

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

**Особенности пайки компонентов с бессвинцовыми покрытиями**

Комплекс тестовых материалов для интерактивного  
обучения в системе MOODLE

САМАРА  
2011

УДК 621.81

Авторы -

составители: **Архипов Алексей Владимирович,**  
**Березков Борис Николаевич**

**Архипов, А. В. Особенности пайки компонентов с бессвинцовыми покрытиями [Электронный ресурс] :** комплекс тестовых материалов для интерактивного обучения / Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). – сост. А. В. Архипов, Б. Н. Березков, Электрон. текстовые и граф. дан. (0,22 Мбайт). - Самара, 2011. - 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

Тестовые материалы, содержат теоретические сведения по проблемам бессвинцовой пайки печатных узлов ЭС и тесты, предназначенные для контроля усвоения материалов, изложенных в теоретических сведениях. Рекомендуется при изучении дисциплин «Технология РЭС» (9, 10 семестр) студентам специальности 210201.65, «Технология производства электронных средств» (7, 8 семестр) направления 211000.62., «Технология поверхностного монтажа» (семестр В), магистрантам направления 211000.68. кафедра КиПРЭС радиотехнического факультета.

© Самарский государственный  
аэрокосмический университет, 2011

**Содержание**

1.	Введение	4
2.	Роль свинца в припоях и варианты замены	5
3.	Изменения, вносимые в технологический процесс	7
4.	Типы финишных покрытий, используемых в процессах бессвинцовой пайки	8
5.	Список используемых источников	13

## ВВЕДЕНИЕ

Начало проблеме положил сенатор A.I.Gore в 1992 году, представив в конгресс США законопроект «Lead Exposure Reduction Act». К документу прилагался обширный список подлежащих запрету «свинцовых» материалов и изделий, в который попала и продукция электронной промышленности, включая свинцовые припои и покрытия.

7 июня 2002г. в ЕС приняты /1/:

- директива по вопросам отходов от электрического и электронного оборудования (WEEE - *Waste Electrical and Electronic Equipment* );
- директива об ограничении использования определенных опасных веществ (RoHS - *Restriction of Hazardous Substances*) в этих видах оборудования, в том числе свинец, ртуть, кадмий, шестивалентный хром, полибромистых бифенилов PBB и полибромистых дифенилэфиров PBDE /1/.

Во всем мире производители аппаратуры отказываются от использования свинца. В Японии производители добровольно отказались от использовании свинца в производстве электронной аппаратуры. Европейские производители отказались от использования свинца в припоях для пайки электронной аппаратуры с июля 2006 года. Американские производители еще не приняли решение по этой проблеме. Но все фирмы, поставляющие оборудование и материалы, уже активно предлагают рынку свои наработки по отказу от использования свинца в монтажно-сборочных работах. С 2015 года РФ также присоединяется к исполнению положений данных директив, так как существуют следующие причины отказа от свинца.

- ◆ Неблагоприятное влияние свинца на здоровье человека. 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 на репродуктивную функцию человека.
- ◆ Рыночная. Компании стремятся извлечь выгоду из беспокойства потребителей по поводу окружающей среды и переходят на новую технологию, чтобы увеличить долю своего участия на рынке. Отказ от использования свинца в припоях и покрытиях способствует этому и может стать серьезным доводом в конкурентной борьбе. Директива RoHS распространяется на 8 категорий изделий ЕЕЕ (Electrical and Electronic Equipment), функционирующих с напряжением, не превышающим 1000 В переменного тока и 1500 В постоянного тока:

- ◆ Крупные бытовые электроприборы.
- ◆ Малые бытовые электроприборы.
- ◆ Информационно-технологическое и телекоммуникационное оборудование.
- ◆ Потребительское оборудование.
- ◆ Осветительная аппаратура.
- ◆ Электрические и электронные инструменты.
- ◆ Игрушки, принадлежности для отдыха и спорта.
- ◆ Торговые автоматы.

Изделия ЕЕЕ, «освобождённые» от требований Директивы:

- ◆ Изделия военного и космического применения
- ◆ Отдельные виды медицинского оборудования
- ◆ Оборудование мониторинга и контроля
- ◆ Крупное стационарное промышленное оборудование
- ◆ Изделия, входящие в оборудование, находящееся вне рамок Директивы (например, в автомобилях, поездах, самолётах)

- ◆ Изделия, входящие в раздел «Fixed Installations», т.е. комбинацию нескольких видов оборудования, смонтированных для совместной работы, и не поставляемые на рынок как отдельные изделия
- ◆ Аккумуляторы и батареи
- ◆ Запасные части для ремонта, обслуживания и усовершенствования оборудования, «поставленного на рынок до 1-го июля 2006 г».

## **РОЛЬ СВИНЦА В ПРИПОЯХ И ВАРИАНТЫ ЗАМЕНЫ**

Наличие свинца в припойных сплавах обусловлено многими причинами. Одной из основных причин можно считать снижение температуры плавления сплава при введении свинца в олово (температура плавления эвтектического Sn/Pb припоя 183 °С). Кроме того, эвтектические сплавы Sn/Pb обладают мелкозернистой структурой, обеспечивающей достаточную прочность паяного соединения, присутствие свинца увеличивает смачиваемость деталей при пайке и снижает вероятность образования «оловянных усов» и «оловянной чумы» в паяных соединениях.

С технологической точки зрения, более высокие температуры бессвинцовой пайки обуславливают необходимость в пересмотре технологий и материалов по всей цепочке производства электронных изделий. Процесс управления такой пайкой сложнее, поскольку проходит в узких диапазонах технологических режимов. С повышением температуры формируется шлак, отслаиваются контактные площадки, взрываются компоненты, (эффект «попкорн»), вздуваются многослойные печатные платы, возникают проблемы с оплавлением шариков BGA или столбиков CGA-компонентов. Больше внимания должно быть уделено контролю испарения флюса и охлаждения изделий, а также условиям окружающей среды (температура, влажность). Азотная среда в процессе пайки существенно улучшает качество паяного соединения и этим скомпенсирует неприятности, связанные с высокими температурами /2/.

С точки зрения применяемых припоев, сегодня выдано более ста патентов на сплавы различных составов для замены используемых в настоящее время оловянно-свинцовых паяльных материалов.

При выборе альтернативы свинцовой пайке следует руководствоваться степенью опасности материалов:

- ◆ Кадмий высокотоксичен – применяться не должен;
- ◆ Сурьма высокотоксична и не рассматривается как основной металл в бессвинцовых 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 - элементы, которые могут использоваться в бессвинцовых сплавах, но становятся токсичными при повышенных дозах;
- ◆ Висмут - безвредный металл, применяемый в медицине.

Относительно безопасными являются лишь серебро, медь, олово, цинк, висмут. Но не надо забывать и про то, что большинство предлагаемых для замены сплавов имеют более высокую температуру плавления 210 – 230°С. Растет потребление энергии, требуется подбор новых флюсов и моющих жидкостей, а также ужесточение режимов очистки.

Поэтому не все предлагаемые варианты имеют коммерческую перспективу, но выбор достаточно широкий. Каждый из них обладает уникальным сочетанием свойств, что затрудняет окончательный выбор. В таблице 1 показаны некоторые характеристики наиболее вероятных заменителей содержащих свинец припоев /3/.

Таблица 1 - Характеристики припоев

Свойства	Sn (3,5...4,0)Ag (0,5...0,7)Cu	Sn 4,7Ag 1,7Cu	Sn (3,5...5,0)Ag	Sn 3,5Ag 4,8Bi	Sn 3,5Ag 1,0Bi	Sn 58Bi	Sn 0,7Cu	Sn 0,5Co 0,1Ni	Sn 9Zn	Sn 8Zn 3Bi
Ликвидус ( $T_L$ ), °C	220...225	244	220...240	211	219	138	227	227	199	191
Солидус ( $T_C$ ), °C	217	217	221	215	220	138	227	227	199	198
Плотность, г/см <sup>3</sup>	7,5	–	7,4	7,6	–	8,75	7,3	7,3	7,3	–
ТКЛР, $\times 10^{-6}$ (град <sup>-1</sup> )	–	–	30	–	–	–	–	–	–	–
Прочность на разрыв, МПа	48	–	58	82	43	–	32	32	–	–

Сравнительная характеристика популярности сплавов, не содержащих свинец, показана на рисунке 1.

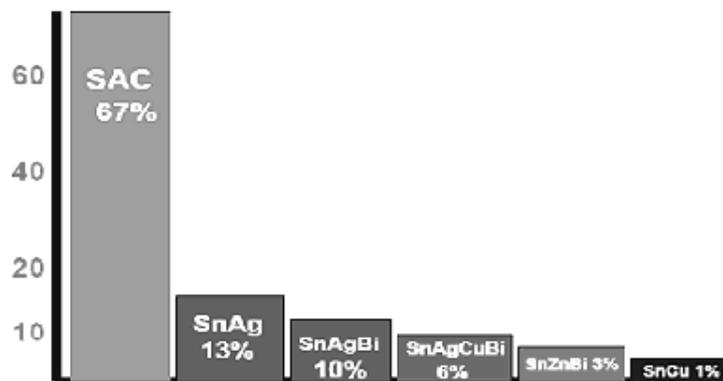


Рисунок 1. – Сравнительная характеристика популярности сплавов, не содержащих свинец

Очень интересными представляются сплавы с использованием Zn и Bi. Однако цинк активный металл, что приводит к относительно малому времени хранения припойной пасты, чрезмерному шлакованию и окислению при пайке. Кроме того, это может привести к возникновению коррозии в печатном узле. Висмут существенно увеличивает текучесть сплава в расплавленном состоянии, что приводит к значительному росту числа перемычек.

Сплавы Sn/Ag/Cu (SAC) рассматриваются как наиболее перспективные. На испытаниях они проявляют функциональную эквивалентность эвтектическому сплаву Sn/Pb/(Ag). Однако SAC плавится при 217°C, что на 34°C больше, чем Sn/Pb, а с увеличением температуры на каждые 8°C количество дефектов увеличивается в два раза. Внешне галтели паяного соединения, выполненного бессвинцовым припоем марки SAC выглядят, как правило, слегка шероховатым, как бы лишенным металлического блеска. Кроме того, поскольку смачиваемость контактных площадок и выводов компонентов данным припоем меньше чем у Sn/Pb, то при равном количестве наносимой паяльной пасты, галтели, выполненные припоями SAC, выглядят более объемными.

В последнее время, в связи с накопившимися претензиями к сплавам группы SAC, основными из которых являются:

- ♦ дороговизна;
- ♦ относительная хрупкость по сравнению с Sn/Pb;
- ♦ увеличение износа оборудования при их использовании;

- ♦ большая склонность к трещино- и порообразованию.

Предложено модифицировать состав припойного сплава путем введения микродобавок Ge и Ni, которые существенно увеличивают пластичность сплавов в твердом состоянии, позволяют снизить количество Ag в сплаве, что понижает стоимость, и улучшить микроструктуру сплавного соединения практически до вида Sn/Pb. Применение таких добавок привело к появлению припоя марки SN100C /4/

## ИЗМЕНЕНИЯ, ВНОСИМЫЕ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

Суть технологического процесса практически остается неизменной. Вносимые изменения не носят глобального характера, но являются принципиальными. Без внесения этих изменений пайка будет невозможна. Главное изменение претерпевают температурные профили оплавления бессвинцовых припойных паст (рисунок 2) /5/.

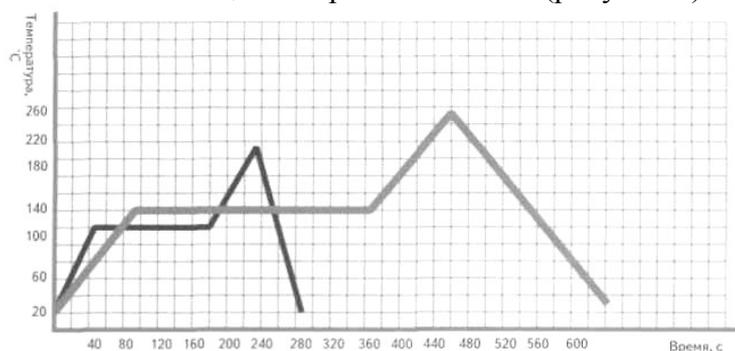


Рисунок 2 - . Изменение температурного профиля при переходе от традиционной технологии к бессвинцовой

Все температурные зоны по времени занимают вдвое больший период и максимум нагрева находится примерно на 40 °C выше. Поэтому изменение материала припоя приводит к необходимости изменения технологического оборудования.

Приводимый на рисунке термопрофиль характерен для конвекционной, ИК и комбинированной групповой пайки. Он отличается от профилей парофазной пайки, однако назначение и параметры основных зон термопрофилей любых видов группового оплавления остаются практически неизменными независимо от типа пайки.

Используемые флюсы. Обычно флюс составляет почти 50% объема паяльной пасты. Функции флюса заключаются:

- ♦ в препятствовании горячей просадке;
- ♦ в предупреждении окисления соединяемых материалов;
- ♦ в раскислении порошкового припоя и размягчении оксидов металлов, подлежащих соединению
- ♦ в освобождении паяемой поверхности от оксидов, что дает возможность осуществления растекания и капиллярного затекания припоя

Производителям паяльных паст пришлось пересмотреть составы наиболее распространенных флюсов. Большинство компонентов флюсов - органические соединения, поэтому очень важна их термостабильность до температуры 245°C, чтобы исключить проблемы разложения, окисления и полимеризации флюса во время пайки оплавлением.

Для российских производителей при господствующем комбинированном потреблении компонентов и материалов как отечественных, так и импортных проявляется особо остро проблема попадания свинца в бессвинцовые припои. При попадании свинца в паяные сплавы, не содержащими свинца, соединение приводит к образованию пустот и повышенной зернистости в поверхностной зоне. Такие области с большим содержанием свинца обладают более низкой температурой плавления и могут значительно понизить уровень смачиваемости /6/. Чтобы избежать этого необходимо отказаться от использова-

ния свинца не только в припое, но и в покрытиях и избегать использования комбинаций, приводящих к попаданию свинца в бессвинцовые материалы.

## **ТИПЫ ФИНИШНЫХ ПОКРЫТИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ПРОЦЕССАХ БЕССВИНЦОВОЙ ПАЙКИ**

Если медные проводники на печатной плате не защищены, то медь окисляется, и теряет свои свойства. Для предотвращения окисления меди существуют различные защитные финишные покрытия [7], а именно:

- ◆ Облуживание с выравниванием воздушным ножом (HASL, горячее лужение)
- ◆ Химический никель / иммерсионное золото (ENIG)
- ◆ Иммерсионное серебро (ImAg)
- ◆ Иммерсионное олово (ImSn)
- ◆ Органическая защитная пассивация (OSP)

Облуживание с выравниванием воздушным ножом (HASL, горячее лужение)

Покрытие HASL – это преобладающее в промышленности финишное покрытие контактных площадок. Процесс заключается в погружении печатной платы и её выдерживание в течение некоторого времени в расплаве оловянно-свинцового или бессвинцового припоя. После выдерживания платы в припое его излишки удаляются «воздушным ножом» – потоком горячего воздуха, продуваемого через отверстия и по всей поверхности платы.

С точки зрения производителя печатных плат процесс HASL дорог и трудоемок в обслуживании, не говоря о повышенной угрозе здоровью и безопасности. С точки зрения процесса сборки печатных узлов (ПУ) данное покрытие имеет множество преимуществ. Такие платы самые дешевые из предлагаемых на рынке, а финишное покрытие сохраняет паяемость после нескольких циклов оплавления, отмывки и хранения.

Одним из главных недостатков покрытия является некопланарность контактных площадок. Этот недостаток вызван тем, что из-за сил поверхностного натяжения, действующих в расплавленном припое, он по-разному сдувается с площадок, расположенных параллельно и перпендикулярно линии воздушных ножей. Особенно явно это проявляется на контактных площадках с малым шагом.

Достоинства:

- ◆ Одно из самых недорогих покрытий.
- ◆ Покрытие сохраняет паяемость в течение всего производственного процесса.
- ◆ Отличный электрический контакт при электроконтроле.

Недостатки:

- ◆ Обычный припой содержит свинец, использование которого в настоящее время ограничено.
- ◆ При облуживании бессвинцовым припоем плата подвергается излишнему воздействию высоких температур.
- ◆ При малом шаге контактных площадок (<0,64 мм) облуживание может приводить к образованию перемычек и проблемам с толщиной покрытия.
- ◆ Выводы контактных площадок некопланарны (лежат не в одной плоскости), что затрудняет сборку.

Внешне, покрытие данного вида выглядит почти аналогично обычному лужению с помощью паяльника. Контактные площадки и переходные отверстия печатной платы, не закрытые паяльной маской, покрыты припоем.

Иммерсионное золото с подслоем электролизного никеля (ENIG)

Покрытие ENIG формируется путём электролизного осаждения никеля на катализируемую медную поверхность с последующим осаждением из раствора тонкого слоя золота на поверхность никеля. В стандарте IPC-4552 регламентируется, что толщина слоя никеля составляет 3-6 мкм, а толщина слоя золота составляет 0,05-0,1 мкм.

ENIG представляет собой очень универсальное плоское покрытие с хорошей паяемостью, возможностью разварки на нём алюминиевых проводов, а также с отличными электропроводящими свойствами поверхности. Время хранения покрытия до использования превышает 12 месяцев. Качество покрытия легко проверяется визуально, а его толщина легко измеряется методами неразрушающего контроля. Покрытие ENIG продолжает завоевывать рынок, особенно после того, как технологи поняли природу, и практически устранили дефект, называемый «чёрная площадка». «Black Pad» – термин, появившийся в 90х годах и описывавший вид коррозии никеля, ослабляющий паяемость контактных площадок. Состав коррозионного слоя остался до конца не выясненным, но известно, что это – химическое соединение никеля, фосфора и кислорода.

Процесс получения покрытия ENIG довольно сложен. Он требует чистой медной поверхности, свободной от остатков паяльной маски и металлорезиста. Паяльная маска, нанесённая на плату, должна быть хорошо отверждена и полностью высушена перед началом процесса осаждения ENIG, для того, чтобы выдержать воздействие высоких температур при осаждении никеля и золота.

В настоящее время сложность процесса получения покрытия ENIG хорошо понимается как поставщиками, так и заказчиками печатных плат, однако, несмотря на свою дороговизну, покрытие нашло широкое распространение в сложных печных платах, изготовленных по бессвинцовой технологии.

Достоинства:

- ◆ Не содержит свинец.
- ◆ Печатные платы обрабатываются при низких температурах (менее 90°C) и не подвергаются излишнему термоудару.
- ◆ Копланарность – поверхность всех контактных площадок компонентов лежит в одной плоскости (при отсутствии коробления самой печатной платы).
- ◆ Отличный срок хранения.
- ◆ Выдерживает несколько циклов оплавления.

Недостатки:

- ◆ Высокая стоимость (примерно в 5 раз выше, чем горячее лужение).
- ◆ Проблема «чёрной площадки».
- ◆ В процессе осаждения применяется цианид и другие нежелательные химические вещества.

Покрытие выглядит как слой золота, нанесённый на контактные площадки и переходные отверстия, не покрытые паяльной маской.

Иммерсионное серебро

Иммерсионное серебро – это финишное покрытие, при котором на медную поверхность контактных площадок из раствора осаждается тонкий слой серебра. Покрытие иммерсионным серебром – сравнительно новое в списке финишных покрытий печатных плат. Оно в основном использовалось в Азии, а сейчас набирает популярность в Северной Америке и Европе и России.

В процессе пайки серебряный слой растворяется в паяном соединении, образуя сплав олово-свинец-серебро на меди, что обеспечивает очень надежные паяные соединения компонентов BGA. Контрастный цвет, в отличие от OSP, упрощает визуальную и оптическую инспекцию данного покрытия. Это покрытие позволяет мгновенно переключиться с покрытия горячим лужением (HASL) и не требует менять параметры пайки.

Несмотря на имеющий место фундаментальный вопрос о «миграции» серебра, новые финишные покрытия содержат добавки, предотвращающие миграцию и сводящие этот эффект к минимуму. Иммерсионное серебро – многообещающее покрытие, которое можно назвать наилучшим по соотношению цена/качество.

Достоинства:

Хорошая паяемость.

- ◆ Не содержит свинец.

- ◆ Печатные платы обрабатываются при низких температурах (менее 55°C) и не подвергаются излишнему термоудару.
- ◆ Копланарность – поверхность всех контактных площадок компонентов лежит в одной плоскости (при отсутствии коробления самой печатной платы).
- ◆ Самая близкая замена горячему лужению (HASL).

Недостатки:

- ◆ Медленное принятие технологии.
- ◆ Чувствительность покрытия к серосодержащей среде (устранено или сильно уменьшено в современных процессах).
- ◆ Изменение со временем цвета покрытия (не влияет на паяемость).
- ◆ Срок хранения печатных плат несколько ниже, чем при горячем лужении.

Покрытие выглядит слоем белого серебристого металла на контактных площадках и переходных отверстиях, не покрытых паяльной маской.

Иммерсионное олово

Иммерсионное олово – новое альтернативное финишное покрытие, обладающее рядом характеристик, близких к характеристикам своего серебряного аналога. Однако данное покрытие менее экологично в производстве. Оно используется в основном в Европе и Азии, в то время как в США его применение ограничено из-за беспокойства о тиомочевине, применяемой в растворе оловянирования и предположительно являющейся канцерогеном.

Достоинства:

- ◆ Хорошая паяемость.
- ◆ Не содержит свинец.
- ◆ Печатные платы обрабатываются при низких температурах (менее 80°C) и не подвергаются излишнему термоудару.
- ◆ Копланарность – поверхность всех контактных площадок компонентов лежит в одной плоскости (при отсутствии коробления самой печатной платы).
- ◆ Самая близкая замена горячему лужению (HASL).

Недостатки:

- ◆ Вопросы защиты здоровья и безопасности.
- ◆ Возможное образование дендритов, вызывающих короткое замыкание проводников (устранено или сильно уменьшено в современных процессах).
- ◆ Ограниченное число циклов нагрева.

Покрытие выглядит слоем металла белого «оловянного» цвета на контактных площадках и переходных отверстиях, не покрытых паяльной маской.

Органическая защитная пассивация (OSP)

Покрытие OSP (Organic Solder Preservative) предназначено для формирования тонкого равномерного защитного слоя на поверхности медной металлизации печатной платы. Это покрытие защищает проводящий рисунок печатной платы от окисления при её хранении, и в процессе выполнения сборочных операций. Процесс пассивации OSP существует довольно давно, но лишь недавно стал приобретать популярность в связи с переходом на бессвинцовую технологию и поиском решения проблем копланарности контактных площадок с малым шагом.

С точки зрения производителя ПП процесс очень прост, и хорошо управляем. С точки зрения сборки ПУ данное покрытие обладает лучшими возможностями по сравнению с традиционным горячим лужением (HASL) в отношении копланарности и паяемости, но требует существенных изменений в техпроцессе: в отношении применяемого типа флюса и числа циклов нагрева. Платы с данным покрытием требуют аккуратного обращения, поскольку содержащие кислоты отпечатки пальцев приводят к ухудшению свойств OSP, и делают медь чувствительной к окислению. Сборщики предпочитают работать с металлическими покрытиями, отличающимися большей гибкостью и выдерживающими

больше циклов нагрева. Также покрытие OSP приводит к сложностям при адаптерном электроконтроле. Для того чтобы пробиться через слой OSP, требуются более мощные щупы, которые потенциально способны привести к повреждению и прокалыванию переходных отверстий и контактов.

Достоинства:

- ◆ Самое недорогое покрытие.
- ◆ Печатные платы обрабатываются при низких температурах (менее 45°C) и не подвергаются излишнему термоудару.
- ◆ Копланарность – поверхность всех контактных площадок компонентов лежит в одной плоскости (при отсутствии коробления самой печатной платы).
- ◆ Не возникает «черных площадок».

Недостатки:

- ◆ Требуются значительные изменения в техпроцессе сборки.
- ◆ Неудобно для электроконтроля.
- ◆ Более мощные щупы оснастки могут повредить плату.
- ◆ Требуются меры предосторожности при ручном обращении.

Плата выглядит так, как будто контактные площадки ничем не покрыты.

Выше описаны основные типы финишных покрытий печатных плат. Покрытие горячим лужением остается наиболее широко применяемым финишным покрытием. По мере всё большего внедрения бессвинцовых технологий повышается вероятность увидеть альтернативные финишные покрытия. Покрытие OSP не является естественной заменой HASL, но, несмотря на это, оно стало одним из первых альтернативных покрытий, которые попробовали производители электроники. Однако это покрытие вызывает существенные проблемы при электроконтроле плат. Покрытие ENIG всем хорошо, но очень дорого стоит. Наиболее близкие и вероятные заменители горячему лужению – иммерсионное серебро и олово – обладают массой преимуществ, и почти лишены недостатков, к тому же, решаемых. По стоимости эти покрытия находятся на уровне, близком к горячему лужению.

Таблица2 – Сводная таблица финишных покрытий печатных плат

Параметры процессов	HASL Pb/Sn	ENIG	Imm. Sn	Imm. Ag	OSP
Срок хранения	12 месяцев	6 месяцев		9 месяцев	12 месяцев
Паяемость	Отличная	Хорошая		Отличная	Хорошая
Стойкость к перепайкам	Да				Да*
Термопрофиль при пайке оплавлением	Не критично**				номин.230°C, макс. 250°C
Совместимость с проц. разварки золотом	Нет	Да***	Нет		
Совместимость с проц. разварки алюминием	Нет	Да	Нет	Да	Нет
Толщина покрытия	1-40 мкм Pb/Sn	3-5 мкм Ni 0,05-0,2 мкм Au	0,8–1 мкм	0,2-0,5 мкм	Мин. 0,2 мкм
Шаг контактных площадок	> 0,5 мм	< 0,5 мм			
Температура процесса	250°C	< 90°C	< 80°C	< 55°C	< 45°C
Изгиб и скручи-	Проблемы	Нет			

вание					
Стабильность размеров	Проблемы	Нет			
Копланарность Конт. площадок	Плохая	Отличная			
Чистота поверхности	Средняя	Хорошая	Проблемная	Хорошая	Отличная
Коррозионная стойкость	Средняя	Хорошая	Средняя	Хорошая	Отличная
Визуальные проблемы	Нет			Потеря цвета	Крапинки
Риски по качеству	Уменьшение размера отверстий	Чёрные площадки	Дендриты	Нет	
Надёжность паяных соединений	Хорошая	Средняя		Отличная	
Совместимость с бессвинцовыми процессами	Нет	Да			
Вред окружающей среде	Высокий	Средний	Средний-высокий	Средний	Низкий
Стоимость процесса	Низкая	Высокая	Средняя		Самая низкая
* максимальная температура пайки оплавлением не более 240°C. Время между пайкой оплавлением и ручной пайкой (или пайкой волновой) не должно превышать 5 дней. ** требуется специальный процесс, при котором толщина золота достигнет как минимум 0,3 мм ***если температура пайки оплавлением менее 240°C, требуется сушка платы перед пайкой.					

При отказе от оловянно-свинцовых припоев обычно отмечается рост числа дефектов. Чаще всего это происходит в результате неадекватного внедрения нового процесса. Хорошо отработанный, оптимизированный и управляемый процесс новой технологии не приводит к росту процента брака.

К типичным дефектам, возникающим при пайке бессвинцовыми припоями, относятся:

- ♦ разрушение под действием тепла печатных плат и компонентов, не рассчитанных на более высокие температуры эффект «попкорна».
- ♦ образование перемычек;
- ♦ образование шариков припоя;
- ♦ пустоты;
- ♦ эффект надгробного камня.

Основными причинами возникновения данных дефектов являются:

- ♦ неадекватные профили температур пайки;
- ♦ термическое неравновесие по всей плате;
- ♦ недостаточная активность паяльной пасты;
- ♦ чрезмерное окисление паяемых частей;
- ♦ эффекты поверхностного натяжения припоя;
- ♦ дегазация платы и компонентов во время пайки оплавлением.

Поэтому особое значение приобретают знания и опыт технолога, который занимается разработкой и внедрением технологий, а также жесткие критерии выбора технологического оборудования и оснастки.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. <http://www.poxc.ru/ru/>
2. Медведев А. Бессвинцовые технологии монтажной пайки. Что нас ожидает? // Электронные компоненты. – 2004. – №11.
3. Припой и покрытия для бессвинцовой пайки изделий микроэлектроники / Зенин В., Рягузов А., Бойко В., Гальцев В., Фоменко Ю. // Технологии в электронной промышленности. – 2005. – №5.
4. Филиппов В., Зотова О. Влияние примесей металлов на бессвинцовые сплавы // SMT эксперт. – 2011. - №7.
5. Щеголева И. Компания AIM решает проблемы перехода на бессвинцовую пайку // Производство электроники: технологии, оборудование, материалы. –2006. – №2.
6. Петер Биокка. Дефекты бессвинцовой пайки // Производство электроники: технологии, оборудование, материалы. – 2005. – №1.
7. <http://www.tepro.ru/>

## Тесты «Особенности пайки компонентов с бессвинцовыми покрытиями»

1. Что такое директива RoHS?
  - + Директива, предписывающая ограничения в применении ряда опасных веществ в электрическом и электронном оборудовании определенного назначения.
  - Директива, обязывающая отказаться от использования свинца в любом электрическом и электронном оборудовании.
  - Директива, обязывающая отказаться от использования опасных веществ в любом электрическом и электронном оборудовании.
  - Директива, предписывающая ограничения в использовании свинца в производстве электрического и электронного оборудования определённого назначения.
  
2. Когда была принята директива RoHS?
  - + Директива была принята в 2002 году.
  - Директива была принята в 2006 году.
  - Директива была принята в 2010 году.
  
3. Когда вступило в силу ограничение на использование свинца в припоях при сборке РЭС Евросоюзе?
  - + Ограничение вступило в силу в 2002 году.
  - Ограничение вступило в силу в 2006 году.
  - Ограничение вступило в силу в 2010 году.
  
4. На применение каких веществ распространяются ограничения директивы?
  - + Свинец.
  - + Ртуть.
  - + Кадмий.
  - + Шестивалентный хром.
  - Висмут.
  - Цинк.
  - Все перечисленные.
  
5. На применение в каких категориях изделий распространяются ограничения, предусмотренные директивой RoHS?
  - + Крупные и малые бытовые электроприборы.
  - + Информационно-технологическое и телекоммуникационное оборудование.
  - + Потребительское оборудование.
  - + Осветительная аппаратура.
  - + Электрические и электронные инструменты.
  - + Игрушки, принадлежности для отдыха и спорта.
  - + Торговые автоматы.
  - Электронная аппаратура только бытового назначения.
  - Электронная аппаратура военного и аэрокосмического профиля.
  - Любая электронная аппаратура, где бы она не применялась.
  
6. Распространяется ли действие директивы RoHS на изделия военного и аэрокосмического профиля?
  - + Нет, не распространяется.
  - Да, распространяется целиком и полностью.
  - Допускаются ограничения накладываемые директивой.

7. Действуют ли в настоящее время в РФ ограничения накладываемые директивой RoHS?
- + Нет, в настоящее время ограничения накладываемые директивой не действуют на территории РФ.
  - Да, в настоящее время в РФ вступила в силу данная директива при производстве ограниченного перечня товаров.
8. В чём причина, по которой мы не можем пренебречь ограничениями, накладываемыми директивой RoHS?
- + Производство в РФ интегрировано в систему мирового производства электроники и РФ с 2015 года присоединяется к действующей директиве.
  - + В современном производстве электроники в РФ массово используется импортная элементная база, что приводит к проблеме комбинированного монтажа.
  - В РФ давно ничего своего не производится, поэтому мы связаны с поставками из-за рубежа, в том числе и товаров, собранных по бессвинцовой технологии.
9. Какую функцию выполняет свинец в припое Sn/Pb помимо снижения температуры плавления сплава?
- + Эвтектические сплавы Sn/Pb обладают мелкозернистой структурой, обеспечивающей достаточную прочность паяного соединения.
  - + Присутствие свинца увеличивает смачиваемость деталей при пайке.
  - + Присутствие свинца снижает вероятность образования оловянных «усов» и возникновения «оловянной чумы» в паяных соединениях.
  - Присутствие свинца обеспечивает коррозионную стойкость сплава в точках пайки.
  - Присутствие свинца увеличивает электропроводность сплава и снижает общее активное сопротивление паяного соединения.
10. Какие металлы могут заменить свинец в припое на основе олова?
- + Наиболее вероятной заменой станут добавки небольшого количества серебра и меди.
  - Наиболее вероятной заменой является кадмий.
  - Наиболее вероятной заменой является висмут.
  - Наиболее вероятной заменой является индий.
11. Почему использование низкотемпературных сплавов с использованием безвредных цинка Zn и висмута Bi не может заменить свинец в припое?
- + Цинк достаточно активный металл, поэтому: малое время хранения припойной пасты, чрезмерное шлакование и оксидирование, потенциальные проблемы коррозии при сборке.
  - + Висмут увеличивает текучесть сплава, что приводит к значительному росту числа перемычек, что особенно важно при пайке плат большого класса точности.
  - Оба этих металла не ограничивают развития оловянных «усов» и возникновения «оловянной чумы» в паяных соединениях.
  - Оба этих металла существенно дороже свинца и являются более редкими, поэтому их применение нерентабельно.
  - По всем этим причинам.
12. Какова температура плавления припоя на основе эвтектического сплава Sn63/Pb37?
- + 183 °С.
  - 217 °С.
  - 200 °С.

- 230 °С.
  - 153 °С.
13. Что означает аббревиатура SAC в обозначении припойного сплава?
- + Сокращения от Sn – олово; Ag – серебро; Cu – медь.
  - Сокращения от Sb – сурьма; Al – алюминий; Ca - кальций.
  - Сокращения от Sn – олово; Au – золото; Cd – кадмий.
  - Сокращения от Sn – олово; Au – золото; Cu – медь.
  - Другое.
14. Определите процентный состав припойного сплава марки SAC с температурой ликвидуса 220 – 225 °С.
- + Sn; (3,5...4,0 масс.%)Ag; (0,5...0,7 масс.%)Cu.
  - Sn; 4,7 масс.% Ag; 1,7 масс.% Cu.
  - Другое.
15. Какова температура линии солидуса припоев марки SAC?
- + 217 °С.
  - 220 °С.
  - 225 °С.
  - 244 °С.
  - 183 °С.
16. В чем недостатки припоев марки SAC по сравнению со Sn/Pb?
- + Относительно высокая стоимость.
  - + Относительная хрупкость.
  - + Увеличение износа оборудования при их использовании.
  - + Большая склонность к трещино- и порообразованию.
  - Малая хладостойкость.
  - Существенно меньшая надежность.
  - Все выше перечисленное.
17. Чего позволяют добиться микродобавки Ge и Ni в бессвинцовых припойных сплавах?
- + Увеличить пластичность в твердом состоянии.
  - + Уменьшить стоимость.
  - + Улучшить микроструктуру паяного соединения.
  - Снизить вероятность образования «оловянной чумы»
  - Существенно понизить температуру плавления
  - Все выше перечисленное.
18. К каким последствиям, с точки зрения требований к конструкционным элементам печатного узла РЭС, приводит широкое применение припоев марки SAC?
- + Повышение термостойкости материалов печатных плат.
  - + Повышение устойчивости компонентов (деталей РЭС) к воздействию высоких температур в течение более длительного времени.
  - + Использование финишных покрытий, не содержащих свинца.
  - + Более жесткие требования к проектированию контактных площадок в виду снижения «эффекта самоцентрирования».
  - Повышение химической устойчивости материалов печатных плат.
  - Увеличение прочностных характеристик материалов печатных плат с целью предотвращения коробления при нагреве.

- Введение дополнительных теплоизолирующих покрытий печатных плат и компонентов.
  - Всё перечисленное.
19. К каким последствиям, с точки зрения требований к параметрам технологического процесса пайки печатного узла РЭС, должно привести широкое применение припоев марки SAC?
- + Увеличение времени и температуры зоны предварительного нагрева печатного узла.
  - + Увеличение пиковой температуры зоны оплавления примерно на 40 °С по сравнению с эвтектическим Sn/Pb.
  - + Желательное применение инертной атмосферы (N<sub>2</sub>) при групповом оплавлении конвекцией и ИК.
  - Увеличение скорости предварительного нагрева печатного узла во избежание длительного формирования стабильной поверхностной температуры.
  - Обязательное использование принудительного охлаждения печатного узла после пайки для снижения термического воздействия на компоненты печатного узла.
  - Увеличение времени зоны оплавления припойной пасты для лучшего смачивания расплавленным припоем поверхности контакта детали.
  - Всё перечисленное.
20. Почему широкое применение припоев марки SAC привело к изменению составов флюсов в припойной пасте и клеев, использующихся для фиксации тяжёлых компонентов на платах?
- + Флюсы и клеи - органические вещества, и более высокие температуры пайки требуют большей устойчивости их к термическим нагрузкам.
  - + Худшая смачиваемость контактных площадок бессвинцовыми сплавами требует большей активности используемых флюсов.
  - + Худшая смачиваемость контактных площадок и большие температуры оплавления требуют лучшей фиксации деталей на нижней стороне печатной платы при оплавлении.
  - Флюсы и клеи, использовавшиеся при пайке припоями Sn/Pb, вступают в химическую реакцию с компонентами припоя SAC.
  - Использование бессвинцовых технологий пайки требует обязательного применения водотомывных флюсовых материалов.
  - Всё перечисленное.
21. В чем визуальное отличие бессвинцовых паяных соединений от традиционных Sn/Pb?
- + Оплавленная галтель бессвинцового припоя выглядит серой, шероховатой, лишённой явного металлического блеска.
  - + В силу большей смачиваемости припоев Sn/Pb галтели выглядят уплощёнными, растекшимися по контактной площадке.
  - Оплавленная галтель бессвинцового припоя выглядит более блестящей, чем галтель припоя Sn/Pb.
  - Правильно сформированные галтели ничем не отличаются друг от друга.
22. Какие из перечисленных финишных покрытий печатных плат наиболее часто используются при бессвинцовой технологии пайки ответственных изделий?
- + Иммерсионное серебро (ImAg).
  - + Химический никель / иммерсионное золото (ENIG).

- Облуживание с выравниванием воздушным ножом (HASL, горячее лужение).
  - Иммерсионное олово (ImSn).
  - Органическая защитная пассивация (OSP).
23. Какие из перечисленных финишных покрытий печатных плат наиболее часто используются при бессвинцовой технологии пайки изделий бытового назначения?
- + Органическая защитная пассивация (OSP).
  - + Иммерсионное олово (ImSn).
  - Облуживание с выравниванием воздушным ножом (HASL, горячее лужение).
  - Химический никель / иммерсионное золото (ENIG).
  - Иммерсионное серебро (ImAg).
24. В чем недостатки OSP покрытия, обладающего при прочих равных условиях большей технологичностью по сравнению с другими бессвинцовыми?
- + Покрытие обеспечивает ограниченное число циклов оплавления.
  - + Данное покрытие создает проблему для реализации автоматизированного электроконтроля.
  - Данное покрытие обеспечивает худшую копланарность контактных площадок чем иммерсионные покрытия.
  - Данное покрытие существенно дороже, чем горячее лужение и иммерсионное олово (ImSn).
25. В чем основные достоинства иммерсионных покрытий по сравнению с HASL, наиболее распространенном покрытии традиционной технологии?
- + Лучшая копланарность контактных площадок.
  - + Отсутствие термического воздействия в процессе нанесения.
  - + Возможность использования компонентов с шагом выводов менее 0,5 мм.
  - Большая дешевизна вследствие меньшего расхода материала на покрытие.
  - Лучшая паяемость вследствие меньшего расхода энергии на нагрев более тонкого покрытия.
  - Лучшая сохранность покрытия во времени.
26. В чем основные достоинства HASL покрытий по сравнению с иммерсионными?
- + Большая дешевизна, освоенность и технологичность HASL процесса.
  - + Лучшая паяемость HASL покрытий.
  - + Лучшая сохранность HASL покрытия во времени.
  - HASL покрытия обеспечивают лучшую копланарность контактных площадок.
  - HASL покрытия обеспечивают лучшую коррозионную устойчивость.
  - HASL процесс отлично совместим с пайкой бессвинцовыми материалами.
27. В чем основные недостатки ENIG покрытия.
- + Высокая стоимость (примерно в 5 раз выше, чем горячее лужение).
  - + Проблема «черной площадки» (выход окисленного никеля из под слоя иммерсионного золота).
  - Выдерживает мало циклов оплавления по сравнению с однокомпонентными иммерсионными.
  - Обеспечивает худшую копланарность площадок вследствие большей толщины покрытия по сравнению однокомпонентными иммерсионными.

28. Что такое комбинированная пайка в ракурсе освоения бессвинцовых технологий пайки?
- + Комбинированной называют пайку, когда хотя бы один из трёх компонентов процесса (припой, финишное покрытие печатной платы и покрытие контактов компонентов) отличается по составу от традиционного Sn/Pb.
  - Комбинированной называют пайку припоем Sn/Pb плат и/или компонентов, имеющих покрытия, не содержащие свинца.
  - Комбинированной называют пайку припоем, не содержащим свинца, плат и/или компонентов, имеющих Sn/Pb покрытия.
29. Какой из вариантов комбинированной пайки представляет наибольшую угрозу для надёжности паяного соединения?
- + Когда бессвинцовым припоем паяются платы и/или компоненты, имеющие покрытия Sn/Pb.
  - Когда припоем Sn/Pb паяются платы и/или компоненты, имеющие покрытия, не содержащие свинца.
30. За счёт каких физико-химических причин происходит снижение надёжности при комбинированной пайке?
- + Незначительный процент свинца, попавшего в бессвинцовый припой, сильно снижает температуру солидуса и припой дольше остается в расплавленном состоянии.
  - + Попадание свинца в бессвинцовый припой приводит к увеличению толщины слоя интерметаллических соединений в области контакта деталь припой.
  - Попадание свинца в припой приводит к снижению механической прочности бессвинцового сплава.
  - Попадание свинца в припой приводит к значительному увеличению удельного сопротивления контакта, что вызывает ускоренную деградацию электрической цепи при эксплуатации.
31. К росту числа каких дефектов печатного узла приводит переход к бессвинцовым технологиям групповой пайки оплавлением?
- + Перемычки между контактными площадками.
  - + Шарик припоя по плате и под компонентами.
  - + Пустоты в паяном соединении;
  - + Эффект надгробного камня.
  - + Эффект «попкорна».
32. Что нужно сделать, чтобы снизить вероятность возникновения эффекта «попкорна»?
- + Просушить печатную плату и компоненты перед сборкой в течение 24 -48 часов при температуре 80 – 90 °С.
  - + Подобрать материалы и компоненты с более высоким классом термостойкости.
  - Постараться снизить температуры зоны оплавления припоя термопрофиля пайки.
  - Уменьшить скорость нарастания температуры в зоне оплавления припоя термопрофиля пайки.