

ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОМБИНИРОВАННОЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ПАЙКИ

В.М.Бондарик, В.Л.Ланин

Белорусский государственный университет информатики и
радиоэлектроники, г.Минск

Активация энергией, ультразвуковых (УЗ) колебаний - один из эффективных процессов пайки, поскольку механические упругие колебания частотой 18-70 кГц и интенсивностью 0,1-1 МВт/м² резко интенсифицируют большинство физико-химических процессов: смачивание, растекание, капиллярное течение припоя, диффузию припоя в паяемые материалы [1].

Появление новой элементарной базы предъявляет дополнительные требования к качеству паяных соединений, которым традиционная ультразвуковая пайка не удовлетворяет. Для дополнительной активации ультразвуковой пайки применяют лазерное, инфракрасное и высокочастотное излучение, импульсы электрического тока, газовую активацию и другие.

Исследовалась комбинированная ультразвуковая пайка с дополнительной активацией процесса пропусканием электрического тока через зону взаимодействия.

Влияние комбинированной активации процесса пайки с применением УЗ колебаний и электрического тока сводится главным образом к следующим двум эффектам: тепловому воздействию в результате поглощения энергии электрического тока и УЗ энергии, участвующих в образовании паяного соединения и ускорению процессов диффузии.

Если на диффундирующие частицы действует внешняя сила F , то под ее влиянием частицы вещества будут двигаться со средней скоростью:

$$v = B \cdot F, \quad (1)$$

где B - подвижность частиц.

В этих условиях к потоку диффузии добавится поток частиц, движущихся под действием силы F , и тогда полный поток будет равен [2]

$$J = -D' \frac{\partial C}{\partial x} \pm v \cdot C, \quad (2)$$

где C - концентрация вещества, D' - коэффициент диффузии с учетом воздействия УЗ энергии на расплав [3]:

$$D' = D_0 \cdot e^{\frac{E - \Delta E}{k \cdot T}}, \quad (3)$$

где D_0 - предэкспоненциальный множитель, E - энергия активации диффузии, ΔE - изменение энергии активации диффузии за счет действия УЗ энергии, k - универсальная газовая постоянная, T - температура в зоне взаимодействия.

При воздействии на зону взаимодействия УЗ энергии мощность, выделяемая в зоне взаимодействия, равна

$$p = 2\pi \rho \cdot f \cdot A \cdot c, \quad (4)$$

где ρ - плотность материала, c - скорость звука в материале, f и A - частота и амплитуда УЗ колебаний соответственно.

Подставляя выражения (1) и (4) в (2), получим:

$$J = -D' \cdot \frac{\delta C}{\delta x} \pm \frac{2 \cdot \pi \cdot B \cdot \rho \cdot f \cdot A \cdot c}{S} \cdot C. \quad (5)$$

Обусловленный электропереносом суммарный поток ионов реакционно-активного компонента равен [4]

$$J_{\text{эл}} = B_i \cdot p \cdot \frac{I_a}{\tau} \cdot C, \quad (6)$$

где I_a - амплитуда импульсов тока, p - удельное электрическое сопротивление компонента, B_i - подвижность иона, τ - скважность импульсов тока, C - концентрация ионов реакционно-активного компонента в расплаве.

Суммарный поток частиц под действием УЗ энергии и электропереноса:

$$J = -D' \cdot \frac{\delta C}{\delta x} \pm B_i \cdot p \cdot \frac{I_a}{\tau} \cdot C \pm \frac{2 \cdot \pi \cdot B \cdot \rho \cdot f \cdot A \cdot c}{S} \cdot C. \quad (7)$$

С учетом теплового эффекта при воздействии энергии активации на систему припой - паяемая деталь суммарный поток частиц равен

$$J = -D_0 \cdot e^{-\frac{E - \Delta E}{R \cdot T}} \cdot C \cdot T \cdot \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x - (h/2)}{2 \cdot \sqrt{D \cdot t}} \right) \right] \pm B_i \cdot p \cdot \frac{I_a}{\tau} \cdot C \pm \frac{2 \cdot \pi \cdot B \cdot \rho \cdot f \cdot A \cdot c}{S} \cdot C \quad (8)$$

Из формулы (8) видно, что применение УЗ энергии, ведущее к росту коэффициента диффузии, и токовой активации ведет к росту суммарного потока ионов реакционно-активных компонентов в зоне взаимодействия, а следовательно, и к увеличению скорости и глубины диффузии.

Стимулирование процессов диффузии реакционно-активных компонентов в паяном соединении приводит к увеличению переходной зоны на границе припой - паяемая деталь и к образованию химических соединений между компонентами припоя и материалом паяемой детали, что увеличивает механическую прочность спаев, повышает качество паяных соединений и эксплуатационную надежность изделий.

Экспериментальная установка включала генератор ультразвуковых колебаний, акустическую систему, нагревательное устройство, электронный

частотомер и вольтметр для контроля частоты и амплитуды на выходе генератора, измеритель вибраций [5].

Для практического исследования влияния комбинированной активации процесса пайки с применением УЗ колебаний и электрического тока на ширину диффузионной зоны через зону взаимодействия пропускали электрический ток в различных направлениях. Источником электрического тока являлся выпрямитель ВСА-5К с максимальной силой тока 20 А. Величина постоянного тока, пропускаемого через расплав, регулировалась в пределах 0-20 А и контролировалась прибором М2020, включенным в электрическую цепь с дополнительным шунтом.

Зоны взаимодействия припой - алюминиевый образец исследовались на растровом электронном микроскопе Stereoscan -360 (Cambridge Instruments, Англия), локальный рентгеноспектральный анализ элементного состава - на энергетическом спектрометре AN10000 (Link, Англия).

Пропускание тока через зону взаимодействия при пайке в направлении из припоя в материал основания увеличивает ширину переходной зоны до 8 мкм за счет роста диффузионного взаимодействия соединяемых материалов из-за электромиграции алюминия в припой (рис.1,а). Ширина диффузионной зоны в случае стимуляции процесса пайки УЗ колебаниями без токовой активации (рис.1,б) составляла около 1,5 мкм. При пропускании тока через зону металлизации в обратном направлении

ширина диффузионной зоны составляет 2 мкм, то есть практически не увеличивается (рис.1,в), так как олово и свинец, составляющие припой, не обладают такой электроподвижностью, как атомы алюминия.

Одновременная активация системы припой - паяемая деталь УЗ колебаниями и пропусканием электрического тока ускоряет диффузионное взаимодействие паяемых материалов за счет процесса взаимной электродиффузии материалов припоя и паяемого образца.

Комбинированная активация процесса пайки УЗ колебаниями и мощными импульсами тока также резко увеличивает тепловую энергию системы, что позволяет ускорить достижение температуры пайки, увеличить смачиваемость припоем поверхности детали и повысить тем самым производительность процесса пайки металлов и их сплавов.

Таким образом, установлено, что применение комбинированной активации процесса пайки УЗ колебаниями и пропусканием электрического тока через зону взаимодействия предпочтительнее с точки зрения повышения производительности и обеспечения высокой стабильности процессов.

Для обеспечения необходимого качества паяных соединений в современной электронной аппаратуре необходимо применение комбинированных методов активации процесса пайки, которые

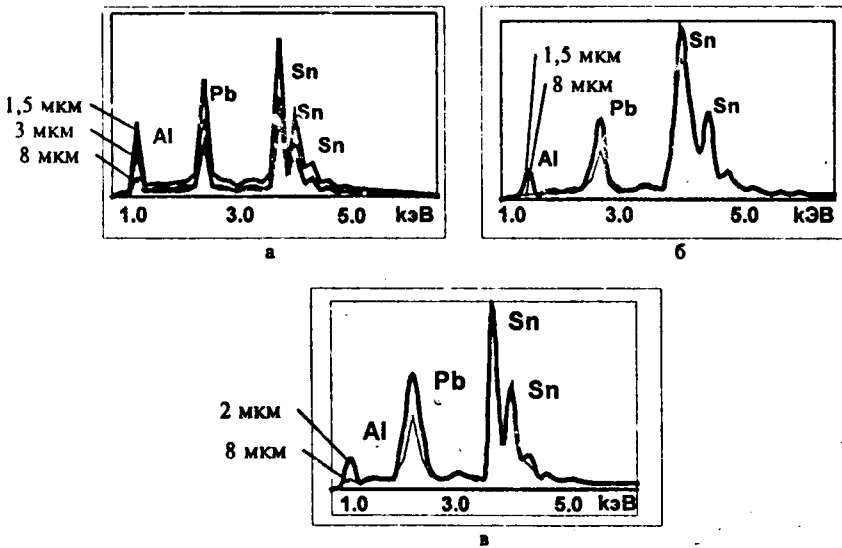


Рис. 1 Результаты локального рентгеноспектрального анализа образцов:
 а - с прямой токовой активации, б - без токовой активации,
 в - с обратной токовой активации

обеспечивают высокую прецизионность и регулируемость потоков энергии и позволяют получать высокое качество монтажности соединений при экономном использовании материалов, энергии и высокой экологической чистоте процессов сборки электронной аппаратуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ланин В.Л., Хмыль А.А. Современные процессы пайки в производстве радиоэлектронной аппаратуры. - Мн.:БелНИИНТИ, 1988. - 60 с.
2. Колешко В.М. Ультразвуковая микросварка. - Мн.: Наука и техника, 1977. - 328 с.
3. Шилиев А.С. Ультразвуковая обработка расплавов при производстве и восстановлении деталей машин. - Мн.: Наука и техника, 1992. - 176 с.
4. Прохоренко П.П., Путаев С.И., Семенова Н.Г. Ультразвуковая металлизация металлов. - Мн.: Наука и техника, 1987. - 270 с.
5. Бондарик В.М., Ланин В.Л. Комбинированная активация металлизации алюминиевых выводов ИЭТ. //Известия Белорусской инженерной академии. - 1998.-N2(6)/2.-С.9-12.