

Свариваемость гальванических покрытий для изделий электроники

Авторы статьи имеют значительный опыт работы в области исследования свойств гальванических покрытий для изделий электроники. Для эффективной замены драгоценных металлов авторами разработаны устройства и активированные процессы ультразвуковой микросварки. Представленная информация будет полезна специалистам, работающим в области сборки изделий электроники.

Владимир Ланин

vlanin@bsuir.unibel.by

Александр Хмыль

Свойства покрытий, определяющие качество сварных соединений

Широко используемым и трудоемким методом (50–70% общей трудоемкости изготовления интегральных микросхем) формирования соединений кристаллов с контактными площадками корпуса является проволочный микромонтаж [1], для которого применяют проволоку диаметром 20–60 мкм из золота, алюминия и его сплавов, значительно реже — из сплава палладия с никелем, либо никеля или меди. Для образования микросоединений в ИМС используют термокомпрессионную (ТКС), ультразвуковую (УЗ) и термозвуковую (ТЗ) микросварку. Процесс УЗ-микросварки сопровождается введением механических колебаний УЗ-частоты в зону контакта, что приводит к пластической деформации проволочного вывода, разрушению и удалению оксидных пленок с созданием атомно-чистых ювенильных поверхностей, интенсифицирует процесс образования активных центров при формировании микросварного соединения без большой деформации проволоки и значительного нагрева. При ТЗ-микросварке соединения формируются в результате совместного действия УЗ-энергии, усилия нагружения инструмента и температуры нагрева до 200–220 °С, что повышает воспроизводимость качества соединений и устраняет критичность к колебаниям свойств соединяемых материалов [2].

На надежность микросварных соединений влияют: физико-механические свойства материала контактных площадок, геометрическая форма инструмента, активация зоны контакта при сварке. Акустические условия в зоне УЗ-сварки зависят от морфологии покрытий контактных площадок. Намотившийся в промышленности отказ от применения золотого покрытия и переход к никелевым покрытиям связан с поиском оптимальных условий микросварки с ними [3]. При этом внимание уделяется таким характеристикам покрытий, как величина зерна, пористость,

концентрация неметаллических примесей, микрогеометрия поверхности. Для образования прочного и надежного микросварного соединения требуется поверхность покрытия контактных площадок с малой высотой микронеровностей и, возможно, меньшим значением внутренних напряжений в покрытии [4].

Большие перспективы имеет осаждение блестящих никелевых покрытий на корпуса ИМС в нестационарных условиях электролиза [5]. При чередовании прямого и обратного импульсов тока при определенном соотношении длительностей импульсов достигается положительный эффект в снижении средней высоты микронеровностей поверхности покрытий до 1,5–2,0 мкм, что увеличивает прочность соединений. При чередовании реверсного и постоянного токов обеспечивается высокое качество покрытий, увеличивается прочность соединений, а количество дефектов — минимально. Качество УЗ-микросварки зависит также от очистки соединяемых поверхностей. Наличие оксидных и адсорбированных пленок приводит к дестабилизации процесса микросварки, ухудшению качества и надежности сварных соединений.

Активация процесса УЗ-микросварки

Исследовано влияние режимов осаждения и состава электролита гальванических покрытий на прочность микросварных соединений в ИМС. Алюминиевую проволоку марки А999К0,9 толщиной 35 мкм разваривали между контактными площадками траверс медного ленточного носителя с различными гальваническими покрытиями на автомате ультразвуковой микросварки ЭМ-4020П при мощности УЗ-колебаний 0,1–0,15 Вт, частоте 66 ± 1 кГц, времени сварки 0,16–0,48 с, внешней статической нагрузке 20–60 сН. Контроль прочности микросварных соединений проводился на установке 12МПО-1 при скорости нагружения до 10 сН/с с цифровой фиксацией результатов.

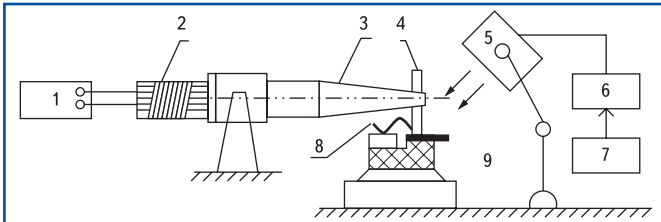


Рис. 1. Схема УЗ-микросварки с ИК-активацией: 1 — генератор ультразвуковых колебаний; 2 — магнитострикционный преобразователь; 3 — ультразвуковой инструмент; 4 — сварочный капилляр; 5 — источник ИК-излучения; 6 — блок питания; 7 — блок управления; 8 — проволочный вывод; 9 — контактная площадка

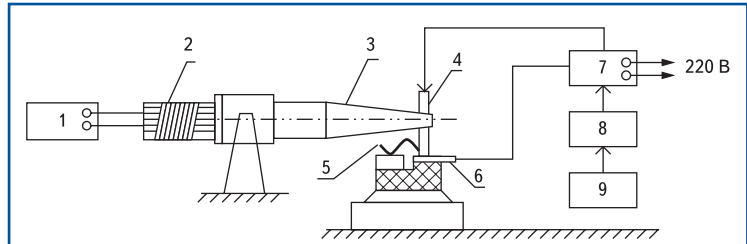


Рис. 2. Схема УЗ-микросварки с токовой активацией: 1 — генератор УЗ-колебаний; 2 — акустический трансформатор; 3 — волновод; 4 — сварочный капилляр; 5 — алюминиевая проволока; 6 — контактная площадка; 7 — блок токовой активации; 8 — блок питания; 9 — блок управления

Для повышения прочности и воспроизводимости межсоединений в ИМС применены способы активации УЗ-микросварки путем пропускания импульса постоянного тока в момент сварки либо инфракрасным (ИК) излучением. Активация импульсами ИК-излучения интенсивностью $(2-5) \times 10^4$ Вт/м² позволяет осуществить термовзвукую сварку соединений, снижает до минимума эффект проскальзывания проволочного вывода и приводит к увеличению фактической площади соединения. Разработан процесс ультразвуковой микросварки, включающий приложение к соединяемым элементам внешнего статического давления, подачу в зону сварки УЗ-колебаний и нагрев элементов импульсами некогерентного ИК-излучения в течение цикла сварки всех выводов ИМС [6]. Схема устройства представлена на рис. 1.

При сварке проволочного вывода 8 с контактной площадкой 9 ИМС внешнее статическое давление прилагали к сварочному капилляру для деформации вывода в процессе сварки.

Проволочный вывод и контактные площадки нагревали импульсами ИК-излучения от ИК-лампы, закрепленной в фокусе параболического рефлектора, при амплитуде напряжения 80–100 В. Формирование амплитуды и длительности импульсов, а также управление процессом УЗ-микросварки осуществлялось по программе.

Для повышения качества и надежности микросварных соединений в процессе УЗ-микросварки корпусов ИМС, не содержащих драгоценных металлов, пропускали электрический ток через оба соединяемых элемента в направлении, обеспечивающем электроперенос диффузионно-подвижного металла в соединении [7]. Реализация предложенного способа осуществлена по схеме, приведенной на рис. 2. При микросварке алюминиевой проволоки 5 к контактной площадке 6 корпуса ИМС один из полюсов блока токовой активации подавался на акустический трансформатор УЗ технологической системы, а другой подключался к выводной рамке. Внешний вид устройства токовой активации [8] и микропроволочных соединений приведен на рис. 3. При токовой активации процесса УЗ-микросварки прочность контактных соединений увеличивается до 12–15 сН при производительности 14 000–18 000 соед./ч. Длительность импульса тока составляла 30–60 мс. Поскольку в соединении Al-Ni алюминий обладает большим



Рис. 3. а) Устройство токовой активации; б) микропроволочные соединения: 1 — проволока; 2 — контактная площадка; 3 — подложка

коэффициентом диффузии, чем никель, то создание постоянного электрического тока, проходящего через соединение, стимулирует процесс диффузионного взаимодействия в процессе микросварки.

Свойства микросварных соединений

Прочность микросварных соединений увеличивается при росте температуры ИК-активации и достигает максимума при 240 °С, так как при повышении температуры увеличивается степень обжатия выводов на 15–20%. При дальнейшем увеличении температуры происходит значительное утоньшение микропроволоки вследствие пластической деформации, вплоть до ее разрыва, и поэтому прочность соединения уменьшается. Прочность микросварных соединений по серебряным покрытиям значительно выше, чем по покрытию Ni-V, которое характеризуется более высокой микротвердостью [9].

С ростом величины тока активации прочность микросварных соединений увеличивается и достигает максимума при 50 мА. При дальнейшем увеличении тока прочность

соединений уменьшается. Гистограммы прочности соединений по покрытию Ni-V при различных методах активации приведены на рис. 4.

Анализ гистограмм прочности показал, что активация ИК-излучением увеличивает прочность соединений на 15–20%, а токовая активация — на 10–15%. Воспроизводимость результатов и их однородность выше при ИК-активации. Ширина сварной точки — наибольшая с ИК-активацией при температуре 250 °С. Параметры микросварных соединений для различных видов сварки приведены в таблице 1.

Таблица 1. Зависимость параметров микросварного соединения от вида активации

Вид сварки	Ширина сварной точки, мкм	Высота сварного соединения, мкм	Степень обжатия по высоте
УЗ-сварка	80	10	0,72
УЗ-сварка + ток	55	7,9	0,77
УЗ-сварка + ИК 150 °С	73	5,0	0,86
УЗ-сварка + ИК 200 °С	75	4,3	0,88
УЗ-сварка + ИК 250 °С	80	2,7	0,93

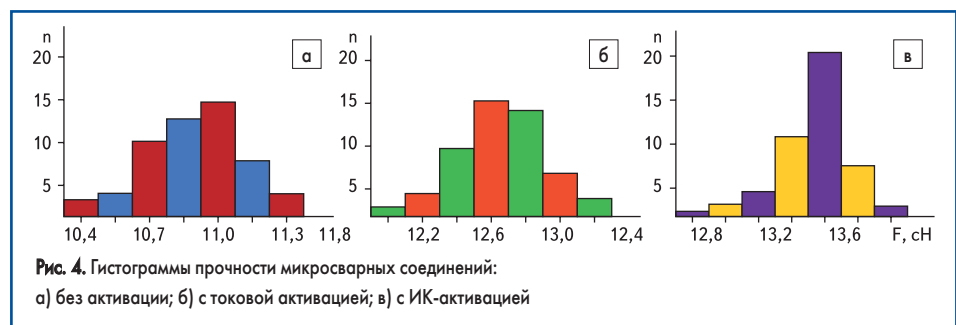
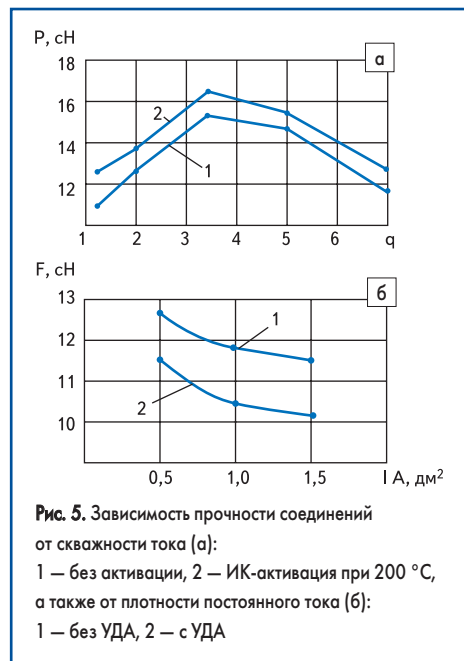


Рис. 4. Гистограммы прочности микросварных соединений: а) без активации; б) с токовой активацией; в) с ИК-активацией



Проведены исследования свариваемости серебряных покрытий с ультрадисперсным алмазом (УДА) при различных режимах электролиза: на постоянном токе (ПТ), импульсном (ИТ), реверсном (РТ), чередование постоянного и импульсного (ПТ+ИТ), постоянного и реверсного (ПТ+РТ), постоянного, импульсного и реверсного (ПТ+ИТ+РТ). Построены зависимости прочности микросварных соединений от скважности тока (рис. 5а) и величины постоянного тока (рис. 5б) при осаждении покрытия.

Прочность соединений по осажденному при постоянном токе покрытию с увеличением плотности тока падает. Это объясняется тем, что при увеличении плотности тока покрытие становится более рыхлым.

Прочность микросварных соединений, полученных по покрытию, осажденному на импульсном токе, зависит от скважности тока. С увеличением скважности прочность микросварных соединений повышается до значения 16,7 сН при скважности 3,5. Дальнейшее увеличение скважности импульсного тока ведет к уменьшению прочности микросварного соединения из-за уменьшения площади соприкосновения проволоки с покрытием. Это происходит из-за роста размеров зерен покрытия. Активация процесса микросварки ИК-нагревом приводит к увеличению прочности в среднем на 15%, так как нагрев поверхности увеличивает пластичность материала покрытия и, тем самым, площадь взаимодействия микропроволоки и материала покрытия.

С целью экономии драгоценных металлов для изготовления ИМС используют корпуса с покрытием сплавом Ni-B вместо золотого покрытия. Замена золотого покрытия на Ni-B потребовала дополнительных исследований влияния параметров проволоки и режимов УЗ-сварки межсоединений на прочность микросварных соединений. В этой связи проведена оценка зависимости прочности межсоединений, полученных методом УЗ-сварки на ЭМ 4020Б, алюминиевой проволокой диаметром 35 мкм по покрытию Ni-B от параметров проволоки. Исследовалась разварка 14- и 16-вы-

Таблица 2. Влияние параметров проволоки на свойства соединений

Тип проволоки	Параметры исходной проволоки	Параметры проволоки после отжига	Прочность соединений на разрыв, г	Характер места обрыва соединений при контроле
Ак0,9ПТ35	32–34 г 1–2%	18–20,5 г 2,5–5,0%	4,5–8,0	20% отлип от трав. 80% обрыв по пров.
		21–27 г 1,5–3,0%	7,5–15,0	4% отлип от трав. 96% обрыв по пров.
		28–30 г 1,0–2,5%	7,0–9,5	40% отлип от трав. 60% обрыв по пров.
Ак0,9ПМ35	21–25 г 3–5%	не отжигается	8,0–14,5	4% отлип от трав. 96% обрыв по пров.

Таблица 3. Влияние технологических испытаний на прочность соединений

Тип корпуса	Распределение прочности после разварки, г	Характер места обрыва после разварки	После воздействия температуры +150 °С 48 ч		После 20 термоциклов +150/–60 °С	
			Распределение прочности, г	Характер места обрыва	Распределение прочности, г	Характер места обрыва
14-выв. Ni-B	7,5–9 – 62% 9–11 – 26% 12–15 – 12%	4%-ный отлип на трав. 96%-ный обрыв	6,5–8 – 28% 8,5–10 – 66% 10,5–11 – 6%	26%-ный отлип на траверсе 74%-ный обрыв	60–8 – 30% 8,5–10 – 60% 10,5–11 – 10%	40%-ный отлип 60%-ный обрыв
16-выв. Ni-B	8–10 – 54% 11–12 – 36% 13–15 – 10%	100%-ный обрыв по проволоке	6,0–8 – 24% 8,5–10,5 – 70% 10,5–11,5 – 6%	2%-ный отлип 98%-ный обрыв	7,5–8 – 20% 8,5–10 – 80%	100%-ный обрыв
14-, 16-выв. Au	8–15,5	100%-ный обрыв	7,5–13	100%-ный обрыв	6,5–13	100%-ный обрыв

водных металлокерамических корпусов на оборудовании и оснастке, применяемой для соответствующих Au-корпусов. Физические параметры алюминиевой проволоки Ак0,9 ПТ-35 регулировались режимами ее отжига.

Полученные результаты по прочности межсоединений и анализ их места обрыва приведены в таблице 2. Установлено, что для 14-, 16-выводных корпусов по покрытию Ni-B толщиной 6 мкм качественные микросварные соединения могут быть получены при разварке проволокой с прочностью на разрыв 21–27 г (относительное удлинение 1,5–4,0%). При использовании проволоки с прочностью на разрыв 20 г и менее и выше 28 г не удалось обеспечить образование качественных микросварных соединений по покрытию Ni-B.

Оценка динамики изменения прочности микросварных соединений в процессе воздействия технологических факторов проведена для 14- и 16-выводных корпусов с покрытием Ni-B по изменению прочности после термовыдержки при 150 ± 50 °С в течение 48 часов и после термоциклирования +150/–60 °С (табл. 3). Анализ показал, что при воздействии как повышенной температуры 150 °С в течение 48 часов, так и при воздействии термоциклов происходит ухудшение сцепления сварных соединений с покрытием Ni-B, и при испытаниях межсоединений на разрыв уже в 30–40% случаев имеет место отслоение сварных точек от траверса, хотя и при значениях прочности на разрыв, удовлетворяющих требованиям нормативно-технической документации. При использовании корпусов с покрытием золота (толщина 3–6 мкм) при оптимальных режимах УЗ-сварки воздействие технологических факторов приводит лишь к снижению прочности сварных соединений на разрыв без разрушения сцепления сварных точек алюминиевой проволоки с золотым покрытием. Это позволяет говорить о том, что замена покрытия золота на корпусах ИМС на Ni-B не адекватна с точки зрения надежности их работы

при эксплуатации и не исключается вероятность отказов, связанных с разрушением сварных соединений на траверсе. Для улучшения УЗ-сварки после перемотки и отжига проволоки целесообразно проводить «термостарение» проволоки перед разваркой: то есть выдерживать катушки с перемотанной проволокой при 100±10 °С в течение не менее 4 часов. Это снимает остаточные механические напряжения в проволоке, улучшает ее свиваемость с катушек в процессе разварки.

Для 16-выводных корпусов с покрытием гальваническим сплавом Ni-B получены положительные результаты не только в процессе УЗ-сварки (табл. 3), но и после испытаний. Случаи разрушения микросварных соединений при проверке прочности межсоединений на разрыв не превышают 2%. Отличие в устойчивости микросварных соединений к технологическим факторам (температура, циклическое изменение температуры) для 14- и 16-выводных ИМС обусловлено, по всей вероятности, тем фактом, что закрепление 16-выводных корпусов на позиции разварки жесткое (ручной столик), а для 14-выводных ввиду автоматической подачи кассеты-носителя в зону сварки — менее жесткое.

Кроме того, покрытие Ni-B наносится на различную основу — ковар 29НК для 14-выводных и проводящая паста на основе вольфрама по керамике для 16-выводных корпусов.

Заключение

Качество микросварных соединений в значительной степени зависит от физико-механических свойств материалов и морфологии поверхности покрытий контактных площадок. Гальванические покрытия, осажденные импульсным током при низкой скважности, имеют мелкозернистую структуру, более плотную упаковку кристаллов и увеличение опорной поверхности слоев за счет сглаживания их рельефа. Применение комбинированных

режимов электролиза в сочетании с активацией процесса УЗ-микросварки позволяет получать стабильно высокую прочность микросварных соединений. Поэтому использование таких покрытий в современных изделиях электроники дает возможность отказаться от золочения, а также применять локальное серебрение с меньшей толщиной, что обеспечивает экономию благородных металлов и уменьшает себестоимость изготовления изделий. ■■■

Литература

1. Емельянов В. А. Технология микромонтажа интегральных схем. Минск: Белорусская наука, 2002.
2. Онегин Е. Е., Зенькович В. А., Битно Л. Г. Автоматическая сборка ИС. Минск: Высшая школа, 1990.
3. Ануфриев Л. П., Емельянов В. А., Кушнер Л. К., Ланин В. Л., Хмыль А. А. Повышение качества сборки и монтажа интегральных схем // Электронная промышленность. 1990. № 5.
4. Емельянов В. А., Достанко А. П., Ланин В. Л., Хмыль А. А. Выбор покрытий для корпусов интегральных схем // Электронная техника. Серия 7: Технология, организация производства и оборудование. М.: ЦНИИ «Электроника», 1987. Вып. 1 (140).
5. Емельянов В. А., Ланин В. Л., Хмыль А. А. Исследование свариваемости проволочных выводов с никелевыми покрытиями контактных площадок интегральных схем // Электронная техника. Серия 6: Материалы. М.: ЦНИИ «Электроника», 1986. Вып. 2 (213).
6. Emelyanov V. A., Lanin V. L., Khmyl A. A., Koguch E. I. New Process Micromounting of Integrated Circuits // Scientific Reports 13-th Intern. Conf. of the University of Applied Sciences Mittweida. 1998. № 5.
7. Khmyl A. A., Dostanko A. P., Lanin V. L., Emelyanov V. A. Materials and Technology of Contact Joins Made Ultrasonic Microwelding // Proc. of the 16-th International Conference on Electrical Contacts. 7–11 September 1992. Loughborough, England.
8. Ланин В. Л., Хмыль А. А. Устройство токовой активации ультразвуковой микросварки // Сварочное производство. 1993. № 5.
9. Ланин В. Л., Кушнер Л. К., Бондарик В. М. Свариваемость и паяемость композиционных серебряных покрытий для изделий электронной техники // Материалы докл. Междун. конф. "ELECTRONICS-2000". Каунас, 2000.