

Форум по бессвинцовым технологиям пайки

Аркадий Медведев
Андрей Новиков

medvedevam@bk.ru

Нельзя сказать, что Директива ЕС RoHS о запрете с 1 июля 2006 г. использования свинца застала нас врасплох. Были предупреждения в верха о надвигающейся проблеме. Контрактные производители, работающие на экспорт, просто полностью перешли на бессвинцовые технологии. Здесь они столкнулись только с большим объемом дополнительных инвестиций для перестройки производства. Но все остальные, как всегда и везде в России, опомнились, когда ощутили на себе всю пагубность использования компонентов, предназначенных для бессвинцовой пайки, в сочетании с традиционно установившимися технологиями монтажа. Только тогда начались лихорадочные поиски решения проблемы, своеобразной для большого объема российского производства аппаратуры ответственного назначения. В этом секторе производства мы вынуждены (впрочем, как и европейские компании) оставаться на прежних оловянно-свинцовых технологиях, но использовать компоненты с покрытиями для бессвинцовой пайки (в отличие от Европы, использующей компоненты для этих целей по спецзаказу).

И как это характерно опять-таки для России, нас объединила общая беда, которая заставила нас отказаться от закрытости, свойственной последнему времени, и собраться вместе, чтобы обсудить пути решения общей для всех проблемы.

13-14 марта 2007 г. Гильдия профессиональных технологов приборостроения на базе Центра профессионального развития Издательского дома «Технологии» провела международный консультационный семинар «Проблемы бессвинцовых технологий производства электроники», собравший 47 специалистов предприятий. На семинаре были заслушаны 6 докладов, включая обстоятельные выступления немецких коллег, давно вовлеченных в исследования технологий и надежности бессвинцовых соединений.

22 мая 2007 г. Ассоциация «Фонд УНИЭТ», ФГУ 22 ЦНИИ МО РФ и Гильдия профессиональных технологов приборостроения, при содействии компании «ПетроИнТрейд» организовали научно-технический семинар-совещание «Проблемы бессвинцовых технологий производства электроники и пути технологического обеспечения надежности бессвинцовых паяных соединений». В работе семинара-совещания приняли участие 153 специалиста 92 предприятий оборонного комплекса из 34 городов России и Белоруссии. На семинаре-совещании были представлены 11 докладов-сообщений и один стендовый доклад. Было принято решение семинара-совещания, констатирующее состояние проблемы и определяющее дальнейшие пути ее разрешения.

Выступления автора данной статьи в основном касались обстановки, сложившейся в результате вступления в силу Директивы RoHS, по которой с 1 июля 2006 года в Евросоюзе запрещено в законодательном порядке применение ряда опасных материалов, в том числе свинца в припоях, используемых в производстве радиоэлектронной аппаратуры. Это означает, что европейский рынок, в состав которого входит 25 государств Европейского сообщества, будет закрыт для ввоза и продажи изделий, не соответствующих требованиям указанной директивы. Большинство технологически развитых стран мира поддержали требования RoHS, и некоторые из них уже оформили это в законодательном порядке. Теперь на рынок поступают компоненты, ориентированные на бессвинцовые технологии, отвечающие требованиям RoHS.

Запрет свинца в припоях, переход на бессвинцовые припои связаны с повышением температур паяк, которое влечет за собой необходимость использования других материалов и технологий. Создается впечатление, что эта директива была пролоббирована крупными корпорациями для подавления слабых конкурентов. Действительно, в припоях используется по различным меркам от 0,1% до 0,5% общемировой добычи свинца. Разница в этой оценке связана с тем, учитывается расход свинца в пулях и картечи или нет. В остальном свинец используется в массовом порядке в аккумуляторах, оболочках кабелей, при герметизации стыков канализационных труб или подземных тоннелей, гидроизоляции фундаментов, в красках и пр. И никто не собирается отказываться от его использования. Мало того, осознавая, что отказ от оловянно-свинцовых припоев сопряжен с потерей надежности, действие Директивы RoHS не распространяется на ответственные электронные системы: аэрокосмические комплексы, системы телекоммуникаций, безопасности, хранения и обработки информации, медицинские приборы.

Российские предприятия, выпускающие ответственную аппаратуру, также не намерены переходить на бессвинцовые технологии. Но при этом вынуждены использовать компоненты с покрытиями для бессвинцовой пайки. Таким образом, для отечественных предприятий возникает проблема использования смешанных технологий: пайка компонентов с покрытиями для бессвинцовой пайки свинецсодержащими припоями (ПОС-61).

Бессвинцовые технологии отличаются значительным повышением температур пайки с 230 °C для ПОС-61 (температура плавления 183 °C) до 265...270 °C для самого легкоплавкого, общепризнанного бессвинцового припоя Sn3Ag0,7Cu (температура плавления 217 °C). Такая температурная нагрузка требу-

ет не только смены припоев, но и смены флюсов, базовых материалов печатных плат, обновления технологического оборудования, пересмотра удельных энергозатрат. Это приводит к необходимости инвестиций в обновление производства, использованию более дорогих термоустойчивых материалов, перестройке технологий.

Вопрос обеспечения надежности бессвинцовых паяных соединений находится в центре внимания ряда зарубежных исследовательских центров, но эти исследования не касаются оценок смешанной технологии применительно к российским условиям. Тем не менее, результаты исследования процессов пайки и ресурсные испытания бессвинцовых паек, выполненные немецкими исследователями из Ростокского университета (Германия), привлекли всеобщее внимание.

Участие в данном семинаре группы из университета г. Росток проходило в рамках проекта "Network for Environmental Friendly Electronic Assembly Technologies — NEFEAT" (сеть предприятий и научных учреждений для поддержки экологических технологий производства электроники) при финансовой поддержке Министерства образования и науки Германии (BMBF) и организационной поддержке Немецкого центра авиации и космонавтики (DLR). В общей сложности было зачитано три доклада. Во вступительном докладе был представлен университет г. Росток и сфера деятельности Института приборостроения и схемотехники. Также участникам семинара был представлен вышеуказанный проект, основной целью которого является установление новых партнерских отношений между Россией и Германией. Официальным партнером от нашей страны в этом проекте выступает Гильдия профессиональных технологов приборостроения во главе с профессором МАИ Аркадием Максимовичем Медведевым.

В докладе «Паяемость бессвинцовых припоев» профессор Новотник представил тенденции в области применения бессвинцовых паяльных материалов. Признанными фаворитами среди них считаются эвтектический сплав SnAgCu для пайки оплавлением и эвтектический сплав SnCu для волновой пайки. Было дано детальное определение паяемости и представлены различные методы ее тестирования. Достаточно простым методом для сравнения паяемости различных припоев является тест на растекаемость. Исследования, проведенные в Институте надежности и микроинтеграции им. Фраунгофера с различными припоями (SnPb36Ag2, SnAg4, SnCu1, SnAgCu) на разных финишных поверхностях (Cu/OSP, ImmAg, ImmSn, NiP/Au), показали, что наилучший результат для бессвинцовых припоев может быть достигнут на поверхности NiP/Au (рис. 1).

Более детальную оценку паяемости можно получить посредством измерения силы смачивания (рис. 2). В ходе этого теста образец погружается в ванну с расплавленным припоем, и при этом измеряются все взаимодействующие силы, такие как вес, противодавле-



Рис. 1. Оплавленные шарики припоя SnCu1 на поверхности NiP/Au (слева) и на поверхности Cu/OSP (справа)

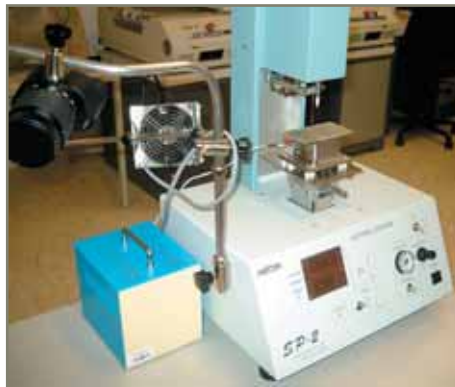


Рис. 2. Установка для измерения силы смачивания

ние, сила смачивания, сила поверхностного натяжения и сила сцепления.

Чтобы сравнить различные припои, исследования проводились при одинаковой относительной или гомологической температуре. Под гомологической температурой понимается отношение температуры обработки припоя к температуре его плавления, выраженных в градусах Кельвина. Так, например, для эвтектического припоя SnAgCu гомологическая температура со значением 1,1 соответствует температуре 266 °С. И наилучший результат для всех исследованных бессвинцовых припоев был зафиксирован при значении гомологической температуры 1,1. Особое внимание должно быть уделено применяемым флюсам. Для процессов бессвинцовой пайки необходимо использовать флюсы с более высокой температурой деградации.

Переход на бессвинцовую технологию неизбежно связан с повышением температуры пайки и соответственно более высокой нагрузкой на компоненты и печатную плату. В связи с этим становится актуальным использование нетрадиционных технологий пайки. К таким технологиям относится и конденсационная пайка. Сама технология конденсационной пайки была разработана еще в 1975 году, но ее популярность растет лишь в последнее время в связи с переходом на бессвинцовые технологии. Главное преимущество конденсационного метода пайки заключается в более эффективном переносе энергии, в десятки раз превышающем этот параметр при конвекционной пайке. Преимуществом этого метода является также то, что процесс оплавления происходит в паровой фазе, которая одновременно является защитной атмосферой для предотвращения окисления. За счет этого процесс пайки с ис-

пользованием бессвинцовых припоев может быть надежно осуществлен при более низких температурах. Так, например, пайка припоем SnAgCu может проводиться при 230 °С. В последнее время на рынке появились конвейерные конденсационные печи для крупносерийного производства и изготовления прототипов могут быть использованы печи периодического действия.

Далее были рассмотрены проблемы, возникающие при переходе на бессвинцовую технологию волновой пайки. За счет большего содержания олова бессвинцовые припои обладают по сравнению с эвтектическим свинецосодержащим припоем другими физическими свойствами, а именно более высоким поверхностным натяжением и меньшей плотностью, что может приводить к массовым образованиям перемычек припоя. Для улучшения отрыва припоя необходим больший угол наклона печатной платы при пайке. Еще одной проблемой является сильное коробление и изгиб печатной платы вследствие более высокой температуры. С помощью специальных поддерживающих клемм (рис. 3) механическая деформация печатной платы может быть доведена до минимума.



Рис. 3. Приспособление для предотвращения механической деформации печатной платы компании SEHO

Применение бессвинцовых припоев при волновой пайке также связано с усиленным выплавлением металла, содержащегося в проводниках печатной платы, и коррозией отдельных элементов печи, находящихся в контакте с расплавленным припоем. Коррозионностойкость таких деталей может быть повышена с помощью специальных керамических покрытий.

В завершение доклада были также рассмотрены проблемы, возникающие при пайке оплавлением бессвинцовой паяльной пасты, в частности, повышенное содержание пустот в паяных соединениях. Были предложены пути решения этой проблемы за счет специально-

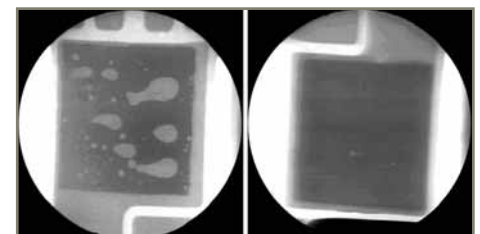


Рис. 4. Плоское паяное соединение микрочипа при пайке без вакуума (слева) и пайке с вакуумом (справа)

го дизайна шаблона для нанесения паяльной пасты. Но наиболее эффективным оказалось применение вакуума во время процесса пайки (рис. 4).

Второй доклад профессора Новотника был посвящен теме «Надежность бессвинцовых паяных соединений». По его мнению, сейчас не может быть дан однозначный ответ, надежны ли бессвинцовые паяные соединения, что обусловлено недостаточным количеством информации, полученной в течение сравнительно короткого реального срока эксплуатации электронных узлов с такими соединениями. Однако накопленный опыт позволяет проследить некоторые тенденции. Фактором, определяющим надежность паяных соединений, является их усталостная прочность, которая зависит от температуры эксплуатации и величины механических напряжений. При превышении гомологической температуры со значением 0,4 происходит пластическая деформация паяных соединений за счет ползучести. Допустимая гомологическая температура эксплуатации паяных соединений составляет 0,8–0,85. Для олово-свинцовых паяных соединений это значение соответствует температуре 110 °С, в то время как для бессвинцовых паяных соединений — около 125 °С, что делает применение бессвинцовых припоев особенно привлекательным для высокотемпературной электроники. Лишь при высоких механических напряжениях и сравнительно низкой температуре (например, комнатной) деформация бессвинцовых паяных соединений происходит быстрее, чем олово-свинцовых. Монтаж миниатюрных компонентов бессвинцовыми припоями обеспечивает большую надежность, так как геометрические размеры этих компонентов изменяются меньше при температурных изменениях, и, следовательно, паяные соединения испытывают меньшую механическую нагрузку. Дальнейшее повышение прочности бессвинцовых паяных соединений возможно за счет их легирования небольшим количеством определенных добавок.

Было исследовано влияние геометрии контактной площадки и толщины зазора паяного соединения на надежность бессвинцовых паяных соединений. В результате было установлено, что толщина зазора паяного соединения, которая может быть изменена за счет толщины шаблона для нанесения паяльной пасты, практически не оказывает влияния на надежность. Решающим фактором является размер мениска соединения, в связи с чем рекомендуется при проектировании увеличивать контактные площадки для монтажа компонентов (рис. 5).

В докладе о паяемости бессвинцовых припоев уже была затронута тема возникновения пустот в паяных соединениях. Данные пустоты могут оказывать влияние на надежность паяных соединений, так как они ведут к увеличению электрического и теплового сопротивления, а также снижают механическую прочность данных соединений. Это могут быть не только пустоты, которые образуются во время процесса пайки, но также и диффу-

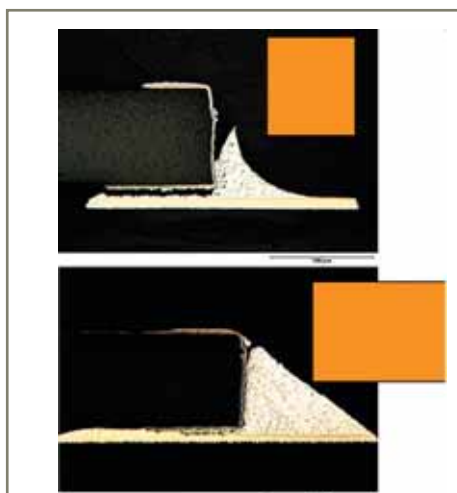


Рис. 5. Поперечные срезы чип-резисторов после температурных циклов: с маленькой площадью площадки (сверху) и с большой площадью площадки (снизу)



Рис. 6. Поперечный срез паяного соединения, содержащего диффузионные поры

зионные поры, возникающие при температурной нагрузке на границе контактного вывода компонента и припоя (рис. 6).

При переходе на бессвинцовую технологию монтажа для многих разработчиков актуален вопрос смешанной технологии, когда либо бессвинцовые компоненты монтируются оловянно-свинцовым припоем, либо же наоборот — компоненты со свинецсодержащей металлизацией монтируются бессвинцовыми припоями. Было показано, какие изменения происходят в паяном соединении при использовании бессвинцового паяльного материала и компонентов со свинецсодержащей металлизацией. В первую очередь это ведет к образованию более пластичных, по сравнению с бессвинцовой пайкой, фаз на границе припоя и компонента или печатной платы, что может привести к образованию трещин в данных местах при температурных циклах. К тому же подобное «загрязнение» бессвинцового припоя свинцом ведет к снижению температуры плавления, что, следовательно, снижает усталостную прочность соединения и ограничивает максимальную температуру эксплуатации такого электронного узла. Далее были представлены результаты практических исследований надежности смешанных паяных соединений по сравнению со свинецсодержащими и бессвинцовыми. Во время температурных циклов не было зафиксировано значительных отказов, в том числе и при ис-

пользовании смешанной технологии. Изменение прочности на срез после процесса пайки и после температурных циклов также не выявило значительных различий между компонентами со свинецсодержащими и бессвинцовыми покрытиями. Однако исследование поперечных срезов паяных соединений показало, что после температурных испытаний в свинецсодержащем контакте компонента видны уже значительные изменения и первые трещины, в то время как в полностью бессвинцовом варианте даже после 1000 циклов практически не видно трещин (рис. 7).

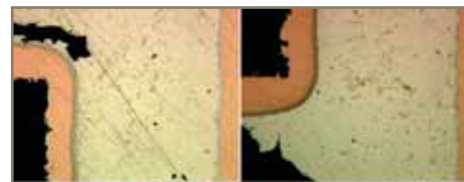


Рис. 7. Поперечные срезы паяного бессвинцовым припоем SnCuNi THT-разъема со свинецсодержащим покрытием (слева) и бессвинцовым покрытием (справа)

В конце доклада было уделено внимание различным специфическим дефектам, связанным с переходом на бессвинцовую технологию. Были рассмотрены причины возникновения и возможности предотвращения таких дефектов, как образование оловянных «усов», эффект Black-Pad и проблема смачиваемости поверхности ImmSn.

Основной причиной возникновения оловянных «усов» (рис. 8) является наличие термомеханических напряжений, вызванных различиями температурных линейных коэффициентов расширения различных подслоев. Для предотвращения этого эффекта можно использовать отжиг оловянной поверхности, а также тонкий слой олова толщиной не более 3,5 мкм. Проблема смачиваемости на поверхности ImmSn связана с образованием слоя интерметаллидов на поверхности, который резко ухудшает ее паяемость. Поэтому такая поверхность не предназначена для многократного процесса пайки, в том числе при двухстороннем поверхностном монтаже.

В завершение российским участникам семинара была представлена книга «Справочник RoHS» немецкого издательства Fogum, которая, наряду с описанием правовых аспектов европейской директивы RoHS, содержит многочисленные результаты исследований и прак-



Рис. 8. Оловянный «ус» на контакте компонента QFP

тическую информацию по переходу на бессвинцовую технологию монтажа.

Характерно, что все рассуждения о бессвинцовых технологиях ведутся по поводу паек, и зачастую игнорируются проблемы травмирования печатных плат высокими температурными нагрузками, свойственными бессвинцовой пайке. Тем не менее, повышение температур паек до 260...270 °С ускоряют процессы разрушения соединений и изоляции печатных плат. Такое повышение температуры пайки связано не только с большей температурой плавления бессвинцовых припоев, но и с худшей их способностью к смачиванию, которую компенсируют, поднимая еще на одну ступень температуру пайки. Но нужно помнить, что увеличение температуры на каждые 8...10 °С изменяет скорость всех процессов, в том числе скорость деградации, в два раза. А диэлектрическое основание плат после температуры стеклования интенсивно расширяется и за счет этого нагружает металлизацию отверстий и сдвигает внутренние соединения в многослойных печатных платах (рис. 9). Это может привести к многочисленным разрывам соединений и трещинам в объеме оснований плат (рис. 10).

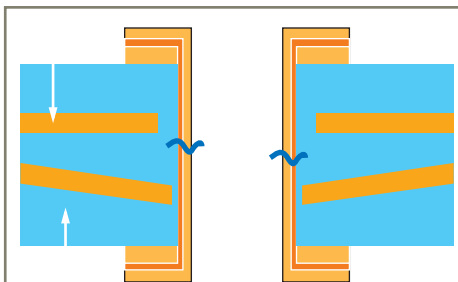


Рис. 9. Схема разрушения соединений в МПП. Для стеклоэпоксидных композиций: при $T < T_g$ ТКР $\approx 60 \cdot 10^{-6}$; при $T > T_g$ ТКР $\approx (200...300) \cdot 10^{-6}$; для меди ТКР $= 17 \cdot 10^{-6}$

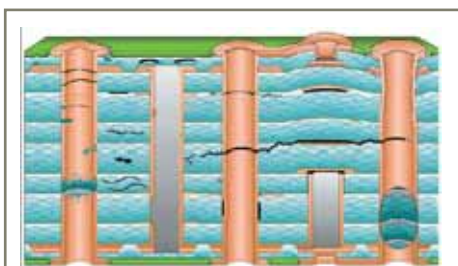


Рис. 10. Реакция основания МПП на термоудар при несоответствии T_g и пластичности меди температурным нагрузкам при пайке

Путь для избавления от таких разрушений — использование материалов с высокими значениями T_g и увеличение пластичности меди относительно прежних норм (до 6%, вместо прежних 3,5%, предписанных отраслевыми стандартами).

Кроме покрытий компонентов в пайке участвуют финишные покрытия контактных площадок печатных плат. Существующее разнообразие этих покрытий наводит на мысль о том, что ни одно из них не может быть универсаль-

ным, чтобы можно было использовать один-два варианта покрытий. К сожалению, их перечень широк:

- OSP (Organic Solderability Preservative);
- NiAu (ENIG — Electroless Ni & Immersion Gold, химический никель и иммерсионное золото);
- ImmAg (Immersion Ag);
- ImBi (Immersion Bi);
- Pd (Electroplate or Electroless Pd — химический или гальванический палладий);
- NiPd (Electroless Ni & Immersion Pd);
- NiPdAu (Electroless NiPd & Immersion Au);
- ImmSn (Immersion Sn);
- NiSn (Electroplate Ni & Sn);
- SnAg (Electroplate Sn & Ag);
- HASL (Hot-Air Solder Leveling).

В этом ряду лидирующими финишными покрытиями печатных плат являются OSP, ENIG, ImmSn, ImmAg и HASL.

HASL-процесс горячего облуживания плат состоит в их погружении на ограниченное время в ванну с расплавленным припоем. Во время быстрой выемки плат их обдувают струей горячего воздуха, с помощью которой снимаются излишки припоя и выравнивается покрытие. Но, несмотря на старания, наплывы припоя остаются. Особенно много их на развитых металлических поверхностях. При последующей сборке наплывы мешают установке мелких компонентов, что ограничивает применение HASL. Тем не менее, с точки зрения качества и исключительной длительной способности к пайке это покрытие, безусловно, наилучшее. Поэтому там, где изготовление плат и сборка происходят в одном производстве, всегда стараются найти компромиссы, чтобы использовать HASL.

Еще один существенный недостаток HASL-процесса — жесткий термоудар, который испытывают платы при погружении в расплавленный припой. Чем выше рабочая температура припоя, тем серьезнее проблема обеспечения надежности межсоединений. Ряд предприятий не использует HASL-процессы для многослойных плат, считая, что они уменьшают надежность внутренних межсоединений из-за таких термоударов. Приемлемые по качеству и относительно низкотемпературные бессвинцовые припои для HASL-процессов сегодня отсутствуют.

Покрытие OSP обеспечивает защиту медной поверхности от окисления в процессе хранения и пайки. В конце пайки этот слой, выполнив свою функцию, теряет способность обеспечивать последующие процессы пайки. В Японии это дешевое покрытие применяется более 20 лет. Но чтобы процесс пайки проходил в одну стадию группового нагрева, японские конструкторы изделий учитывают эту особенность в целях снижения себестоимости. OSP — хорошая альтернатива HASL. Но OSP имеет короткий жизненный цикл, что негативно сказывается на технологической надежности. Это покрытие не обеспечивает многократную пайку, тем более при высоких температурах. Чтобы избежать этих затруднений, приходится использовать азот в качестве нейтральной среды пайки.

Покрытие ENIG (~ 4 мкм Ni + ~ 0,1 мкм Au) — другая альтернатива HASL-процессам. Это покрытие свободно от ионных загрязнений и способно к многократной пайке при высоких температурах. Функция тонкого слоя золота — защита никеля от окисления, а сам никель служит барьером, предотвращающим взаимную диффузию золота и меди.

Характерный для покрытия ENIG дефект — черные контактные площадки, они появляются на поверхности из-за оголения никеля и выпотевания фосфора, если тонкий слой золота растворяется в припое раньше, чем припой смочит никель. Фосфор неизбежно внедряется в никель в процессе его химического осаждения. Припой скатывается с фосфорированной и окисленной поверхности никеля, из-за чего и проявляется эффект черной контактной площадки. Такие площадки могут возникать и при передержке процесса пайки и неправильном выборе флюса. Передержка интенсифицирует образование интерметаллидов олова с никелем и олова с фосфором, внедренным в никель. Выделение фосфора на поверхности никеля может вызвать также процесс золочения. Осаждение золота из нейтральных электролитов уменьшает вероятность этих явлений.

Покрытие ENIG «капризно» в выборе флюсов, а его цена примерно на 25% выше, чем у OSP. Преимущества ENIG:

- жизнеспособность более года;
- плоская контактная поверхность;
- хорошая смачиваемость припоем при правильном подборе флюса;
- неокисляемая поверхность применительно к нажимным и скользящим контактам.

Иммерсионное олово (ImmSn) — еще одна альтернатива HASL-процессам.

Популярность ImmSn растет за счет обеспечения хорошей смачиваемости и простоты процесса осаждения. ImmSn демонстрирует беспрецедентную и лучшую паяемость, чем ENIG.

Существовали ограничения для применения ImmSn из-за образования интерметаллических соединений Cu_xSn_y . При этом способность к пайке исчезала через две недели, поскольку толщина иммерсионного олова не превышает 1 мкм и Cu_xSn_y быстро поглощает этот тонкий слой.

Но в последнее время возможность этого явления предотвращена введением барьерного подслоя различного содержания: органический металл и др. И способность к пайке ImmSn (0,5...0,8 мкм) с барьерным подслоем (0,08...0,1 мкм) сохраняется, по крайней мере, один год, если не больше.

Преимущества ImmSn с барьерным подслоем:

- относительно низкая стоимость процесса осаждения;
- хорошая и длительная паяемость;
- плоская поверхность покрытия (в отличие от HASL);
- хорошие условия для обеспечения беспаяных соединений Press-Fit (впрессовывание штырей-хвостовиков разъемов в металлизированные отверстия плат).

Подозрения, что самопроизвольно могут образовываться нитевидные кристаллические

«усы» из ImmSn, в данном случае несостоятельны, поскольку толщина покрытия (0,5 мкм) недостаточна для их формирования. А в результате пайки оно теряет самостоятельность для каких-либо неблагоприятных процессов, характерных для чистого олова.

Иммерсионное серебро (ImmAg). Толщина ImmAg не превышает 200 нм, поэтому расходы на реализацию этого покрытия незначительны. Жизнеспособность ImmAg гораздо выше, чем OSP, но несколько меньше, чем ENIG. Изменение цвета покрытия в процессе хранения, сборки и пайки — результат загрязнения воздушной среды сульфатами и хлоридами. Пожелтение не сказывается на свойствах ImmAg, но декоративность покрытия при этом страдает. Консервирующие покрытия антиокислителей тормозят процесс пожелтения и продлевают жизнеспособность покрытия. ImmAg менее популярно в Европе, чем в США, где оно более доступно.

В связи с интерметаллидами нужно упомянуть еще об одном преимуществе оловянно-свинцовых припоев. При переходе олова в соединение с медью освободившийся от олова свинец служит диффузионным барьером для дальнейшего роста интерметаллидов (рис. 11). У бессвинцовых припоев такой барьер не образуется, и толщина интерметаллидов может достигать 3–5 мкм. Мало того, что эти образования не смачиваются припоем (это нужно для ремонта), они хрупки и оттого склонны к образованию трещин и разрушению.

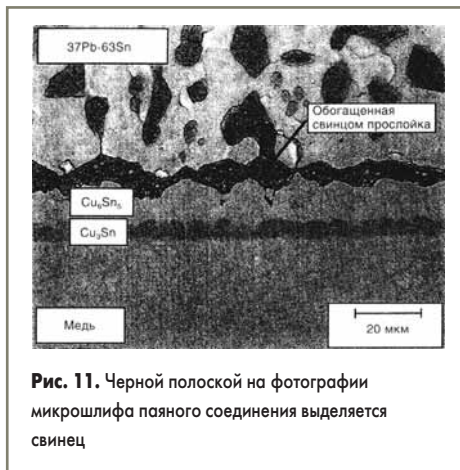


Рис. 11. Черной полоской на фотографии микрошлифа паяного соединения выделяется свинец

Отличное владение технологией сборки и монтажа электронных модулей продемонстрировали специалисты компании «Предприятие ОСТЕК» А. А. Ефремов и С. К. Гафт.

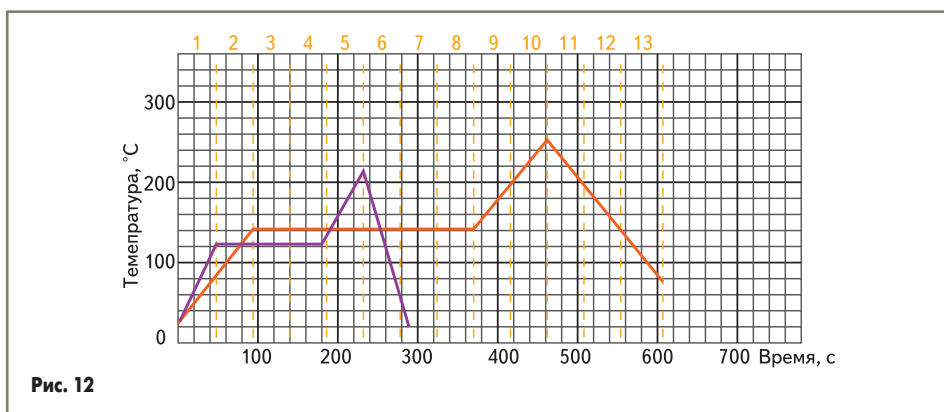


Рис. 12

Класс	Срок годности	Условия
1	не ограничен	≤ 30°C/85% RH
2	год	≤ 30°C/60% RH
2a	4 недели	≤ 30°C/60% RH
3	168 часов	≤ 30°C/60% RH
4	72 часа	≤ 30°C/60% RH
5	48 часов	≤ 30°C/60% RH
5a	24 часа	≤ 30°C/60% RH
6	Время ограничено Time on Label (TOL)	≤ 30°C/60% RH

Они прочли доклады «Технологическое оборудование для бессвинцовой пайки. Температурные профили» и «Типовой комплект оснащения сборочно-монтажных производств». Были выделены проблемы, возникающие перед технологами в связи с переходом к бессвинцовым технологиям пайки:

- Необходимы новые материалы для пайки, обеспечивающие качественные паяные соединения при изменившихся параметрах новых температурных профилей.
 - Необходимы новые параметры температурных профилей: повышение максимальной температуры, уменьшение максимальной скорости изменения температуры, увеличение времени предварительного нагрева, оплавления и охлаждения (см. табл. 4–1 и 4–2 IPC JEDEC J STD 020C).
 - На основании расчета температурного профиля необходима замена традиционных базовых материалов на более высокотемпературные.
 - Необходимо новое или модифицированное технологическое оборудование для оплавления, которое обеспечит изменившиеся параметры новых температурных профилей.
 - Необходимы дополнительные мероприятия и оборудование для обеспечения ужесточенных требований по применению в производстве электронных компонентов, чувствительных к влажности.
 - Появление международного стандарта, регламентирующего требования к электронным компонентам, материалам и процессам пайки IPC JEDEC J STD 020C (июль 2004 г.).
- Для поддержания уровня надежности и качества выпускаемых изделий в условиях перехода к бессвинцовым технологиям необходимо:
1. Провести расчет оптимального температурного профиля для всех печатных узлов, включенных в программу производства, и перспективных изделий, находящихся в стадии разработки.

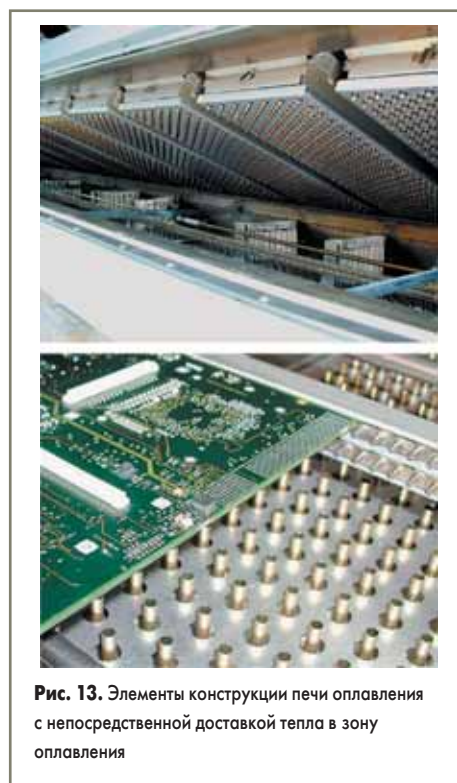


Рис. 13. Элементы конструкции печи оплавления с непосредственной доставкой тепла в зону оплавления

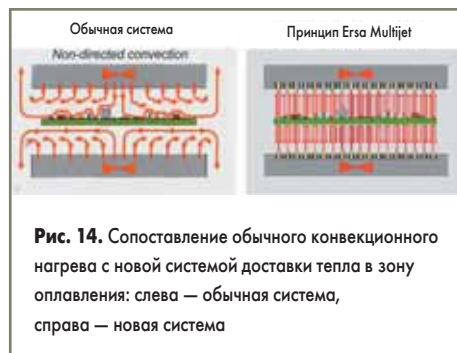


Рис. 14. Сопоставление обычного конвекционного нагрева с новой системой доставки тепла в зону оплавления: слева — обычная система, справа — новая система

2. Проверить возможность реализации расчетного температурного профиля на существующем оборудовании для оплавления и провести контроль качества паяных соединений методом рентгеновского контроля.
3. При невозможности реализации указанных температурных профилей на существующем оборудовании включить в план развития приобретение системы оплавления нового поколения.
4. Провести корректировку технологической документации в части введения обязательной для всех изделий технологической операции рентгеновского контроля качества паяных соединений и целостности электронных компонентов спаянных печатных узлов.
5. Подобрать новые материалы для пайки и провести корректировку конструкторской документации в части их обязательного применения.
6. Провести корректировку конструкторской документации в части применяемых для производства печатных плат базовых материалов.
7. Откорректировать применяемые температурные профили для всех изделий в соответствии с требованиями производителей электронных компонентов, производителей материалов для пайки.

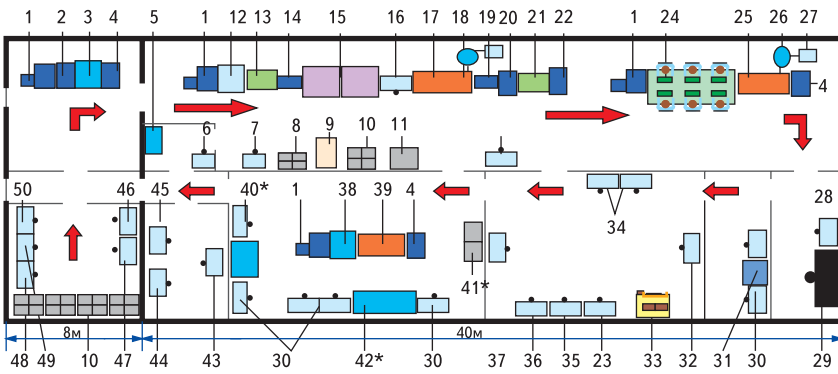


Рис. 15. Примерная планировка сборочно-монтажного участка:

1. Автоматический загрузчик NTE710LL. 2. Загрузчик из стопы NTM 220DSL. 3. Система лазерной маркировки, 4. Автоматический разгрузчик ПП NTE710UL. 5. Система отмычки трафаретов SonicOne G3. 6. Рабочее место 7. Рабочее место, включающее установку подготовки паяльной пасты SPS и устройство измерения вязкости PM-2A. 8. Шкаф хранения трафаретов Vector Cabinet. 9. Холодильник. 10. Шкаф сухого хранения SD-1106-02, 11. Шкаф хранения питателей из ленты SDF-1104-01. 12. Автомат трафаретной печати Horizon 03i. 13. Система автоматической оптической инспекции качества нанесения паяльной пасты Symbion P36, 14. Соединительный конвейер NTM 410L. 15. Автоматы установки компонентов SM321. 16. Инспекционный конвейер NTM 510CL. 17. Печь конвекционного оплавления припоя Hoiflow 2/14. 18. Азотный генератор NitroFlex NS 45. 19. Безмасляный зубчатый компрессор ZT55-IMD-10. 20. Буфер NTM 610SL. 21. Система АОИ контроля качества монтажа и паяных соединений Vantage S22. 22. Автоматический разгрузчик ПП в 2 магазина NTE720EL. 23. Ремонтная станция JBC AM 6800. 24. Рабочие места сборки Nutek 530WSL. 25. Система селективной пайки VersaFlow. 26. Азотный генератор NitroFlex "Pur". 27. Безмасляный компрессор SF4FF-8. 28. Система визуального контроля ErgaScore-2. 29. Система контроля рентгеновским излучением Phoenix pscanalyzer (nanome|x). 30. Рабочий стол. 31. Системы отмычки SMT1000LD. 32. Периферийное сканирование JTAG. 33. Установка функционального контроля SPEA 4040. 34. Рабочие места функционального контроля, 35. Ремонтный центр IR550A/PL550A. 36. Рабочее место визуального контроля VS8. 37. Установка разделения групповых заготовок Maestro 3. 38. Автоматические системы нанесения влагозащиты Asymtek C-740. 39. Печь ИК-сушки TC-2400. 40. Установка влагозащиты SCS PDS-2060*. 41. Промышленная печь SPH-201*, 42. Система париленовой влагозащиты SCS PDS-2060*. 43. Тестер ионного загрязнения Zetolon, 44. Стереувеличитель для контроля нанесения влагозащиты Mantis UV. 45. Камера климатических испытаний Espres SU-261. 46. Установка проверки паяемости Must II. 47. Установка визуального контроля Mantis Elite, 48. Счетчик компонентов. 49. Рабочее место комплектовщика. 50. Рабочее место формовщика

8. Установить дату перехода производства на бессвинцовые технологии и утвердить ее соответствующим приказом.
9. Проводить выборочный входной контроль электронных компонентов для определения момента безусловного перехода к новым температурным профилям оплавления. В ходе докладов была представлена печь оплавления нового поколения, в которой горячий воздух в зону оплавления подается непосредственно к поверхности платы и компонентов (рис. 13).
На рис. 14 показаны отличия схем нагрева. Типовой комплект оборудования с размещением его на производственном участке показан на рис. 15.
В перерыве слушателям семинара представилась возможность посетить полигон оборудования «Предприятия ОСТЕК», где были продемонстрированы наиболее интересные образцы.
Доклад И. Л. Лейтаса отличался практическим опытом контрактного производства электроники, в нем были подчеркнуты основные технологические аспекты бессвинцовой электроники:

 - Температура плавления у большинства бессвинцовых припоев — не менее 217 °С по сравнению с температурой 183 °С для стандартных припоев Sn63Pb37.

- В связи с более высокой температурой все компоненты и печатные платы должны выдерживать температуру пайки до 260 °С.
- Оборудование должно быть более совершенным и обеспечивать монтаж при указанных повышенных температурах.
- Металлические покрытия контактов компонентов и проводников печатных плат не должны содержать свинца.
- Флюсы, используемые в процессе пайки (Reflow и Wave), должны сохранять свои функциональные свойства при температурах до 260 °С.
- Все бессвинцовые припои обладают более слабым смачиванием (wettability) по сравнению с припоем Sn63/Pb37, в результате чего вероятно увеличение числа дефектов пайки и необходимых исправлений.
- Бессвинцовые соединения на печатных платах отличаются от привычных с использованием припоя «олово-свинец», поэтому критерии визуального контроля должны быть изменены.
- Необходимость решения проблем, связанных с tin whiskers и отсутствием практического опыта и статистических данных.
- Деградация критерия MSL (Moisture Sensitivity Level) — чувствительности инте-

гральных схем в пластмассовом корпусе к окружающей влажности.

- Необходимость в проведении дополнительных тестов и испытаний на разных стадиях производства.
- Решение проблем качества и надежности с учетом новой технологии, а также модифицированных компонентов и печатных плат.
- Трудности, связанные с поддержанием действующего производства и одновременным внедрением бессвинцовой технологии, особенно в переходный период.

Докладчик обратил особое внимание на необходимость сохранения компонентов в сухом состоянии. Если компоненты после распаковки не будут вовремя использованы, влага воздуха производственного помещения продифундирует в объем корпуса, и при нагреве во время пайки выделяющиеся пары могут взорвать компонент. Стандарт MSL устанавливает ограничение на время пребывания компонента после вскрытия упаковки и определяет период времени с момента вскрытия защищенной от влажности вакуумной упаковки (Dry Pack) до момента пайки компонента в процессе Reflow. MSL определяет надлежащую упаковку компонента, условия хранения и обращения с ним после вскрытия упаковки для того, чтобы избежать повреждений при пайке: деформации, расслоения или разрыва корпуса типа popcorn cracking. Классификация MSL в основном применима к интегральным схемам в пластмассовой конструкции. Керамические конструкции полупроводниковых элементов являются герметическими и потому не классифицируются по уровню чувствительности к влажности.

При конвенциональной технологии («олово-свинец») и температурах пайки, не превышающих 220–230 °С, необходимость в защищенной вакуумной упаковке ощущается лишь для интегральных схем крупных размеров, например VGA и PQFP с большим числом выводов. При переходе на бессвинцовую технологию и температуры на 30–40 °С превышающие температуру обычной пайки, возникает необходимость в снижении уровня MSL для компонентов в пластмассовой конструкции средних, а иногда и малых размеров. Как правило, это выражается в понижении минимум на два уровня, то есть с MSL1 на MSL3. При истечении срока годности, предусмотренного классификацией, безопасная для компонента пайка возможна лишь после процесса сушки (baking), который требует тепловой обработки в печи в течение от 24 до 48 часов при температурах от +90 °С до +125 °С.

Проблемы смешанной комплектации. Откуда они возникают?

1. Проблемы при разработке спецификации — разработчики не знают или не хотят учитывать фактор бессвинцовости.
2. Проблемы при закупке комплектации:
 - снабженцы не знают или не хотят учитывать фактор бессвинцовости;
 - поставщики настойчиво предлагают или «по умолчанию» включают в поставку бессвинцовые компоненты.

3. Непреодолимый ценовой или организационный барьер при закупке комплектации категории МП.

Докладчик предложил варианты решения проблемы смешанной комплектации:

1. Использование компонентов с полной обратной совместимостью.
2. Перелуживание компонентов (потеря гарантии).
3. Использование специальных паяльных паст (некоторое снижение уровня надежности, снижение MSL).

Были названы факторы, позволяющие решить проблему смешанной комплектации:

- наличие максимально полной и адекватной информации о паяемых покрытиях компонентов (логистика, Lead-Check, XRF-анализаторы);
- наличие оборудования и приспособлений, обеспечивающих решение задач перелуживания;
- наличие адекватных материалов.

Выводы, сделанные докладчиком:

1. Бессвинцовая пайка не предназначена для применения в изделиях, к которым предъявляются повышенные требования по надежности и условиям эксплуатации.
2. Сегодня невозможно объективно избежать смешанной комплектации, в том числе в электронных модулях спецтехники.
3. Существуют методы решения проблемы смешанной комплектации, обеспечивающие адекватные уровни надежности паяных соединений.
4. Необходимо проведение НИР по исследованию надежности паяных соединений при

изготовлении электронных модулей смешанной комплектации по различным технологическим схемам.

А. Н. Парфенов в своем докладе поднял вопрос импортозамещения и назвал ряд отечественных предприятий, не только способных производить оловянно-свинцовые пасты, но и поставляющие их уже сейчас.

На форуме в УНИЭТ дополнительно выступили Лев Шапиро (Component Master Ltd., Израиль), представители ГРПЗ (г. Рязань), ПО «Октябрь» (г. Каменск-Уральский), 22 ЦНИИ МО, ОАО «Авангард» (г. Санкт-Петербург) и другие.

Семинар «Проблемы бессвинцовых технологий производства электроники», проведенный 22 мая 2007 г. в УНИЭТ под председательством В. И. Штейнберга, завершился решением, в котором, в частности, отмечается состояние проблемы бессвинцовой технологии. ОАО «Авангард» только в этом году приступило к выполнению исследований в области бессвинцовой и смешанной пайки. ФГУ 22 ЦНИИ МО также планирует с 2007 года начать исследования по данной тематике. Гильдией профессиональных технологов приборостроения проводится определенная работа по обобщению опыта ведущих приборостроительных предприятий в разрешении возникшей проблемы и выработке соответствующих рекомендаций.

Однако, несмотря на практическое решение данной проблемы на ряде ведущих предприятий-изготовителей специальной техники, о чем было доложено на семинаре-совещании руководителями их технологических служб (ГРПЗ,

ПО «Октябрь», концерн «Созвездие», ИТМиВТ им. С. А. Лебедева), необходимая для изготовителей спецтехники нормативно-техническая база отсутствует.

Это, в свою очередь, создает определенные трудности по согласованию технологических процессов и подбору материалов при изготовлении ответственной аппаратуры с представителями заказчика на предприятиях.

Участники семинара-совещания сочли необходимым:

1. Просить головные организации ускорить проведение работ по обозначенной тематике и выработку соответствующих нормативно-технических документов, используя, в том числе, наработанный опыт и результаты исследований и испытаний ведущих предприятий приборостроения.
2. Предприятиям-изготовителям специальной техники при заказе ИЭТ иностранного производства оговаривать для вторых поставщиков условие поставки компонентов с покрытием, совместимым с пайкой припоем «олово-свинец».
3. Оснастить предприятия-изготовители ответственных изделий аппаратурой входного контроля на паяемость.
4. Просить Гильдию профессиональных технологов приборостроения продолжить сбор и обобщение информации от предприятий-изготовителей специальной аппаратуры по пайке бессвинцовых компонентов оловянно-свинцовыми припоями с целью выработки рекомендаций для технологических служб предприятий приборостроения.