

# БЕССВИНЦОВАЯ ПАЙКА

## АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ СПЛАВЫ

М. Андрющенко

**Л**идер в области бессвинцового производства – японская промышленность. Начало его организации было положено в декабре 1997 года после издания закона о контроле утилизации веществ, содержащих свинец. Их подлежало герметично упаковывать перед захоронением для предотвращения выщелачивания свинца на поверхность. Основным потребителем свинецсодержащих материалов – автомобильная промышленность, поэтому вскоре был предложен второй закон, рекомендовавший принимать меры по добровольному снижению содержания свинца в автомобильных системах на 50% к 2001 году и на 66,67% к 2003-му.

В апреле 1998 года Япония начала реализацию проекта по изучению бессвинцового процесса, названного NEDO, целью которого было создание базы данных по бессвинцовым припоям для удобства выбора материала и разработки технологии пайки. Общий бюджет проекта составил 350 млн. иен за два года. Участники проекта – представители крупнейших японских производителей электронных систем, компонентов и сплавов. В результате уже к 2001 году следующие крупнейшие японские производители сумели сформировать собственные планы полного отказа от свинцовой пайки:

- **Matsushita (Panasonic)** еще в октябре 1998 года выпустила первый компактный мини-дисковый плеер, выполненный с использованием только бессвинцового сплава Sn/Ag/Bi/Cu. К 2001 году компания провозгласила полный отказ от применения свинца;
- **Sony** в 2001 году полностью исключила применение свинца при монтаже устройств с повышенной плотностью;
- **Toshiba** к 2000 году прекратила использовать свинец при производстве мобильных телефонов;
- **Hitachi** к 1999 году сократила использование свинца на 50% по сравнению с 1997-м. К 2001-му вся продукция компании выпускалась уже без применения свинца.

Существуют две основные причины перехода к бессвинцовым технологиям.

**Первая – влияние свинца на здоровье человека.** Это влияние хорошо известно. При попадании в организм через дыхательные пути или пищевод свинец накапливается в пищеварительном тракте, что оказывает вредное воздействие на кровеносную и центральную нервную системы человека. Кроме того, свинец влияет и на репродуктивную функцию человека. Стандартное значение максимально допустимой концентрации свинца в крови составляет 130 мг/л. В США допустимая концентрация – 100 мг/л.

Основные потребители свинца – автомобильная и военная отрасли промышленности. В электронной промышленности удельный вес применения свинца относительно мал – 0,5–7%, по различным источникам. Но вследствие стремительного роста отходов электронных систем, особенно бытовых, проблема избавления от свинца становится все острее. При выборе альтернативы свинцо-

Проводимые электронными компаниями мира программы перехода на полностью бессвинцовое производство электроники набирают темпы. В Японии работы подошли к заключительной стадии. Европейские законодатели торопят своих производителей отказаться от использования свинца в припоях для пайки электронной аппаратуры. Американские законодатели еще не определились с решением этой проблемы. Но все фирмы, поставляющие оборудование и материалы, стараются предложить рынку решения для перехода на бессвинцовую технологию [1,2].

Вой пайке следует руководствоваться степенью опасности материалов:

- кадмий – высоко токсичен и применяться не должен. Компания Ford Motors, например, запрещает использование материалов с содержанием кадмия;
- сурьма – высокотоксична и не рассматривается как основной металл в сплавах (средний риск, европейские ученые считают этот материал канцерогенным);
- серебро и медь используются в бессвинцовых сплавах в малых количествах – в Европе уровень опасности этих материалов считается низким;
- олово и цинк – основные элементы, которые могут использоваться для покрытий пищевой тары, но становятся токсичными при повышенных дозах в пище;
- висмут – безвредный металл, применяемый в медицине.

**Вторая причина – большие термические нагрузки на компоненты.** Это влечет за собой ужесточение требований к радиотехнологическим узлам пайки. В автомобильной промышленности

для уменьшения числа проводов и, следовательно, снижения стоимости электронной системы все больше микросхем размещается в моторном отделении, температура которого может превышать 150°C. Прочностные характеристики припоев Sn<sub>6</sub>Pb<sub>3</sub>x при циклических термических нагрузках ухудшаются уже при температуре 125°C, а более высокая температура приводит к пластическим деформациям, диффузии, рекристаллизации и росту зерна внутри узла пайки.

Обычные припои Sn<sub>62</sub>/Pb<sub>36</sub>/Ag<sub>2</sub> (температура плавления 179°C) и Sn<sub>63</sub>/Pb<sub>37</sub> (183°C) характеризуются достаточно хорошей стабильностью свойств и микроструктуры и, следовательно, надежностью паяных соединений при рабочей температуре до 150°C. Однако механическая стабильность паяных соединений ухудшается при приближении рабочей температуры к точке плавления и при термоциклировании в условиях повышенных температур, поэтому вероятность повреждения сплавов Sn/Pb достаточно высока, а прочностные характеристики Sn<sub>6</sub>xPb<sub>3</sub>x могут ухудшаться уже при 125°C. Более высокая температура приводит к пластическим деформациям, диффузии, рекристаллизации и росту зерна внутри узла пайки.

Один из перспективных альтернативных сплавов – система Sn/Ag/Cu. Этот сплав включен в список JEIDA и рекомендован Европееко-британским консорциумом по исследованию перспективных материалов (European Brite-Euram Consortia) как основной припой для электронной промышленности. Анализ систем сплавов Sn-Ag-X показал, что наиболее устойчив к появлению трещин при термических нагрузках и самая вероятная альтернатива системе Sn-Pb – это припой Sn/4Ag/0,5Cu.

Рассмотрим более детально и другие сплавы, используемые в промышленности как альтернатива сплавам Sn/Pb.

### СПЛАВЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В БЕССВИНЦОВЫХ ПРОЦЕССАХ [3,4]

**Sn/Ag (96,5Sn/3,5Ag, 221°C).** Имеет удовлетворительные смачиваемость, прочность и сопротивляемость термической усталости, поэтому используется в электронной промышленности. Тем не менее, при повышенных температурах возможны повреждения, связанные с термической усталостью. Эвтектика Sn/Ag в отличие от системы Sn/Pb (содержащей в олове относительно большое количество свинца, который при повышенной температуре из-за укрупнения зерна становится нестабильным, что может стать причиной образования трещин) характеризуются ограниченной растворимостью серебра в олове. Благодаря этому сплав устойчив к появлению неоднородных структур и накоплению дислокаций, т. е. обеспечивает большую стабильность и надежность паяных соединений.

Несмотря на хорошую стабильность эвтектики Sn/Ag, при пайке основного материала на базе меди комбинация высокого содержания олова и высокой температуры приводит к повышению скорости диффузии меди из материала основы в олово. Это, в свою очередь, вызывает образование и рост зерен интерметаллидов Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>. Для снижения скорости диффузии и роста зерен поверхность печатной платы должна быть обработана специальными покрытиями, например иммерсионным золотом (Au/Ni/Cu). Слой никеля между медью и золотом толщиной 2 мкм ограничивает диффузию меди и образование интерметаллидов. Другие поверхностные покрытия, такие как иммерсионное серебро и иммерсионный палладий, не формируют никелевый барьер. Их влияние на рост зерна интерметаллидных составляющих пока изучается.

**Sn/Ag/Cu (95,5Sn/4,0Ag/0,5Cu, 217–219°C).** Высокая температура плавления делает сплав идеальным для использова-

ния при температуре ~175°C. Но применение его требует специального флюса с продленной активностью, выдерживающего повышенные температуры. Для улучшения смачиваемости поверхности пайку можно проводить в атмосфере азота.

**Sn/C (99,3Sn/0,7Cu, 227°C).** Используется в высокотемпературных процессах в автомобильной промышленности. Сплав может применяться в процессах, где нежелательно присутствие свинца и серебра. Предварительные испытания показали, что по усталостным показателям припой значительно превосходит Sn/Pb, однако при тестировании на текучесть уступает ему.

**Sn/Ag/Cu/Sb (96,2 Sn/2,5Ag/0,8Cu/0,5Sb, известен как Castin, 217–220°C).** По механическим свойствам и надежности сопоставим с Sn/Ag/Cu, но содержит сурьму, которая относится к токсичным металлам.

**Sn/Ag/Bi (91,8Sn/3,4Ag/4,8Bi, 200–216°C).** Добавление висмута снижает температуру плавления и повышает твердость сплава. Сплав разработан и испытан в Сандийской национальной лаборатории. Исследования показали, что при использовании этого припоя для пайки на стандартную печатную плату с FR-4 покрытием компонентов в 68-выводных корпусах PLCC-типа и в 24-выводных SOIC-корпусах, а также 1206 конденсаторов, электрическая цепь модуля выдержала 10 тыс. термоциклов (от 0 до 100°C при скорости нагрева 10°C/мин). После 5 тыс. термоциклов трещин и деформаций на плате не было обнаружено. Эти результаты хорошо согласуются с данными Национального центра технологических наук (NCMS). Кроме того, сплав прошел испытания на совместимость с органическими покрытиями, предназначенными для защиты медных дорожек и сквозных отверстий при пайке. NCMS рекомендует использовать сплав при температуре 160–175°C. Важная особенность сплава: в случае отсутствия свинца на плате или в покрытии выводов компонентов формируется соединение Sn/Bi/Pb, температура плавления которого 96°C, т.е. сплав можно применять только в полностью бессвинцовом процессе, иначе он становится легкоплавким и надежность паяного соединения существенно снижается.

**Sn/Ag/Bi/Cu (90Sn/2,0Ag/7,5Bi/0,5Cu, 198–212°C).** При содержании висмута более 5% наблюдается небольшой пик плавления вблизи температуры плавления эвтектики Sn/Bi (138°C). Для припоя с содержанием висмута 7,5% пик плавления приходится на 1% от объема всего расплава. Такое количество расплавленной эвтектики оказывает непредсказуемое влияние на надежность соединения. В случае присутствия свинца на плате комбинация его с припоем приводит к образованию соединений SnPbBi, которые плавятся уже при 96°C, вследствие чего сплав не самая лучшая альтернатива SnPb.

**Sn/Bi (42Sn/58Bi, 138°C).** Применяется при пайке термочувствительных компонентов. Если в процессе присутствует свинец, образуется эвтектика SnPbBi (см. выше). Проведенное NCMS термоциклирование при температурах 0–100°C и -55–125°C (более 5 тыс. циклов) на платах с органическими покрытиями показало, что сплав по своим характеристикам, в том числе по прочности, превосходит Sn/Pb, что может показаться неожиданным, поскольку температура 125°C близка к точке плавления эвтектики Sn/Bi. Существуют два объяснения этому. Первое – припой Sn/Bi при 125°C нормализован, благодаря чему внутренние напряжения в ходе термоциклирования снимаются. Второе – припой рекристаллизуется. Кроме того, поскольку припой имеет эвтектическую структуру, отслаивания галтелей не происходит.

**Sn/In (48Sn/52In, 118°C).** Применяется для пайки термочувствительных компонентов. Благодаря присутствию индия припой устойчив к окислению, но подвержен коррозии в условиях повы-



шенной влажности. Кроме того, это очень мягкий металл, имеющий тенденцию к образованию холодносварочных соединений. Усталостные характеристики припоя при высоких температурах неудовлетворительны. Высокое содержание индия отражается на цене сплава и препятствует его широкому применению.

**Sn/Zn (91Sn/9Zn, 199°C).** Из-за содержания цинка сплав подвержен коррозии и окислению. Образец, оставленный на воздухе в течение 8 ч, корродирует, приобретая багрянистый оттенок. Припой в форме шариков активно вступает в реакцию с кислотами и щелочами с выделением газа. В течение очень короткого времени цинк содержащий припой в пасте реагирует с растворителем флюса, в результате чего цинк вызывает отверждение паяльной пасты, поэтому его совместимость с флюсами и стабильность при хранении находятся под большим вопросом. Расплавленный припой при пайке оплавлением не обладает хорошей смачиваемостью контактных площадок по сравнению с другими бессвинцовыми припоями. При пайке волной припоя наблюдается тенденция к возникновению чрезмерного количества шлаков. Тем не менее, такие сплавы находят применение в промышленности.

**Sn/Au (80Sn/20Au, 28°C).** Тугоплавкая эвтектика. При термоциклировании возникают трещины. Природа этого явления не изучена. Высокая стоимость ограничивает применение сплава во многих областях, где стоимость – основной фактор, определяющий пригодность того или иного сплава.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Можно сделать несколько основных выводов, способных облегчить задачу инженеров-технологов при переходе к бессвинцовой пайке. Сплав необходимо выбирать, руководствуясь типом производства, условиями работы конечного изделия, типом покрытия печатной платы и выводов компонентов, чувствительностью компонентов к температуре и технологией пайки. Температурный профиль, используемый при пайке Sn62Pb36Ag2, переносится на 30°C вверх по температурной шкале, при этом максимальная температура пайки составит 235°C. Такой сплав требует применения специального флюса с продленной активностью, способного работать при повышенных температурах. Для электронной промышленности наиболее приемлемый припой для замены сплавов Sn63Pb37 и Sn62Pb36Ag2 – Sn95,5Ag4Cu0,7, пригодный для пай-

ки оплавлением (т.е. в пасте) и для пайки волной. Наличие меди препятствует образованию интерметаллидов. Рабочая температура припоя – 175°C.

Отдельно необходимо отметить припои, содержащие висмут. Эти сплавы не могут применяться в процессах, где присутствует свинец (покрытия платы или выводов компонентов).

Существует еще несколько сплавов, которые могли бы применяться в различных областях промышленности. Но из-за специфических свойств и содержания дорогостоящих металлов их применение существенно ограничено.

## ЛИТЕРАТУРА.

1. Григорьев В. Бессвинцовая технология – требование времени или прихоть законодателей от экологии? – Электронные компоненты, 2001, № 6.
2. Медведев А. Монтаж компонентов. Куда движется технология? – Электронные компоненты, 2002, №7.
3. A. Grusd, Heraeus Inc. Integrity of solder Joints from Lead-free Solder Paste, October 2003.
4. National Center for Manufacturing Sciences: Lead-free Solder Project Final Report, August 1997.

### Микросхема драйвера для светодиодного экрана

Фирма SiTI (Тайвань) объявила о начале серийного производства микросхемы драйвера полноцветного светодиодного видеозащита DM163. В составе микросхемы – сдвиговые регистры, защелки и 24 усилителя постоянного тока, объединенные в три группы по восемь каналов в каждой (8x3). Яркость, обеспечиваемая каждой группой, регулируется с помощью одного внешнего резистора, при этом ток управления каждым из 24 выходов достигает 60 мА при напряжении до 17 В. Основная особенность DM163 – наличие устройства ШИМ, позволяющего управлять яркостью изображения и уровнем серого с градацией 64x256 уровней. Данные поступают на микросхему в последовательном формате с максимальной частотой 20 МГц. Ток драйвера может достигать 1,4 А. Поэтому особое внимание уделено отводу тепла. Микросхема выпускается в корпусах типов QFP44 и QFN40 с рассеиваемой мощностью 1,36 и 3,63 Вт, соответственно. Рабочий диапазон температур – -40-85°C.