

НЕ ОЛОВОМ ЕДИНЫМ ТЕХНОЛОГИИ И СВОЙСТВА СОВРЕМЕННЫХ ФИНИШНЫХ ПОКРЫТИЙ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

М.Шейкин

Финишные покрытия предназначены для сохранения паяемости контактных площадок печатных плат в течение длительного времени после изготовления. На сегодняшний день наиболее распространены покрытия горячим лужением, иммерсионные и органические. Каждый вид финишных покрытий обеспечивает хорошую паяемость, но имеет свои особенности, которые необходимо учитывать при заказе печатных плат.

Любая поверхность, предназначенная для пайки, – будь то контактная площадка на плате или вывод элемента, должна сохранять паяемость (т.е. хорошо смачиваться припоем и создавать прочное соединение) в течение определенного срока годности и после воздействия неблагоприятных факторов окружающей среды – температуры, влажности, механических воздействий и т.д. Для выполнения этого требования в конце технологического цикла изготовления плат все контактные площадки покрываются финишным покрытием, которое защищает поверхность металла от внешних воздействий. Самым распространенным видом покрытия до недавнего времени было горячее лужение с выравниванием воздухом – HASL или HAL (Hot air (solder) leveling), обеспечивающее отличную паяемость при низкой стоимости.

Для нанесения покрытия по классическому методу HASL предварительно очищенная и обработанная флюсом плата погружается на короткое время в ванну с расплавленным эвтектическим припоем при температуре около 260°. Существуют два варианта горячего лужения – вертикальный и горизонтальный.

При *вертикальном лужении* плату на некоторое время вертикально погружают в ванну с припоем, а затем быстро вытаскивают. Излишки припоя при этом сдуваются струями горячего воздуха (воздушными ножами), они же выравнивают покрытие. Этот способ лужения имеет несколько особенных недостатков (в дополнение к общим недостаткам HASL) – неравномерность толщины покрытия в зависимости от ориентации контактных площадок по отношению к воздушным ножам и возможность загрязнения припоя из-за диффузии меди при превышении номинального времени пребывания платы (точнее, ее нижней части) в ванне на несколько секунд [2]. Вертикальное лужение не используется для плат, предназначенных для поверхностного монтажа.

При *горизонтальном (конвейерном) лужении* плата, двигаясь по конвейеру, проходит через рециркулируемую ванну с припоем, а затем так же обдувается воздушными ножами. Расположив плату на конвейере под углом в 45°, можно добиться относительно равномерной толщины слоя припоя. В результате на контактных площадках платы образуется слой эвтектического припоя толщиной от 1 до 50 мкм.

Несмотря на выравнивание, в результате горячего лужения на плате остаются наплывы припоя. Особенно много их появляется на развитых открытых металлических поверхностях и на очень мелких контактных площадках (например, для компонентов типоразмеров 0603 и меньше, посадочных мест корпусов QFN и BGA). Кроме этого, между площадками с малым шагом возможно образование перемычек. Наплывы припоя влияют на точность установки компонентов при автоматическом монтаже, поэтому метод HASL не рекомендуется применять для плат с мелкими SMD-компонентами.

При горячем лужении плата, погружаемая в расплавленный припой, испытывает жесткий термоудар. Существует мнение, что при подобном тепловом воздействии резко ухудшается надежность внутренних межсоединений печатной платы. Также термоудар вызывает неравномерное тепловое расширение платы (ее деформацию), что может сказаться на точности установки компонентов с малым шагом выводов.

Тем не менее, оловянно-свинцовый HASL-процесс обеспечивает наилучшее по качеству пайки и способности к длительному хранению (не менее одного года) покрытие. Метод горячего лужения можно применять и для нанесения бессвинцовых покрытий. В этом случае применяются припои Sn100, Sn96,5/Ag3,5, SnCuNi, SnAgNi, обеспечивающие столь же высокое качество покрытия, как и свинцово-оловянные припои, и позволяющие использовать при сборке платы как свинцовые, так и бессвинцовые технологии. При этом следует иметь в виду, что бессвинцовые припои имеют более высокую температуру плавления, что чревато повреждением платы.

Преимущества метода HASL:

- и сам метод, и технология дальнейшего использования плат хорошо известны и отработаны;
- хорошая прочность паяного соединения;
- выдерживает много циклов пайки.

Его недостатки:

- неравномерность покрытия и неплоскостность контактных площадок;
- затруднено применение для плат с отверстиями малого диаметра;
- высокая тепловая нагрузка на плату;
- возможность замыкания контактных площадок с мелким шагом.

Как видно, особенности покрытия HASL не позволяют применять его при производстве печатных плат для современных электронных устройств, в которых преобладают миниатюрные

компоненты и микросхемы с большим количеством выводов и малым их шагом.

ИММЕРСИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ. ОСОБЕННОСТИ ПОКРЫТИЯ ИЗ ЧИСТОГО ОЛОВА

Иммерсионные (immersion – погружение) процессы не требуют высоких температур и, как следствие, безопасны для плат. Для нанесения покрытия этим методом достаточно погрузить предварительно очищенную и подготовленную плату в раствор металла. При этом происходит реакция замещения металла основы на металл из раствора. Реакция останавливается после образования на поверхности контактных площадок плотного слоя металла, т.е. этот процесс саморегулирующийся и исключает пропуски и неравномерности. В результате на поверхности контактных площадок образуется слой металла толщиной от 0,5 до 1,5 мкм. В общем срок годности таких покрытий меньше, чем покрытий HASL и составляет меньше года. Деградацию электрохимических покрытий ускоряют повышенная влажность и температура хранения. Кроме этого, любой физический контакт с покрытием, скорее всего, ухудшает паяемость.

Иммерсионное олово (*ImSn*) обеспечивает хорошую (но несколько худшую по сравнению с HASL) паяемость, высокую плоскостность контактных площадок и совместимость со всеми типами пайки. Слой осажденного олова имеет толщину от 0,6 до 1,5 мкм. При нанесении этого покрытия следует иметь в виду, что ванна для оловянирования представляет собой неблагоприятную среду для паяльных масок (которые не могут быть нанесены после покрытия). Находящееся в ванне окисленное олово (побочный продукт реакции) может нарушить целостность покрытия. Кроме этого, медь достаточно легко мигрирует в тонкий слой олова. Для контроля качества покрытия рекомендуется типовой рентгенофлуоресцентный анализ и тесты паяемости.

Этот процесс имеет два характерных недостатка – вероятность образования "усов" и интерметаллических соединений.

"Усы" (whiskers) – это длинные (до 150 мкм) тонкие прямые или изогнутые кристаллические нити, растущие в разных направлениях из материала покрытия (рис.1). Проблема появления "усов" стала актуальной при переходе на бессвинцовые технологии, так как применение классических свинцовосодержащих припоев полностью исключает их возникновение. Кроме олова, к образованию усов склонны цинк и кадмий.



Рис.1. "Усы" олова на медной рамке, покрытой оловом, образовавшиеся в течение трех лет хранения [3]

"Усы" могут вызывать короткие замыкания между проводниками ПП как сами по себе, так и обламываясь и падая на плату в процессе эксплуатации изделия. Перемещаясь по поверхности платы, они могут вызывать как постоянные, так и перемежающиеся отказы изделия. Их появление предсказать невозможно, причем появиться они могут как на новых изделиях, так и через несколько лет эксплуатации. Процесс их возникновения окончательно не изучен, однако известно, что основная причина появления "усов" – сдавливающие напряжения в пленках олова, возникающие из-за формирования интерметаллической структуры окисления, коррозии, циклического изменения температур или механических воздействий [4].

Для снижения вероятности появления "усов" необходимо принять меры по предотвращению сильного окисления покрытия и конденсации влаги, которая может вызвать коррозию. Сочетание олово-латунь, как правило, приводит к образованию "усов", поэтому при нанесении олова на латунь необходимо предварительно создать барьерный слой из никеля толщиной не менее 1,27 мкм [5]. Известно, что риск роста "усов" значительно увеличивается при воздействии на покрытие продолжительного механического сдавливающего усилия.

Причиной появления напряжений в оловянных пленках может стать возникновение на границе между покрытием и основой *интерметаллических соединений (интерметаллидов)*. В общем случае образование интерметаллидов ухудшает паяемость, при малой толщине покрытия растущий слой интерметаллидов полностью поглощает

оловянное покрытие, окисляется и ухудшает смачиваемость припоем [6].

Этих проблем можно избежать, создав между основной и оловянным покрытием барьерную прослойку из органического металла, которая ограничивает диффузию меди в олово. [7] Органические (или синтетические) металлы – это органические соединения, имеющие металлическую проводимость. К ним относят мономерные и высокомолекулярные ион-радикальные соли и комплексы с переносом заряда [8]. Присутствие органического металла положительно влияет на качества оловянного покрытия, обеспечивает его долгую сохраняемость и исключает образование "усов".

Можно выделить следующие преимущества покрытия ImSn :

- высокая плоскостность поверхности, пригодность для монтажа компонентов с малым шагом выводов;
 - относительно низкая стоимость;
 - не влияет на размер металлизированных отверстий;
 - позволяет использовать те же паяльные пасты, что и для HASL-технологии;
 - подходит для технологии *press fit*.
- Недостатки ImSn :
- не выдерживает многократный монтаж/демонтаж компонентов;
 - требует осторожного обращения.

ИММЕРСИОННОЕ СЕРЕБРО

Процесс нанесения иммерсионного серебра покрытия похож на ImSn , но для предотвращения миграции серебра по печатной плате покрытие наносится совместно с органическим соединением, предотвращающим миграцию и окисление серебра. Толщина покрытия не превышает 0,2 мкм. Во время пайки слой серебра полностью растворяется в припое, образуя однородный сплав и обеспечивая высокую надежность соединения.

В процессе хранения и сборки платы покрытие ImAg может пожелтеть. Это происходит из-за загрязнения воздушной среды сульфатами и хлоридами либо нарушения неправильного обращения с платой, что вызвало нарушение защитного органического покрытия. Пожелтение не влияет на свойства покрытия и сказывается лишь на внешнем виде.

Покрытия ImAg имеют те же преимущества, что и ImSn , за исключением их худшей пригодности к технологии *press-fit* из-за высокого коэффициента трения. Серебряное покрытие имеет

достаточно долгий срок хранения (при наличии барьерного подслоя – около года), однако может тускнеть со временем.

ХИМИЧЕСКИЙ НИКЕЛЬ/ИММЕРСИОННОЕ ЗОЛОТО (ENIG, ELECTROLESS NICKEL, IMMERSION GOLD)

Это покрытие представляет собой тонкую (приблизительно 0,05–0,2 мкм) золотую пленку, которая наносится поверх барьерного слоя никеля толщиной 3–5 мкм. Никелирование производится в слабокислом растворе, который позволяет осаждать устойчивые к коррозии сплавы никеля и фосфора (8–10%). Ровный, мелкокристаллический и мелкопористый слой золота обеспечивает хорошую паяемость и защищает никель от окисления; никель же, в свою очередь, служит барьером между медью и золотом, предотвращая их взаимную диффузию и последующее окисление меди, ведущее к образованию не смачиваемой припоем поверхности. Иммерсионное золото имеет хорошую адгезию к слою никеля и может наноситься до или после нанесения паяльной маски. При пайке слой золота полностью растворяется в припое.

ENIG-процесс довольно сложен и трудноуправляем, так как многие его операции требуют контроля. Наносить такое покрытие можно только в вертикальных системах, что не позволяет выполнять эту операцию конвейерным методом.

При работе с платами с финишным покрытием ENIG можно столкнуться с несколькими характерными для этого типа покрытия дефектами.

Пористое золотое покрытие образуется, когда атомы золота формируют неплотную кристаллическую решетку. Через нее к поверхности покрытия диффундируют атомы никеля, образуя непаяемую поверхность. Это достаточно редкий дефект, и до появления проблем с паяемостью он обычно остается незамеченным.

"Охрупчивание" золота. При растворении в олове достаточного (более 4% по массе) количества золота возникает опасность образования хрупких интерметаллидов $AuSn_4$. По их границам соединение разрушается. Для предотвращения этого дефекта толщина золотой пленки не должна превышать 0,064 мкм. Согласно стандарту J-STD-001, выводы компонентов, покрытые сплавом SnAu, рекомендуется перед пайкой погружать в припой для частичного растворения золота [9].

Черная контактная площадка (black pad) – самый распространенный дефект покрытия ENIG. Паяные соединения оказываются настолько непрочными,

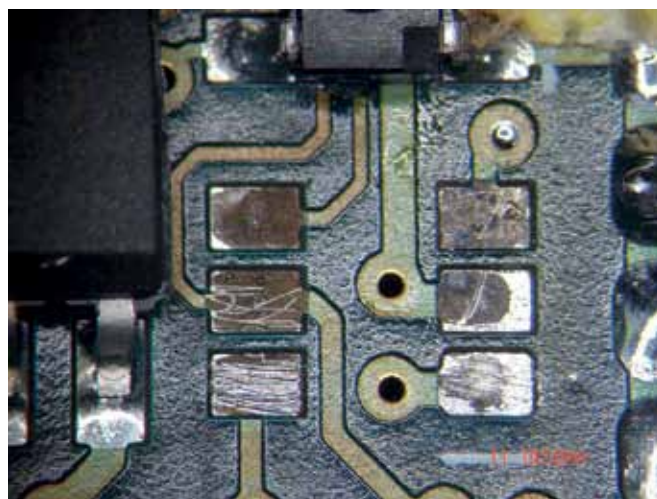


Рис.2. Черные контактные площадки. Под черным слоем видна поверхность никеля [10]

что трескаются и/или отслаиваются даже при минимальном механическом воздействии. Контактные площадки под такими соединениями оказываются черного или темно-серого цвета, откуда и пошло название этого дефекта.

Механизм появления черных контактных площадок еще не изучен окончательно. Исследования свидетельствуют о том, что к появлению этого дефекта имеет отношение фосфор, содержащийся в ванне и в покрытии после его нанесения. Фосфор выделяется в процессе восстановления никеля на поверхность медной площадки; при пайке и растворении золота в припое этот поверхностный слой фосфора обнажается. Он имеет плохую паяемость – припой не смачивает его поверхность и скатывается с нее.

К появлению черных площадок также может привести процесс коррозии никеля при нанесении покрытия – эффект повышенной активности иммерсионного золочения. При этом снижается прочность интерметаллидов Ni-Sn, что и ведет к разрушению соединения. Некоторые другие параметры процесса нанесения покрытия и монтажа (неправильный подбор флюса или режима пайки) также могут быть ответственными за возникновение этого дефекта. Некоторые производители рекомендуют не ограничивать паяльной маской контактные площадки для BGA-компонентов (non solder mask defined pads, NSMD) [11]. При этом припой во время формирования паяного соединения связывается не только с верхней плоскостью контактной площадки, но и с ее боковыми поверхностями. Это несколько повышает прочность соединения, но не избавляет полностью от последствий

черных площадок. В общем, избежать этого дефекта можно, лишь заказывая печатные платы у проверенных поставщиков.

Преимущества покрытий ENIG:

- плоская поверхность, равномерная толщина покрытия;
- хорошая паяемость при использовании малоактивных флюсов;
- выдерживает многократное термоциклирование;
- неокисляемая поверхность, подходящая для нажимных и скользящих контактов;
- подходит для использования микросварки;
- длительный срок хранения (более года);
- не влияет на размер металлизированных отверстий;
- подходит для установки компонентов с малым шагом.

Его недостатки:

- относительно высокая стоимость (на ~10% выше, чем у HASL);
- необходим тщательный подбор флюса;
- использование при производстве канцерогенного никеля;
- возможно появление дефектов "черной контактной площадки".

На сегодняшний день покрытие ENIG считается наиболее универсальным, подходящим для многократных циклов монтажа/демонтажа и пригодным и для свинцовых, и для бессвинцовых технологий монтажа.

ОРГАНИЧЕСКИЕ ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ (OSP, ORGANIC SOLDERABILITY PRESERVATIVES)

Покрытия этой группы наносятся непосредственно на медь контактных площадок и предохраняют ее от окисления во время хранения и при пайке. Существуют два наиболее распространенных способа защитной обработки поверхности меди: бензотриазолами и имидазолами. При этом вещества взаимодействуют исключительно с медью и не адсорбируются на защитной паяльной маске или диэлектрике.

Процесс нанесения такого покрытия прост и легко химически контролируем. Он может выполняться и в горизонтальном, и в вертикальном вариантах, при этом золотые немаскированные области, если они имеются, не повреждаются. Покрытие наносится на прошедшую отмывку и микротравление плату в два этапа с добавлением специальной добавки для предотвращения потускнения. Получившийся защитный слой имеет толщину 0,15–0,65 мкм. Перед нанесением

OSP-покрытия отверждение паяльной маски должно быть полностью завершено.

Одна из особенностей этого покрытия – невозможность точно измерить толщину органической пленки на плате. Так как покрытие прозрачно, также представляет определенную сложность выявление дефектов покрытия (пропуски и инородные частицы). Будучи необнаруженными, эти дефекты проявляют себя при пайке.

Изначально OSP-покрытия имели короткое время жизни и теряли свои свойства после одного-двух циклов монтажа/демонтажа. Современные же покрытия этого типа способны выдержать до четырех циклов пайки без потери свойств при бессвинцовом оплавлении и сохраняют свойства после многократных паек эвтектическим припоем.

OSP-покрытие по своей природе неметаллическое и, следовательно, непроводящее. Это необходимо иметь в виду при проведении внутрисхемного электрического тестирования. Для того, чтобы тестовые пробники имели надежный контакт с площадками на плате, покрытыми OSP, необходимо проколоть (т.е. повредить) покрытие либо обеспечить контакт пробников с площадками каким-либо иным способом.

При упаковке и хранении плат, покрытых OSP, следует остерегаться непосредственного контакта поверхностей плат, так как покрытие может портиться из-за трения.

Покрытие OSP совместимо с водосмываемыми (органическими) и RMA-флюсами, но может быть несовместимо с менее активными флюсами, такими как канифольные флюсы, не требующие отмывки [12].

Итак, преимущества покрытий OSP – это:

- отличная плоскостность поверхности контактных площадок;
- совместимость с бессвинцовыми техпроцессами;
- хорошая прочность паяных соединений;
- самая низкая стоимость и простота нанесения;
- отсутствие влияния на размер отверстий;
- чистое производство.

Их недостатки:

- деградация при высокой температуре (в том числе после нескольких циклов пайки);
- деградация при механическом контакте и даже под действием отпечатков пальцев;
- чувствительность к выбору флюсов;
- чувствительность к отмывочным жидкостям (спиртовые растворы удаляют до 75% покрытия, растворы на водной основе – около 15%) [13];
- повреждение покрытия при электрическом тестировании собранной платы (табл.1).

ПРАКТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ФИНИШНЫХ ПОКРЫТИЙ

В Исследовательском институте телевидения и радио (Польша) [14] было проведено исследование паяемости и качества соединения основных типов покрытий для печатных плат.

Проверка паяемости проводилась методом весового смачивания в соответствии со стандартом ANSI/J-STD-003 [15]. Образец, покрытый флюсом, взвешивается на чувствительных весах и опускается боком на установленные глубину и время в ванну с расплавленным припоем с контролируемой температурой. Результирующая сила выталкивания и поверхностного натяжения,

действующих на образец, определяется с помощью датчика и преобразуется в сигнал, который непрерывно записывается как функция времени.

Использованные в исследовании образцы плат были изготовлены из стеклотекстолита FR-4 толщиной 1,5 мм с двухсторонним нанесением медной фольги толщиной 18 мкм. Образцы покрывались защитными покрытиями:

- HASL 63 %Sn 37%Pb толщиной 10–15 мкм;
- ENIG – слой никеля толщиной 3–5 мкм, золота ~0,1 мкм;
- OSP (Enthone Entek Plus) толщиной 0,2–0,5 мкм;
- ImSn (Ormecop) толщиной 0,5–0,8 мкм с органической подложкой 0,08 мкм.

Таблица 1. Свойства популярных финишных покрытий печатных плат

Параметры	Покрытия				
	HASL	OSP	ENIG	ImAg	ImSn
Параметры конструкции ПП					
Компенсация диаметров отверстий	Требуется, на 0,050–0,076 мм	Нет			
Минимальный размер сквозного отверстия	Максимальное отношение длины к диаметру отверстия 6:1	Нет ограничений			
Отверждение маски на металлизированных отверстиях (после нанесения финишного покрытия)	УФ/Термическое	УФ	УФ/Термическое	УФ	
Использование в качестве контактного покрытия	Плохо	Не рекомендуется	Хорошо для контактов, подвергающихся небольшому износу		
Установка электромагнитного экрана	Нормально	Не рекомендуется	Нормально		
Участки открытой меди	Отсутствуют	Участки, где после сборки нет паяных соединений	Отсутствуют		
Процесс изготовления печатной платы					

Таблица 1. Продолжение

Параметры	Покрyтия				
	HASL	OSP	ENIG	ImAg	ImSn
Техпроцесс по характеру выполнения	Конвейерный или вертикальный	Конвейерный	Только вертикальный	Конвейерный или вертикальный	
Температура процесса, °C	250	40	85	50	60
Степень опасности для человека и окружающей среды	Высокая (свинец, температура)	Низкая	Средняя	Низкая	Высокая (присутствие тимо-чевины)
Время выдержки между циклами оплавления	Не имеет значения	24 ч	Не имеет значения		24 часа
Проблемы качества	Перемычки между выводами ЭК с малым шагом, недостаточная плоскостность	Механическая непрочность	Пропуски покрытия, лишнее покрытие	Неправильное обращение с платами	Негативное воздействие паяльной маски/ Неправильное обращение с платами
Ремонтопригодность законченной сборки	Зависит от конструкции	Хорошая	Ограничена нанесением покрытий Ni и Au с помощью гальванического натирания	Ограниченная	Средняя
Измерение толщины покрытия	Рентгеновский флуоресцентный контроль изделия	С помощью УФ-спектрофотометра по тестовому образцу	Рентгеновский флуоресцентный контроль изделия		
Технологичность	Высокая	Очень высокая	Очень низкая	Очень высокая	Низкая
Относительные производственные затраты	1	0,3	2	1	1
Сборка					
Паяемость	Отличная	Хорошая	Отличная		
Толщина нанесенного слоя	1–50 мкм	0,2–0,5 мкм	Au: 0,05–0,2 Ni: 3–5 мкм	0,05–0,2 мкм	0,5–1,5 мкм

Таблица 1 (Продолжение)

Параметры	Покрyтия				
	HASL	OSP	ENIG	ImAg	ImSn
Расстояние между элементами проводящего рисунка	Ограничено шагом КП для QFP-компонентов, равным 0,5 мм	Нет ограничений	Для медных элементов – мин. 0,1 мм без перемычек паяльной маски	Нет ограничений	
Совместимость с бессвинцовыми техпроцессами	Нет	Да			Ограничено числом циклов оплавления
Пригодность для выполнения соединений методом запрессовки	Да				
Пригодность для выполнения соединений трением/установка краевых разъемов	Не рекомендуется	Нет	Не рекомендуется		Нет
Пригодность для производства клавиатур/сенсорных панелей	Не рекомендуется	Нет	Не рекомендуется	Да	Нет
Проблемы надежности					
Прочность паяного соединения	Хорошая	Отличная	Хорошая (проблемы могут возникать с большими BGA-корпусами). Дефекты "черная контактная площадка" и "охрупчивание" паяных соединений	Отличная	Хорошая
Долговечность покрытия	Хорошая	В зависимости от условий обращения	Очень хорошая	В зависимости от условий обращения и хранения	Хорошая

Таблица 2. Результаты испытаний на паяемость образцов плат с различными покрытиями

Покрытие	Условия	t_z , с	P_{max} , МН/м
Медь	После обработки пемзой	0,069	184
HASL	Свежее покрытие	0,45	244
	Инфракрасный нагрев	0,52	228
	4 ч при 155°C	0,61	165
	10 дней при 40°C	0,79	121
	Три месяца в лабораторных условиях	0,60	152
ENIG	Свежее покрытие	0,84	184
	Инфракрасный нагрев	0,86	155
	4 ч при 155°C	1,86	126
	10 дней при 40°C	0,94	148
	Три месяца в лабораторных условиях	1,04	168
ImSn	Свежее покрытие	0,51	251
	Инфракрасный нагрев	0,54	218
	4 ч при 155°C	0,69	131
	10 дней при 40°C	0,94	124
	Три месяца в лабораторных условиях	0,77	148
OSP	Свежее покрытие	0,55	266
	Инфракрасный нагрев	0,84	246
	4 ч при 155°C	–	–438
	10 дней при 40°C	∞	195
	Три месяца в лабораторных условиях	0,55	265

Для тестирования применялась ванна с эвтектическим сплавом 63% олова и 37% свинца при температуре 250°C и неочищенным слабоактивированным флюсом с низким содержанием сухого остатка. Для покрытия ENIG был выбран припой TZ-3/ITR (на основе сложных органических эфиров дикарбоксилида, активированный дикарбоксилидом и органической солью), а для HASL, ImSn и OSP – TN/4A/ITR (на основе сложных органических эфиров дикарбоксилида, активированный смесью дикарбоксилидов). Для измерения использовался менискографический тестер паяемости типа МК6А, подключенный к компьютеру.

Перед тестированием образцы плат подвергались следующим воздействиям:

- однократному ИК-нагреву;
- сухому прогреву в течение 4 ч при температуре 155±2°C;
- влажному равномерному прогреву в течение 10 дней при температуре 40±2°C;
- естественному старению в течение трех месяцев в лабораторных условиях.

Также проверялись платы с только что нанесенными покрытиями, и, для сравнения, платы без покрытия, очищенные пемзой. Каждый образец погружался в ванну на глубину 5 мм и оставался там в течение 10 с.

Паяемость определялась следующими критериями:

- время смачивания t_z , измеренное от момента контакта образца и припоя, до момента, когда

угол между платой и поверхностью припоя станет равным 90°;

- максимальная сила смачивания P_{\max} между образцом и припоем);
- качество паяемой поверхности (неравномерность покрытия относительно образцовой платы, погруженной в припой, определялось визуально (табл.2).

Тест показал, что независимо от типа покрытия и условий, в которых оно выдерживалось, во всех случаях за исключением одного была обеспечена отличная паяемость. Все образцы были покрыты широким, гладким, непрерывным и ярким слоем припоя; исключением стал лишь образец, покрытый OSP – после 4-часовой выдержки при 155°C это покрытие практически полностью потеряло свои свойства (площадь смоченной припоем поверхности – менее 10%).

По итогам тестирования можно сказать, что:

- все покрытия обеспечивают высокий уровень паяемости, в том числе и после искусственного и естественного старения;
- покрытие OSP не выдерживает высоких температур – после испытаний при 155°C плата полностью потеряла паяемость;
- свеженанесенные покрытия HASL, ImSn и OSP имеют сопоставимую высокую паяемость, а ENIG и чистая медь – немного худшую;
- естественное и ускоренное старение снижает паяемость всех покрытий, но по-разному: на покрытие ENIG большее воздействие оказало естественное трехмесячное старение, а на HASL, ImSn и OSP – выдержка при высокой температуре.

Проведенные проверки прочности паяных соединений показали, что покрытие ENIG обеспечивает незначительно большую прочность соединения, чем остальные. После выдержки образцов при 145°C в течение 220 ч для всех покрытий прочность соединений уменьшилась на 6-8%.

Таким образом, было экспериментально показано, что современные финишные покрытия обеспечивают высокую, сравнимую с HASL паяемость и прочность соединения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Финишные покрытия печатных плат. Портал ЭЛИНФОРМ, elinform.ru/articles_70.htm
2. Материалы для производства печатных плат. – RCM group, www.npf-abris.ru
3. NASA photo gallery. – nepp.nasa.gov/WHISKER/photos/
4. Основные проблемы чистого олова. – Портал ЭЛИНФОРМ, elinform.ru/articles_35.htm
5. Технологии в производстве электроники. Часть II. Справочник по производству печатных плат./ Под ред. П. Семенова. – М.: ООО "Группа ИДТ", 2007.
6. Интерметаллиды. – www.xumuk.ru
7. iNEMI Tin Whisker User Group. Recommendations on Lead-Free Finishes for Components Used in High-Reliability Products Version 3 (Updated May 2005).
8. Металлы органические. Химическая энциклопедия, т.3. – М.: Большая российская энциклопедия, 2003.
9. **Brian Toleno**. PCB surface finish options for lead-free manufacturing. – EMSNow, www.emsnow.com
10. www.es-technology.co.il/56628/Consulting-Services
11. **Duane Benson**. Black pad – and then some. – SMT, smt.pennnet.com
12. **Vern Solberg**. Part 3: Specifying Base Materials for SMT Circuit Boards. – SMT, smt.pennnet.com
13. **Kermit Aguayo**. Selection of PWB finish. – Process Sciences, Inc., www.process-sciences.com
14. **Zofia Morawska, Grazyna Koziol**. Lead-free solderability preservative coatings of PCBs. – Tele and Radio Research Institute, Warsaw.
15. ANSI/J-STD-003. Joint Industry Standart. Solderability Tests for Printed Board. April 1992.