
10	16,98	В
11	17,17	В
12	18,14	А
13	18,32	А
14	18,84	В
15	19,19	А
16	19,29	В
17	19,46	А
18	19,97	В
19	20,06	В
20	20,77	В

Среднее значение усилия на отрыв для экспериментального образца составило 16,43 г.

ставил 3,07 г. Также необходимо отметить, что на контрольном образце проволока отрывалась в точках А, Е (19/20 случаев) — в местах соединения проволоки и подложки, что свидетельствует о слабом, некачественном сварном соединении. На экспериментальном образце в большинстве случаев (12/20) разрыв происходил в точке В, что показывает значительное улучшение результатов сварки. Таким образом, при использовании в обработке поверхностей подложек атмосферной плазмы и правильном подборе режимов сварки можно получить достаточно прочное соединение проволоочной перемычки с контактной площадкой.

В проведенных испытаниях использовались два идентичных корпуса. Тем не менее эффек-

тивность обработки поверхности атмосферной плазмой может в ту или иную сторону отличаться на других изделиях. Полученные результаты справедливы только для испытанных в данном эксперименте изделий.

#### Литература

1. Chong Y. F., Gopalakrishnan R., Tsang C. F. et al. An Investigation on the Plasma Treatment of Integrated Circuit Bond Pads. *Microelectronics Reliability*. 2000. Vol. 40.
2. Li W.-H., Reingruber K., Mais N., Acuesta A., Yape C. A. Plasma Cleaning on Bond Pad Surfaces for Gold Wire Bonding. *11<sup>th</sup> Electronics Packaging Technology Conference*, 2009.