

Использование бессвинцовой пайки в технологии поверхностного монтажа

Александр Серёгин (Московская обл.)

В статье проанализирована потребность в бессвинцовых припоях для технологии поверхностного монтажа. Исследована применимость бессвинцовых припоев в сопряжённой (контактной) системе ячеек электронных устройств. Представлены технологические рекомендации по использованию бессвинцовых припоев.

Стремительное развитие микроэлектроники, увеличение плотности монтажа ячеек электронных устройств (ЭУ) при постоянной миниатюризации корпусов компонентов привело к неизбежному использованию безводных, матричных, мелкошаговых кристаллодержателей типа BGA (Ball Grid Array). В этом случае сборка компонентов имеет ряд особенностей, связанных с точностью дозирования припойной пасты, её выбором и нанесением. Точность и надёжность получения монтажных плотно расположенных контактов (в частности, паяных соединений) корпусов СБИС на печатных платах связана:

- со свойствами припойного материала и правильным его выбором;
- с точностью дозирования припоя;
- с оптимальным подбором технологической среды и режима оплавления припоя при пайке;
- с шагом выводов корпусов компонентов;
- с точностью позиционирования компонентов.

В настоящее время в состав припоев и припойных паст входит свинец, который считается ядовитым металлом. Как и все его производные; свинец накапливается в организме человека (частично замещая кальций костного скелета) и вызывает различные заболевания. Максимальное допустимое содержание свинца в воздухе производственных помещений составляет $0,0007 \text{ мг/м}^3$, для воды – $0,1 \text{ мг/л}$. Поэтому немало проблем появилось с утилизацией отработанных свинцовосодержащих ЭУ. Кроме того, рост потребностей в ЭУ, эксплуатируемых при повышенных термоциклических нагрузках, в значительной степени способствовал появлению тенденции перехода к бессвинцовым технологиям, в

том числе и в микроэлектронике. Прежде всего, это применение других металлов в припоях и покрытиях выводов компонентов.

В поисках альтернативы пайке свинцовосодержащим припоем следует руководствоваться степенью опасности материалов припоев. Так, например:

- кадмий высокотоксичен, его применение нежелательно без использования защитных средств;
- сурьма токсична и не рассматривается как основной металл в сплавах припоев;
- серебро и медь используются в бессвинцовых сплавах в малых количествах, уровень опасности этих материалов невысок;
- олово и цинк – основные ингредиенты, которые могут становиться токсичными при повышенных дозах в сплавах;
- токсичность висмута невысока, но он обладает повышенным удельным объёмным сопротивлением.

Очевидно, что олово и в будущем останется главной составляющей мягких припоев для монтажа ЭУ. Сплавы Sn/Ag/Cu целесообразно исследовать с точки зрения перспективности их применения в припойных пастах для монтажа плотноупакованных ЭУ. Состав и некоторые свойства припоев для технологии поверхностного монтажа (ПМ), в том числе исследуемых в данной работе, представлены в таблице.

В результате проведения сборочно-монтажных процессов на экспериментальных образцах ячеек ЭУ было обнаружено, что сплавы Sn/Ag/Cu проявляют свойства, подобные свойствам эвтектического сплава Sn/Pb/Ag. Однако сплав Sn/Ag/Cu плавится при температуре 490 К , что на 34 К больше, чем Sn/Pb. Печатные платы, компоненты, флюсы, подверженные высоким тем-

пературам пайки, испытывают большие термодинамические воздействия, которые способны вызывать разрушения, дефекты и снижать надёжность межсоединений. Динамику этих процессов можно оценить на основе известных представлений об ускорении процессов термодеструкции: с повышением температуры на каждые 8 град усов количество дефектов увеличивается примерно в два раза.

Исследования свойств и целесообразности применения сплавов с другими ингредиентами, имеющих меньшую температуру плавления, показали, что висмут, серебро и индий могут содержаться в сплавах только в малых дозах (из-за их дороговизны). Кадмий чрезвычайно токсичен и поэтому не пригоден для применения в составе припоев. Сурьма токсична, но в меньшей мере, чем свинец и кадмий, поэтому может использоваться в незначительных количествах в составе сплавов. Цинк снижает температуру плавления, доступен, недорог, но при пайке образует шлак из-за интенсивного окисления, провоцируя коррозию (см. таблицу).

Повышенные температуры бессвинцовой пайки обуславливают необходимость пересмотра технологий и материалов по всей цепочке сборки и монтажа ЭУ. Процессом бессвинцовой пайки сложнее управлять, поскольку он проходит в узком температурном диапазоне технологических режимов. С повышением температуры образуется шлак, отслаиваются контактные площадки, возникают проблемы с оплавлением шариков (или столбиков) BGA-компонентов. Больше внимание должно быть уделено контролю режима испарения, удалению продуктов взаимодействия флюса с контактируемыми материалами, охлаждению, а также параметрам производственной и технологической среды в части температуры и влажности. Защитная (например, азотная) среда может улучшить качество межсоединений, снимая ряд проблем, связанных с повышенными температурами бессвинцовой пайки.

С увеличением температуры пайки требуется использование специально-

го флюса. Распространённый сегодня флюс VOC (Volatile Organic Compounds – композиция с органическими испаряющимися ингредиентами) не удовлетворяет требованиям бессвинцовой пайки. При более низких температурах, т.е. в момент расплавления и смачивания объекта припоем, этот ингредиент уже отсутствует. Кроме того, данный органический флюс относится к веществам экологически небезопасным. Поэтому в бессвинцовой пайке используют флюсы на водной основе, не содержащие подобных ингредиентов. Преимущества таких флюсов заключаются в невоспламеняемости, меньшей интенсивности испарения, способности быть активными в широком температурном диапазоне. Для продления жизнеспособности этот флюс может быть заморожен как отдельно, так и в составе припойных паст. Кроме того, он обеспечивает невысокое поверхностное натяжение припоя и способен флюсовать металлизированные отверстия.

Выбор навесных компонентов является наиболее критичным в бессвинцовой технологии. Большая часть ком-

понентов, предлагаемых сегодня на рынке, предназначена для пайки припоями на основе сплава Sn/Pb. Компоненты для бессвинцовой пайки обычно поставляются с покрытием выводов оловом либо сплавами типа Sn/Cu и Sn/Bi. Для бессвинцовой пайки стандарты на покрытия выводов компонентов до сих пор отсутствуют, поэтому качество и надёжность паяных соединений, как показывают испытания, нельзя гарантировать.

Существует несколько типов компонентов для поверхностного монтажа, реагирующих на условия пайки по-разному, в зависимости от конструкции:

- дискретные компоненты, такие как безвыводные резисторы и конденсаторы;
 - корпуса типа PQFP (Plastic Quad Flat Pack);
 - кристаллодержатели с матричными шариковыми выводами типа BGA и др.
- В настоящее время для компонентов преимущественно используют следующие материалы покрытия выводов:
- матовое гальваническое олово для дискретных компонентов;

- матовое гальваническое олово для компонентов с коротким жизненным циклом (5 лет и менее);
- матовое гальваническое олово с никелевым подслоем для компонентов с увеличенным жизненным циклом (более 5 лет);
- припой типа Sn/4Ag0,5/Cu для шариковых выводов корпусов типа BGA;
- гальваническое олово (или облуживание) для компонентов, монтируемых в отверстия плат.

Проведённые эксперименты показали несовместимость покрытия выводов компонентов сплавом Sn/Pb с бессвинцовой технологией пайки: сочетание свинцовосодержащих припоев с бессвинцовыми становится источником дефектов. Это в особенности относится к СБИС в корпусах типа BGA и QFP. Некоторые покрытия, например: Sn/Pb/Bi (с температурой плавления 363 К), Sn/Bi (411 К), Sn/Pb/Ag (452 К), заметно снижают температуру процесса оплавления припоя, но создают трудности в управлении процессом бессвинцовой пайки и ухудшают её надёжность.

Состав и основные свойства припоев для технологии поверхностного монтажа

Состав (содержание ингредиентов в вес, %)	Температура солидус-ликвидус, °С	Температурный интервал $T_L - T_S$, °С	Основные свойства и область применения
37,5Sn/37,5Pb/25In	134S–181L	47	Хорошая смачиваемость; не рекомендуется для пайки золота
80Au/20Sn	280E	0	Наилучший припой для золота при пайке выводов поверхностно-монтируемых компонентов
62Sn/36Pb/2Ag 10Sn/88Pb/2Ag 1Sn/97,5Pb/1,5Ag	179E 268S–290L 309E	0 22 0	Припои с небольшой добавкой серебра для снижения растворимости серебряных покрытий; не рекомендуются для золота; сплав 62/36/2 является наиболее прочным среди припоев Sn/Pb
96,5Sn/3,5Ag 95Sn/5Ag	221E 221S–240L	0 19	Широко используемые припои, обеспечивающие высокую прочность без применения Pb; минимальная растворимость серебра; не рекомендуются для пайки золота; при повышенных температурах возрастает скорость диффузии меди (из коммутационных плат) в олово, что вызывает образование и рост зёрен интерметаллидов Cu_6Sn_5
42Sn/58Bi 65Sn/35Bi 40Sn/40Pb/20Bi	138E 150S–188L 121S–130L	0 38 9	Низкотемпературные эвтектические сплавы большой прочности с малым поверхностным натяжением
95,3Sn/4Ag/0,7Cu 95,5Sn/4Ag/0,5Cu	217S–219L 217S–225L	2 8	Припои, рекомендованные в качестве наиболее перспективной замены свинцовосодержащих припоев в технологии поверхностного монтажа; устойчивы в условиях циклических термических нагрузок (в широком диапазоне температур от –175 до более чем 160°C); требуют специальный флюс; лучшее качество паяных соединений получено при пайке в атмосфере азота
91,8Sn/3,4Ag/4,8Bi	200S–216L	16	Устойчивость к термоциклам, но рекомендуется использовать только в полностью бессвинцовых процессах, в противном случае припой становится легкоплавким ($T_{пл}$ сплава Sn/Bi/Pb составляет 96°C)
99,3Sn/0,7Cu	227E	0	Используется при высоких температурах эксплуатации ЭУ (например, в автомобильной промышленности); по усталостным показателям значительно превосходит Sn/Pb, но по текучести уступает ему
90Sn/2Ag/7,5Bi/0,5Cu	198S–212L	14	Чувствителен к присутствию Pb в паяном соединении, поэтому надёжность контакта может быть непредсказуемой
48Sn/52In	118E	0	Припой применяется для пайки термочувствительных компонентов; усталостные характеристики при высоких температурах неудовлетворительные; имеет высокую стоимость
91Sn/9Zn	199S–210L	11	Припой не обладает хорошей смачиваемостью по сравнению с другими не содержащими Pb, но имеет высокую теплопроводность; недорогой; сплав подвержен коррозии и окислению; требует проверки совместимости с флюсами и стабильности свойств припойной пасты с его содержанием при хранении; наличие Zn в составе припоя снижает его $T_{пл}$; рекомендуется для пайки алюминия с применением УЗ

Примечание: S – солидус, L – ликвидус, E – эвтектика.

Риск выхода пайки из-под контроля увеличивается и в случае, когда компоненты имеют бессвинцовые покрытия, а паяются припоям Sn/Pb. При этом увеличивается вероятность расслоения расплава припоя при его кристаллизации в месте пайки и разбрызгивания легкоплавкого припоя.

Полученные результаты для совмещённых технологий показывают, что прочность паяных соединений при использовании бессвинцовых припоев несколько ниже, чем у свинцовосодержащих. В этом случае возрастает вероятность отказов компонентов из-за термоудара, т.к. температура пайки на 30...40 градусов выше. Не рекомендуется совмещать свинцовосодержащие и бессвинцовые технологии, (например пайка свинцовосодержащим припоем компонентов с бессвинцовым покрытием и наоборот), поскольку при этом получаются пористые межсоединения, что увеличивает вероятность отказов ЭУ.

Учитывая вышеизложенное, можно сделать следующие выводы: переход на бессвинцовые технологии, с точки зрения экономики и экологии, является преждевременным, т.к. использование

свинца в припоях составляет менее 1% от мировой добычи, а разработка новых технологий, оборудования, припоев, покрытий и т.д. потребует больших затрат. Увеличение температур оплавления припоя при пайке неизбежно влечёт за собой изменения технологий производства не только ячеек ЭУ, но и печатных плат и компонентов.

По результатам проведённых исследований разработаны конструкторско-технологические рекомендации. В частности, припойный материал рекомендуется выбирать, руководствуясь типом производства и условиями работы конечного изделия, с учётом свойств материалов диэлектрического основания и покрытий печатной платы и выводов компонентов, чувствительности компонентов к температуре и технологии пайки.

Температурно-временной режим, используемый для пайки припоем, например, Sn62/Pb36/Ag2, переносится на 30 градусов вверх по температурной шкале, при этом максимальная температура пайки составит 508 К. Такой сплав требует применения специального флюса с продлённой актив-

ностью, способного работать при повышенных температурах. Для электронной промышленности наиболее приемлемым припоем в качестве замены сплавов Sn63/Pb37 и Sn62/Pb36/Ag2 является сплав Sn95,5/Ag4/Cu0,7, пригодный для пайки оплавлением (т.е. в составе припойной пасты) и для пайки волной. Наличие меди препятствует образованию интерметаллидов в спае. Рабочая температура изделия с применением такого припоя составляет 448 К. Важно отметить, что выбор ингредиентов припоя требует тщательных исследований не только свойств паяных соединений, но и технологичности используемых при этом материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Заводян А.В., Волков В.А. Производство перспективных ЭВС. Учебное пособие. Часть 2. МИЭТ, 1999.
2. Петраков В. Компания AXICOM переходит на бессвинцовую технологию. Производство электроники. 2006. № 6.
3. Ефремов А., Новиков С. Вопросы внедрения бессвинцовой технологии. Информационный бюллетень ЗАО OSTEK. 2006. № 4.

