

Термозвуковая микросварка медной проволокой при сборке изделий электронной техники

ИГОРЬ ПЕТУХОВ, petuchov@kbtem.by, ВЛАДИМИР ЛАНИН

Применение медной проволоки при термозвуковой микросварке соединений в изделиях электронной техники позволит снизить стоимость припоев и повысить их конкурентоспособность.

В производстве микроэлектронных приборов главной движущей силой является снижение стоимости изделий. В приборах силовой электроники, где больший диаметр проволоки необходим для обеспечения токовой нагрузки, стоимость золотой проволоки составляет значительную долю стоимости изделий. Растущий интерес к использованию медной проволоки как альтернативы золотой проволоке объясняется, прежде всего, меньшей стоимостью, которая приблизительно в два раза ниже золотой проволоки. Это позволяет снизить стоимость приборов и повысить их конкурентоспособность.

Теплопроводность у меди в 1,6 раза выше, чем у алюминия, и в 1,3 раза выше, чем у золота. Лучшая теплопроводность медной проволоки может обеспечить дополнительный теплоотвод от кристалла прибора при большом числе выводов. Меньшее электрическое сопротивление позволяет использовать медную проволоку диаметром в 1,25 раза меньше по отношению к диаметру золотой проволоки при одной и той же плотности тока. Это преимущество актуально для транзисторов средней мощности в малогабаритных корпусах для поверхностного монтажа.

Для микросварного соединения медной проволоки с алюминиевой контактной площадкой кристалла характерен существенно медленный рост интерметаллидов (примерно в 5 раз по сравнению с соединением Au-Al) (см. рис. 1) [1, 2], что гарантирует большую устойчивость прочности соединения при повышенных температурах в течение длительного периода.

В настоящее время интерес к медной проволоке проявляется при сборке приборов с небольшим количеством входов/выходов типа SOIC, PDIP и др. Как только стоимость подложек для корпусов с высокой плотностью выводов (BGA,

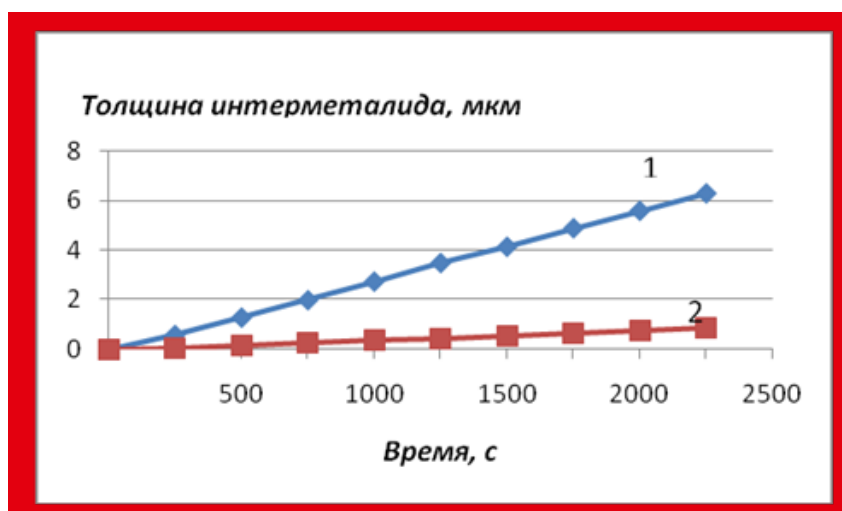


Рис. 1. Рост толщины интерметаллида в микросварных соединениях при +175°C: 1 – Au-Al, 2 – Cu-Al

Таблица. Физико-механические характеристики микропроволоки

| Параметр | Материал микропроволоки | | |
|--|-------------------------|----------|------|
| | Au | Cu | Al |
| Температура плавления, °C | 1063 | 1083 | 660 |
| Теплоемкость, кДж/(кг·°C) | 0,12–0,15 | 0,4–0,55 | 0,9 |
| Теплопроводность, Вт/м·°C | 317 | 406 | 237 |
| Удельное сопротивление, мкОм·см | 2,25 | 1,70 | 2,82 |
| Микротвердость (по Виккерсу), кг/мм ² | 60 | 80 | 48 |

QFP) снизится, потребность в замене золотой проволоки возрастет. Основные физико-механические характеристики золотой, медной и алюминиевой проволоки приведены в таблице.

Несмотря на очевидные преимущества, общеизвестны два основных недостатка, сдерживающих широкое применение медной проволоки. Во-первых, это быстрая окисляемость проволоки, особенно при повышенных температурах. Медь на воздухе покрывается оксидной пленкой, которая существенно влияет на качество сборочных операций при микросварке внутренних соединений между кристаллом и корпусом. Для

предотвращения окисления используется формирующий газ (смесь 95% азота и 5% водорода) для получения шариков сферической формы на конце проволоки при сборке методом «шарик-клин». Для обеспечения подвода формирующего газа применяют разрядники особой конструкции (см. рис. 2а) и устройства формирования шарика отрицательной полярности повышенной мощности (см. рис. 2б). Во-вторых, это повышенная твердость медной проволоки, что требует тщательного подбора режимов сварки, исключающих кратерообразование на контактных площадках.

Режимы оплавления медной проволоки потребовали увеличения эне-

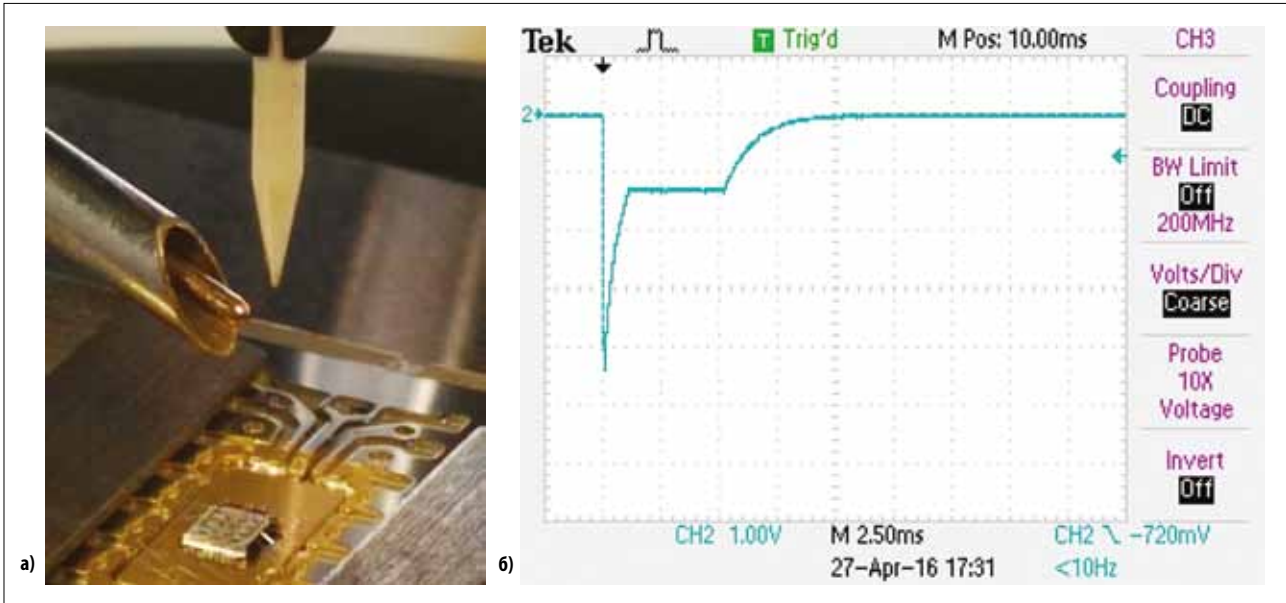


Рис. 2. Конструкция разрядника для подвода защитного газа (а) и форма высоковольтного напряжения, подаваемого на электрод разрядника для оплавления кончика медной проволоки (б)

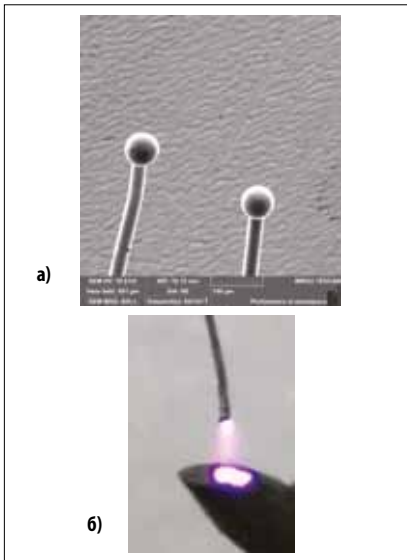


Рис. 3. Форма образованных шариков на конце медной проволоки (а) и форма искрового разряда при формировании шарика (б)

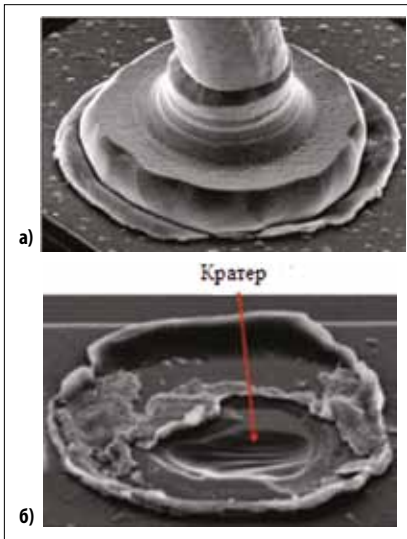


Рис. 4. Вытеснение алюминия с контактной площадки (а) и образование кратера в кремнии (б)

гии искрового разряда по сравнению с золотой проволокой такого же диаметра из-за более высокой теплоемкости медной проволоки (см. табл.). Если для образования стандартного шарика ($\varnothing 60$ мкм) на золотой проволоке диа-

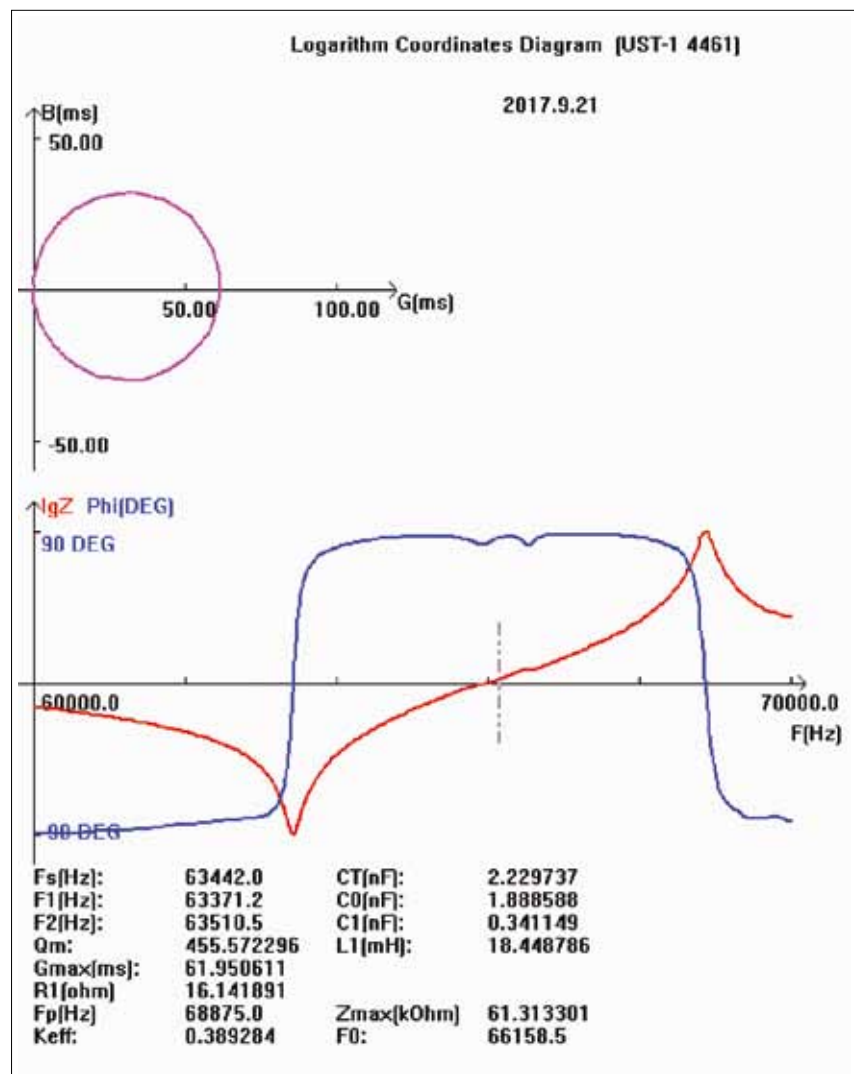


Рис. 5. Круговая диаграмма проводимости УЗП (верхний график) и его амплитудно-частотная характеристика (нижний график)

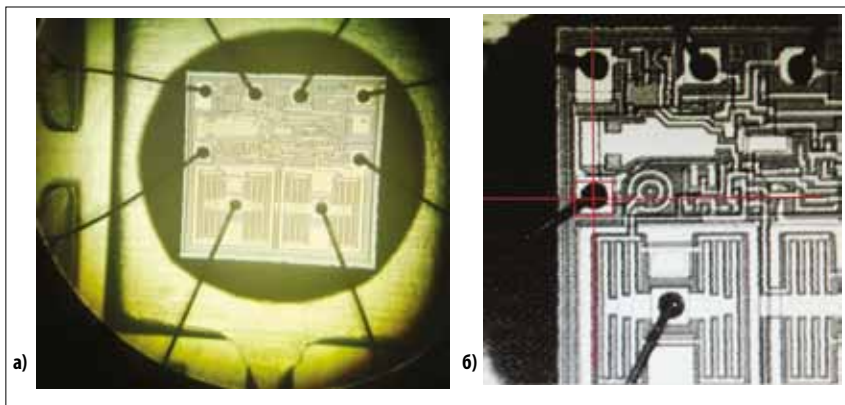


Рис. 6. Вид сварных соединений медной проволокой на установке ЭМ-4461

метром 30 мкм ток разряда составляет 25 мА и время разряда 1,2 мс (при отрицательной полярности высоковольтного напряжения на разряднике по отношению к проволоке, как на рис. 2 б в масштабе 1:1000), то для медной проволоки такого же диаметра потребовалось установить ток

разряда 55 мА и время разряда 2,8 мс. Расход защитного флюса составил 0,6 литр/мин. При более высоком расходе наблюдается ассиметричное положение шариков относительно оси проволоки и заметное влияние на искрообразование. При меньшем расходе пропадает видимый блеск



Рис. 7. Автомат присоединения медных выводов ЭМ-4461(а) и полуавтомат ЭМ-4320У(б)

на поверхности шариков и появление шероховатости. Внешний вид оплавленных шариков на кончике медной проволоки при оптимизированном процессе представлен на рисунке 3а, а форма разряда на рисунке 3б. При этом на разряднике видно характерное яркое катодное пятно, а горячая анодная область расположена под кончиком медной проволоки, что обеспечивает симметрию оплавленных шариков относительно оси проволоки.

Для достижения качественной сварки медной проволокой используется, как правило, более высокая нагрузка на сварочный инструмент и увеличенная ультразвуковая энергия. Это приводит, во-первых, к повышенному механическому воздействию на контактную площадку кристалла, и во-вторых к сокращению срока службы инструмента в результате интенсивного износа. Ввиду повышенной твердости медного шарика его присоединение к контактной площадке часто вызывает вытеснение более мягкого алюминия за пределы площадки (см. рис. 4а). Это не только снижает прочность микросварного соединения, но и приводит к значительным механическим напряжениям в кремнии и образованию в нем кратеров (см. рис. 4б) [3–5].

В исследовании использовались два типа медной проволоки диаметром 30 мкм производства фирмы Tanaka [6]: CFB-1 и CLR-1A. Второй тип проволоки CLR-1A имеет тонкое (несколько десятков нанометров) покрытие палладием для защиты от атмосферного окисления и увеличения срока использования (до 6 месяцев).

Медная проволока, подлежащая сварке, должна быть гладкой и чистой. При УЗС поверхностные пленки и загрязнения интенсивно вытесняются из зоны сварки, но не полностью. Поэтому проволоку необходимо очищать от смазки, отпечатков пальцев, водных капель, и других включений, загрязняющих контактные площадки кристалла и кор-

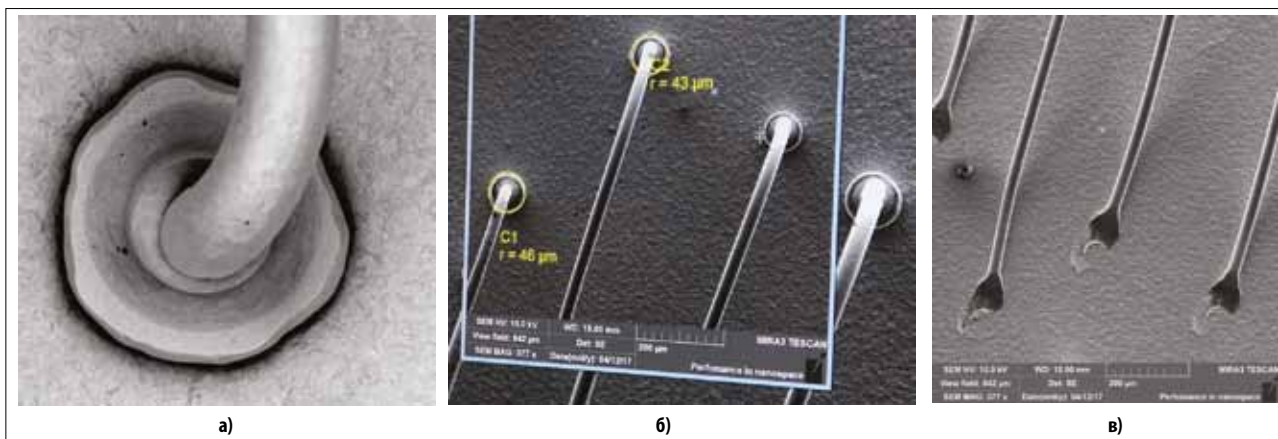


Рис. 8. Вид соединений шариком встык при использовании УЗ частот 64 кГц (а), 110 кГц (б) и клиновой (2-ой точки) сварки (в)

пуга при сборке, что повышает качество микросварного соединения.

Известно, что «сердцем» современной термозвуковой установки является ее ультразвуковая система, состоящая из ультразвукового генератора (УЗГ) и ультразвукового преобразователя (УЗП). Насколько стабильно будет работать система, можно судить по амплитудно-частотным характеристикам УЗП (см. рис. 5).

С характеристиками УЗП, показанными на рисунке 5, получены удовлетворительные результаты при сборке реальных приборов (см. рис. 6).

Для присоединения медных выводов использовались установки разработки ОАО «ПЛАНАР-СО» автомат ЭМ-4461 (см. рис. 7а) и полуавтоматическая универсальная установка ЭМ-4320У (см. рис. 7б), адаптированная под термозвуковую сварку медной проволокой.

Присоединение медной проволоки двух типов диаметром 30 мкм производства фирмы Tanaka CFB-1 и CLR-1A проводилось на установке присоединения

медной проволоки ЭМ-4461 с использованием УЗ систем стандартной частоты 64 кГц и повышенной частоты 110 кГц (см. рис. 8). Ввиду повышенной микротвердости медной проволоки для достижения необходимой прочности сварных соединений УЗ мощность, подводимая к преобразователю, была увеличена в 1,4–1,5 раза по сравнению с процессом присоединения золотой проволоки такого же диаметра. Величина нагрузки на первой точке (шарик) оптимизирована на величине 65 Г, на второй точке (клин) – 110 Г. При этом деформация шарика при приемлемой прочности присоединения на стандартной 64 кГц частоте была несколько завышенной (см. рис. 8а).

При использовании УЗ системы повышенной частоты 110 кГц форма сварных соединений практически сравнима с формой присоединения золотой проволокой. При сравнении двух типов проволоки получена более стабильная (по прочности) вторая сварка клином для проволоки типа

CLR-1A с палладиевым покрытием (см. рис. 8в). Отмечена также прямолинейность формирования проволочных перемычек из медной проволоки из-за ее большей упругости. —

ЛИТЕРАТУРА

1. *Copper ball voids for Pd-Cu wires: affecting factors and methods of controlling*/C. C. Lee [and etc.]//IEEE 66th Electronic components and technology components conference, 2016.
2. *Wei T.C., Daud A.R. Mechanical and electrical properties of Au-Al and Cu-Al intermetallic layer at wire bonding interface*//Journal of Electronic Packaging, 2003, Vol. 125.
3. *Deley M., Levine L. The emergence of high volume copper ball bonding*//Kulicke&Soffa technical library on www.kns.com
4. *Y. Zeng, K. Bai, H. Jin Thermodynamic study on the corrosion mechanism of copper wire bonding*//Microelectronics Reliability № 53, 2013.
5. *Ланин В., Петухов И. Термозвуковое присоединение медной проволоки к контактным площадкам*//Электроника. Наука. Технология. Бизнес. 2011, № 3.
6. http://pro.tanaka.co.jp/en/products/Bonding_Wires.html