

ТЕРМОЗВУКОВАЯ МИКРОСВАРКА В ТЕХНОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТНОГО МОНТАЖА

А.С. Севрюков, Ю.П. Ерендеев,
ФГУП «НИИ «Экран»

Ультразвуковая сварка - способ соединения различных материалов в твердом состоянии с помощью ультразвуковых колебаний. Применяется для соединения деталей, нагрев которых затруднен, или при соединении разнородных металлов или металлов с прочными окисными пленками. В микроэлектронике этот вид сварки широко применяется для формирования электрических проволочных выводов полупроводниковых микросхем, бескорпусных элементов и упаковок.

Развитие современных радиоэлектронных устройств идет по пути миниатюризации и повышения функциональной сложности изделия. С момента изобретения первых полупроводниковых приборов прошло более 60-ти лет, за это время радиоэлектронная промышленность претерпела существенные изменения, как в конструктивном, так и в технологическом плане. Наибольший прорыв в этом отношении заметен в электронно-вычислительной технике и в системах связи. От таких изделий, как правило, требуется высокая функциональность, малые габариты, масса и низкая стоимость. Эти требования потребовали создание сложных интегральных микросхем, поверхностно-монтируемых компонентов, развитие нанотехнологий и т.д.

В настоящее время в полупроводниковой технике наблюдается подход к технологическому пределу в области миниатюризации, поэтому основными направлениями для снижения массогабаритных показателей, энергопотребления, повышения производительности при монтаже радиоэлектронных изделий является применение бескорпусных компонентов. Первоначально бескорпусные компоненты предназначались для производства гибридных интегральных схем или микросборок, однако сейчас они получили более широкое распространение. На рис. 1 представлена система кристалл-микроплата.

Одним из самых распространенных способов монтажа таких компонентов является установка кристалла на клей или припой, с последующим формированием проволочных перемычек с помощью микросварки. Чаще всего для таких целей применяются различные виды ультразвуковой микросварки, из которых наиболее распространены «микросварка шариком», «микросварка клином» и «термозвуковая сварка».

В настоящее время разработана технология «чип-на-плате» (Chip-on-Board). Суть ее заключается в том, что кристалл устанавливается непосредственно на печатную плату, а для формирования контакта вывода кристалла с платой используется микросварка, преимущественно

ультразвуковая. Такая технология широко используется для производства наручных электронных часов, карманных однокристалльных ЭВМ, датчиков и т.д. Это позволяет значительно снизить массогабаритные характеристики и повысить быстродействие системы за счет уменьшения длины сигнальных проводников.

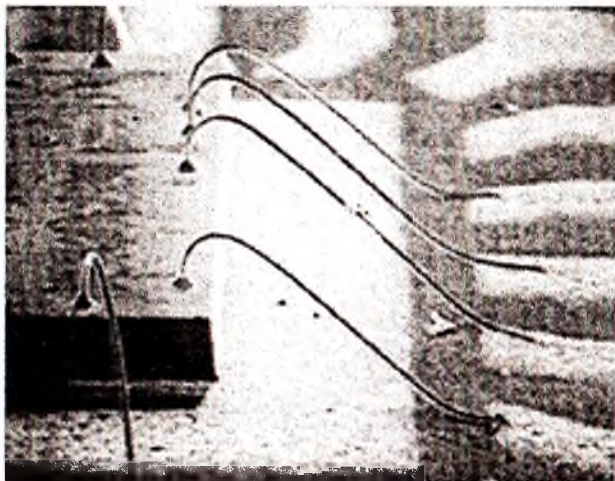


Рис. 1. Проволочные выводы микросхемы в системе кристалл-микронплата

Преимуществом ультразвуковой микросварки перед остальными видами является то, что она позволяет получить надежные сварные соединения при минимальных механических и температурных воздействиях на кристалл без приложения электрического импульса к контактным площадкам полупроводниковых приборов с любым проводящим покрытием, в том числе и алюминиевым.

Термозвуковая сварка является разновидностью ультразвуковой сварки, в которой для повышения скорости процесса применяется предварительный нагрев платы. Для достижения приемлемого качества рекомендуется устанавливать нагрев платы до температуры 120 °С. Тщательная настройка установки и использование качественных материалов покрытия и проволоки дают возможность снизить температуру до 70-90 °С. Дополнительный подогрев платы применяется для удаления загрязнений и размягчения металла. Нагрев инструмента для прочистки и прокаливания проволоки препятствует отводу тепла при контакте сварочного инструмента с рабочей областью. Кроме того, предварительный нагрев контактной площадки снижает требуемые для сварки усилие прижима, мощность ультразвукового колебания и длительность импульса. Это позволяет существенно снизить разрушающее воздействие ультразвуковых колебаний на материал кристалла и металлизацию контактных площадок.

Предварительный нагрев платы требует нанесения защитного покрытия на медные проводники. В зависимости от технологии, по которой изготавливается микроплата, в качестве защитного покрытия чаще всего выступает серебро, золото, олово. Для термовзвукowej сварки на практике применяется, в основном, серебро и золото. В отличие от покрытий под пайку, слой золота или серебра на контактных площадках под сварку должен быть более мягким и толщиной не менее 20...30 мкм, в противном случае, снижается надежность сварного соединения. Такие требования к покрытию связаны с процессами диффузии материала сварочной проволоки в материал контактной площадки. Если для формирования надежного паяного соединения достаточно слоя золота толщиной в несколько мкм., которое должно раствориться в припое в процессе пайки, то в процессе ультразвуковой микросварки происходит внедрение материала проволоки непосредственно в защитный слой, а, следовательно, от его параметров напрямую зависит качество сварного соединения.

Основными параметрами ультразвуковой сварки (УЗС) являются мощность, частота колебаний и усилие прижима инструмента. При УЗС с нагревом дополнительным параметром является температура нагрева свариваемых материалов. Нагрев до 150-200 °С сокращает время сварки и способствует повышению качества образуемого соединения, но при длительном процессе наблюдается обратный процесс вследствие окисления (кроме золота) или отслаивания защитного покрытия. Снижение температуры требует увеличения мощности и длительности сварочного импульса, что отрицательно сказывается на материале проволоки и контактной площадке. Большие амплитуды нарушают адгезию пленки и в области больших давлений происходит демпфирование колебаний. При фиксированных мощности и давлении прочность сварного соединения зависит от длительности процесса сварки:

- при кратковременной сварке прочность невелика и разрушение происходит по месту сварки;
- при длительной сварке разрыв происходит по «шейке» проводника из-за его чрезмерного продавливания.

Температура рабочего столика сварочной установки, на котором крепится микроплата, выбирается как можно ниже, это особенно важно, когда происходит сварка выводов на быстро окисляющихся поверхностях. Оптимальная температура поверхности контактной площадки 100...150 °С в зависимости от материала проволоки и контактной площадки. На рис. 2 приведены графики зависимости качества сварного соединения от длительности сварочного импульса (использовалась установка УМС-1УТ) при различных температурах и постоянных мощности (1,5 Вт) и усилии прижима (0,4 Н). Экспериментальные данные приведены в табл. 1-4.

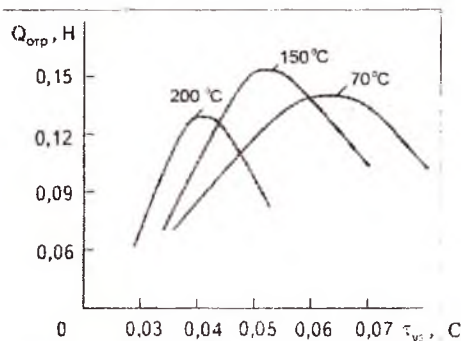


Рис. 2. Зависимости прочности сварного соединения от длительности сварочного импульса

Графики показывают среднестатистические показатели для толстопленочных микроплат. Такой характер зависимостей справедлив и для толстопленочных микроплат с серебряным покрытием контактных площадок, и для печатных плат с медными проводниками. Отличием является то, что при температуре от 120 °C и выше качество сварных соединений начинает значительно ухудшаться в связи с интенсивным окислением поверхности проводников.

Таблица 1. Результаты обработки режимов ультразвуковой сварки золотых проволочных перемычек диаметром 40 мкм на толстопленочной микроплате с серебряными проводниками при температуре подогрева платы 200 °C

Усилие прижима, Е	Длительность импульса сварки, мс	Мощность, Вт	Результат
0,2	20	0,5	Сварка не происходит, проволока не деформируется
0,2	20	1,0	Сварка не происходит, проволока не деформируется
0,2	20	1,5	Сварка не происходит, проволока не деформируется
0,2	20	4,0	Незначительная деформация золотой проволоки, менее 1,1 диаметра; сварка не происходит
0,2	40	4,0	Деформация золотой проволоки менее 1,1 диаметра; сварка не происходит
0,2	80	4,0	Деформация золотой проволоки менее 1,1 диаметра; сварка не происходит
0,2	80	6,0	Деформация золотой проволоки менее 1,1 диаметра; сварка не происходит
0,3	80	6,0	Проволока передавливается во время сварки
0,3	80	3,0	Ширина сварочной точки составляет 2,7.3 диаметров проволоки; сварка не происходит

Таблица 1. Окончание

0,3	40	3,0	Ширина сварочной точки составляет 2..2,5 диаметра проволоки; разрыв проволоки происходит при усилнии менее 7 г на одну сварочную точку
0,3	40	1,5	Ширина сварочной точки составляет 1,5..1,7 диаметра проволоки; точка сварки выдерживает не более 9 г
0,3	60	1,5	Ширина сварочной точки составляет 1,5..1,7 диаметра проволоки; точка сварки выдерживает не более 9 г
0,4	60	1,5	Ширина сварочной точки составляет 2,7..3 диаметров проволоки; проволока обрывается при усилии 3..4 г
0,4	30	1,5	Ширина сварочной точки составляет 1,5..1,7 диаметра проволоки; точка сварки выдерживает не более 8,5 г
0,4	40	1,5	Ширина сварочной точки составляет 1,5..1,7 диаметра проволоки; точка сварки выдерживает не более 12 г
0,4	50	1,5	Ширина сварочной точки составляет 1,5..1,7 диаметра проволоки; точка сварки выдерживает не более 9 г

При температуре подогрева микроплаты в 200 °С происходит интенсивное окисление поверхности контактных площадок, что значительно ухудшает качества сварного соединения, поэтому приведенные в табл. 1 справедливы для сварочных операций, длящихся не более 6-7 минут.

Таблица 2. Результаты отработки режимов ультразвуковой сварки золотых проволоочных перемычек диаметром 40 мкм на толстопленочной микроплате с серебряными проводниками при температуре подогрева платы 150 °С

Усилие прижима, Н	Длительность импульса сварки, мс	Мощность, Вт	Результат
0,4	40	1,5	Ширина сварочной точки составляет 1,5..1,7 диаметра проволоки; точка сварки выдерживает не более 10 г
0,4	40	3,0	Ширина сварочной точки составляет 2..2,5 диаметра проволоки; разрыв проволоки происходит при усилнии менее 7 г на одну сварочную точку
0,4	50	1,5	Ширина сварочной точки составляет 1,5..1,7 диаметра проволоки; точка сварки выдерживает до 16 г и больше, качество сварки удовлетворяет требованиям

Таблица 2. Окончание

0,4	60	1,5	Ширина сварочной точки составляет 1,5..1,7 диаметра проволоки; точка сварки выдерживает не более 10 г
0,4	60	3,0	Ширина сварочной точки составляет 2,7..3 диаметров проволоки; проволока обрывается при усилии 3..4 г
0,3	60	3,0	Деформация золотой проволоки менее 1,3 диаметра; сварное соединение выдерживает не более 6 г
0,3	80	3,0	Деформация золотой проволоки менее 1,3 диаметра; сварное соединение выдерживает не более 6 г
0,3	160	3,0	Ширина сварочной точки составляет 1,5..1,7 диаметра проволоки; точка сварки выдерживает не более 10 г
0,3	160	4,0	Ширина сварочной точки составляет 2..2,5 диаметра проволоки; разрыв проволоки происходит при усиллии менее 7 г на одну сварочную точку

Следующим шагом при отработке режимов сварки является снижение температуры рабочего столика. При этом за точку отсчета следует принять значение настраиваемых параметров из табл. 1, при которых наблюдался лучший результат качества сварки.

Окисление платы при температуре подогрева в 150 °С происходит менее интенсивно, но при длительных операциях сварки отмечается потемнение серебряного покрытия микроплат. Некоторые, применяемые в микросборках кристаллы, не допускается монтировать при температуре 150°С.

При усилии сжатия мене 0,4 Н требуется повышение температуры подогрева, в противном случае качество сварного соединения значительно ухудшается, так как в большей степени происходит разрушение материала проволоки, а не внедрение его в контактную площадку.

В табл. 3 приведены результаты отработки режимов при температуре 100 °С. Данная зависимость качества сварного соединения справедлива и для тонкопленочных микроплат с серебряным покрытием. Печатные платы с незащищенными медными проводниками при такой температуре окисляются менее интенсивно, но в процессе сварки большого количества перемычек наблюдается заметное ухудшение качества сварки.

Режимы, приведенные в табл. 3, являются оптимальными. При мощности 1,5 Вт и длительности 50-60 мс наблюдается наибольшая повторяемость результатов сварки.

Таблица 3. Результаты отработки режимов ультразвуковой сварки золотых проволочных перемычек диаметром 40 мкм на толстопленочной микроплате с серебряными проводниками при температуре подогрева платы 100 °С

Усилие прижима, Н	Длительность импульса сварки, мс	Мощность, Вт	Результат
0,4	40	1,5	Ширина сварочной точки составляет 1,5..1,7 диаметра проволоки; точка сварки выдерживает не более 10 г
0,4	40	3,0	Ширина сварочной точки составляет 2..2,5 диаметра проволоки; разрыв проволоки происходит при усилии менее 7 г на одну сварочную точку
0,4	50	1,5	Ширина сварочной точки составляет 1,5..1,7 диаметра проволоки; точка сварки выдерживает до 14 г; качество сварки удовлетворяет требованиям
0,4	60	1,5	Ширина сварочной точки составляет 1,5..1,7 диаметра проволоки; точка сварки выдерживает до 14 г и выше; качество сварки удовлетворяет требованиям
0,4	60	3,0	Ширина сварочной точки составляет 2,7..3 диаметров проволоки; проволока обрывается при усилии 3..4 г
0,4	70	1,5	Ширина сварочной точки составляет 1,7..2 диаметра проволоки; разрыв проволоки происходит при усилии менее 10 г на одну сварочную точку
0,4	80	1,5	Ширина сварочной точки составляет 1,7..2 диаметра проволоки; точка сварки выдерживает не более 10 г

Для получения полного представления о зависимости качества сварного соединения от температуры подогрева следующие режимы отработанны при температуре 70 °С (табл. 4).

Таблица 4. Результаты отработки режимов ультразвуковой сварки золотых проволочных перемычек диаметром 40 мкм на толстопленочной микроплате с серебряными проводниками при температуре подогрева платы 70 °С

Усилие прижима, Н	Длительность импульса сварки, мс	Мощность, Вт	Результат
0,4	40	1,5	Деформация золотой проволоки менее 1,1 диаметра; сварка не происходит

Таблица 4. Продолжение

0,4	40	3,0	Деформация золотой проволоки менее 1,3 диаметра; сварное соединение отрывается при усилии 3..4 г
0,4	40	3,5	Ширина сварочной точки составляет 2,7..3 диаметров проволоки; проволока обрывается при усилии 3..4 г
0,4	60	1,5	Ширина сварочной точки составляет 1,5..1,7 диаметра проволоки; точка сварки выдерживает до 13 г
0,4	60	2,0	Ширина сварочной точки составляет 1,5..1,7 диаметра проволоки; точка сварки выдерживает до 13 г
0,4	70	1,5	Ширина сварочной точки составляет 1,5..1,7 диаметра проволоки; точка сварки выдерживает до 13 г
0,4	80	1,5	Ширина сварочной точки составляет 1,7..2 диаметра проволоки; точка сварки выдерживает до 10 г

Из анализа таблиц 1-4 следует, что процесс сварки имеет ярко выраженный максимум. В табл. 5 приведены режимы ультразвуковой сварки, при которых наблюдалось большая повторяемость параметров сварки с удовлетворительным результатом для толстопленочных микроплат с серебряным проводящим слоем и печатных плат с незащищенными медными проводниками.

Таблица 5. Параметры настройки установки ультразвуковой сварки УМС-1УТ для сварки золотых проволочных перемычек диаметром 40 мкм

Наименование параметра	Рекомендуемое значение
Предварительный подогрев платы, °С	100-120
Мощность ультразвукового генератора, Вт	1,5
Длительность сварочного импульса, мс	60
Усилие прижима, Н	0,4

Длительность и мощность сварочного импульса подбирались экспериментально, таким образом, чтобы ширина сварочной точки составляла 1,5-1,7 диаметра проволоки; такая деформация является оптимальной и позволяет достичь максимальной прочности сварного соединения при мощности ультразвукового колебания 1,5 Вт и длительности импульса 60 мс. В зависимости от качества поверхности мощность генератора и длительность импульса могут быть увеличены до 2 Вт и 80 мс, но в этом случае возрастет деформация проволоки, поэтому поверхность микроплаты рекомендуется предварительно протереть бязью, смоченной в спирте или ацетоне.

В данной статье показана возможность применения термозвуковой микросварки для монтажа электрических соединений в системе кристалл-плата, выполненных по технологии «чип-на-плате», которая является одним из перспективных направлений развития технологии поверхностного монтажа. Показано влияние рабочих параметров установки микросварки на качество сварного соединения, приведено краткое описание процесса обработки режимов термозвуковой сварки.

Список использованных источников

1 Валев, С. «Кристалл на плате» (COB): новая эра технологий [Текст]/С. Валев, Ф. Фарассад // Технологии в электронной промышленности. -2005. -№6.- С. 71-76.

2 Кудряшов, И. Технология микросварки проволочных выводов [Текст]/И. Кудряшов // Производство электроники: технологии, оборудование, материалы. -2007. -№5.- С. 1-6.

3 Шмаков, М. Микросварка при производстве микросборок и гибридных интегральных микросхем [Текст]/М. Шмаков // Технология в электронной промышленности. -2007. -№1.- С. 60-66.

УСТРОЙСТВА ИЗМЕРЕНИЯ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ СОЕДИНЕНИЯ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

А.В. Воронцов, А.В. Зеленский

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

подавляющая часть устройств, предназначенных для соединения резьбосодержащих элементов, построена на измерении максимального значения крутящего момента. В современных машинах во многих случаях резьбовые соединения являются ответственными элементами, прочность и долговечность которых во многом определяют надежность работы конструкции в целом. Исходя из характера внешних усилий, прилагаемых в процессе затяжки, рассмотрим наиболее часто применяемые в промышленности способы сборки резьбовых соединений. Они основаны на использовании внешнего момента, ударно-вращательных импульсов, приложении осевых усилий и т.д. В качестве примера оценки эффективности способов сборки будем использовать заданную точность затяжки, исходя из технологических требований и быстродействия, определяющего в конечном итоге производительность.