

Финишные покрытия печатных плат. Особенности применения.

Вопрос. В нашей практике конструирования печатных плат мы применяли до сих пор только свинцово-оловянное покрытие (HAL). Но с ростом применения бессвинцовых компонентов и необходимостью применения в будущем таких компонентов как BGA, назрела необходимость использования других покрытий. Какие на сегодняшний день есть типы покрытий? Какие из них оптимально использовать в свете применения Pbfree компонентов, в том числе BGA? Можно ли в одном изделии использовать как бессвинцовые, так и обычные компоненты? Какие в этом случае есть особенности?

Ответ. Поверхности, предназначенные для пайки, должны иметь покрытия, которые обладают способностью к смачиванию припоем и длительное время сохраняют эту способность. Чтобы пайка электронных модулей прошла успешно, покрытия компонентов и финишные покрытия печатных плат должны хорошо сочетаться, поскольку при пайке они находятся в одинаковых условиях по припою, по флюсу, по температурно-временным режимам. Особенно это актуально при использовании технологий бессвинцового монтажа компонентов, поскольку смачиваемость бессвинцовых припоев несколько хуже, чем обычных.

При серийном производстве, кроме хорошей сочетаемости покрытий компонентов и плат, немаловажным фактором является еще и стоимость покрытия, поскольку она может существенно повлиять на конечную стоимость партии электронных изделий. Поэтому, несмотря на достаточно большое разнообразие финишных покрытий, сложно выбрать один вариант, соответствующий всем требованиям по стоимости, смачиваемости, долговременности и т.д. Рассмотрим типы покрытий, наиболее широко применяемые в современной промышленности:

- HASL (Hot Air Solder Leveling) — лужение погружением, с последующим вправиванием горячими воздушными ножами;
- OSP (Organic Solderability Preservative) — органическое защитное покрытие;
- NiAu (ENIG -- Electroless Ni & Immersion Gold) — химический никель и иммерсионное золото;
- ImmAg (Immersion Ag) — иммерсионное серебро;
- ImBi (Immersion Bi) — иммерсионный висмут;
- Pd (Electroplate or Electroless Pd) — химический или гальванический палладий;
- NiPdAu (Electroless NiPd & Immersion Au) — иммерсионное золото, поверх подслоя химического никеля и палладия;
- NiPd (Electroless Ni & Immersion Pd) — палладий, поверх химического никеля;
- ImmSn (Immersion Sn) — иммерсионное олово;
- NiSn (Electroplate Ni & Sn) — иммерсионное олово, поверх химического никеля;

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

Процесс HASL

Сущность HASL процесса состоит в следующем: платы погружают на короткое время в ванну с расплавленным припоем. Припой может быть как обычным — PbSn, так и бессвинцовым. Затем платы обдувают струей горячего воздуха, которая убирает излишки припоя

и выравнивает покрытие. Толщина такого покрытия, как правило, составляет 20-50 мкм. Но, несмотря на выравнивание, наплывы припоя остаются. Особенно много их на развитых открытых металлических поверхностях и на очень мелких площадках (например, чип-компоненты в типоразмере 0603 и мельче, площадки QFN и BGA-корпусов). В процессе монтажа наплывы становятся помехой на стадии установки мелких компонентов, что снижает точность позиционирования при автоматизированной сборке изделия. Этот фактор значительно ограничивает применение HASL в платах с миниатюрными элементами. Однако с точки зрения качества и исключительно длительной способности к пайке данное покрытие, безусловно, наилучшее. Как правило, время жизни бессвинцовых HASL ограничено до 9-12 месяцев. При большем сроке хранения покрытие постепенно теряет паяемость. Для оловянно-свинцовых HASL время жизни значительно дольше -- не менее 1 года. В нашей практике был случай, когда платы, пролежавшие в заводской вакуумной упаковке около 2,5 лет, сохранили прекрасную паяемость.

Еще одна особенность горячего лужения — жесткий термоудар, который испытывают платы при погружении в расплавленный припой. Чем выше рабочая температура припоя, тем труднее обеспечить надежность межсоединений. Некоторые предприятия не используют бессвинцовые HASL процессы для многослойных плат, считая, что они уменьшают надежность внутренних межсоединений из-за подобных термоударов.

К сожалению, сегодня отсутствуют приемлемые по качеству и относительно низкотемпературные бессвинцовые припои для HASL процессов. Поэтому в случае использования бессвинцового техпроцесса монтажа и применения мелких чип-компонентов (а также BGA и других безвыводных компонентов с малым шагом) следует отказаться от применения бессвинцового HASL.

Покрытие OSP — обеспечивает защиту медной поверхности от окисления в процессе хранения и пайки. В конце пайки такой слой, выполнив свою функцию, теряет способность обеспечивать последующие процессы пайки. Это дешевое покрытие применяется в Японии уже более 20 лет. В целях снижения себестоимости изделия конструкторы, учитывая данную особенность, выполняют процесс пайки в одну стадию группового нагрева. OSP — хорошая альтернатива HASL, но имеет короткий жизненный цикл, что сказывается на технологической надежности. Это покрытие не обеспечивает многократную пайку (тем более при высоких температурах), и, чтобы избежать проблем с монтажом, необходимо использовать азот в качестве нейтральной среды пайки.

Таким образом, применение OSP ограничено. Его целесообразно использовать только при монтаже крупных партий изделий, когда дизайн платы отработан, устройство отлажено и не нуждается в дополнительных настройках и перепайках. При таком подходе себестоимость плат с OSP в качестве финишного покрытия получается минимальной.

Покрытие ENIG — (3...6 мкм Ni + 0.05...0.1 мкм Au) — другая альтернатива HASL процессам. Такое покрытие свободно от ионных загрязнений и способно к многократной пайке при высоких температурах. Функция тонкого слоя золота — защищать никель от окисления, а сам никель служит барьером, предотвращающим взаимную диффузию золота и меди. Характерный и чуть ли не единственный дефект покрытия ENIG — черные контактные площадки, появляющиеся на поверхности вследствие оголения никеля и выпотевания фосфора, т.е. когда 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. Чаще всего такой дефект образуется при использовании тонкого слоя золота. Это так называемый — flashgold. Его особенность — очень тонкий слой золота, меньше 0.025 мкм, поверх тонкого подслоя никеля. Отличительный признак такого покрытия — гладкая, блестящая поверхность в отличие от ENIG, поверхность которого имеет матовый блеск. Черные контактные площадки могут возникать также при передержке процесса пайки и при неправильном выборе флюса .

Покрытие ENIG достаточно капризно в выборе флюсов, а его цена примерно на 10...25 % выше, чем у HASL. Это главный недостаток такого финишного покрытия печатных плат. Преимущества ENIG:

- жизнеспособность более года;
- идеально плоская контактная поверхность, позволяющая производить монтаж самых мелких компонентов, таких как чип-резисторы в типоразмере 0201 и меньше, элементы в корпусах Ψ BGA с шагом в 0.5 мм или QFN с шагом 0.40 мм;
- хорошая смачиваемость припоем при правильном подборе флюса;
- неокисляемая поверхность.

Покрытие ENIG целесообразно применять для плат, нуждающихся в отладке (в опытных образцах), и плат, для эксплуатации которых предъявляются особые требования. Благодаря высокой живучести ENIG платы с этим покрытием могут монтироваться через достаточно продолжительные промежутки времени после изготовления. ENIG идеально подходит практически для любых технологий монтажа изделий, как бессвинцовых, так и свинецсодержащих.

Иммерсионное олово (ImmSn) — еще одна альтернатива HASL-процессам. Популярность ImmSn растет за счет обеспечения хорошей смачиваемости для бессвинцовой технологии монтажа и простоты процесса осаждения. ImmSn демонстрирует беспроблемную и лучшую паяемость, нежели ENIG, в отношении бессвинцовых припоев.

Из-за образования интерметаллических соединений $CuXSnY$ достаточно долго существовали значительные ограничения для применения ImmSn. Причем способность к пайке исчезала через две недели — месяц, поскольку толщина иммерсионного олова не превышает 1.0 мкм. А интерметаллиды $CuXSnY$, развивающиеся на границе контакта меди с оловом, быстро поглощают этот тонкий слой. Еще один недостаток ImmSn — самопроизвольное образование нитевидных кристаллических усов.

В современных финишных покрытиях на основе иммерсионного олова (например «ENTEK Plus™») подобные эффекты значительно ослабляются. Между медью и слоем олова вводится барьерный подслой (органические полимерные соединения имеющие свойства, присущие металлам: электропроводность, потенциал «благородных» металлов, каталитические свойства).

Способность к пайке ImmSn (0.5-0.8 мкм) с барьерным подслоем (0.08-0.1 мкм) сохраняется до полугода и больше. Так как толщина олова в покрытии очень мала, уменьшается вероятность образования усов. А в результате пайки такое покрытие теряет самостоятельность для каких-либо неблагоприятных процессов, характерных для чистого олова.

Преимущества ImmSn с барьерным подслоем:

- относительно низкая стоимость процесса осаждения;
- хорошая и достаточно длительная паяемость;
- плоская поверхность покрытия (как и у ENIG), дающая возможность паять мелкие компоненты.

Ввиду ограниченного срока жизни ImmSn не следует применять его для плат, срок монтажа которых неизвестен либо может быть отложен на срок более 2-3 месяцев. Покрытие ImmSn также не следует применять для монтажа со свинецсодержащими припоями, поскольку рабочей температуры такого монтажа не хватит для активации покрытия и полного его расплавления.

В результате возникают дефекты, показанные на рис. 1.

Иммерсионное серебро (ImmAg)

Толщина ImmAg не превышает 0.2 мкм, соответственно расходы на реализацию этого покрытия незначительны. Жизнеспособность ImmAg гораздо выше, чем OSP и ImmSn, 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 внешний вид покрытия при этом страдает. Консервирующие покрытия антиокислителей тормозят процесс пожелтения и продлевают жизнеспособность покрытия.

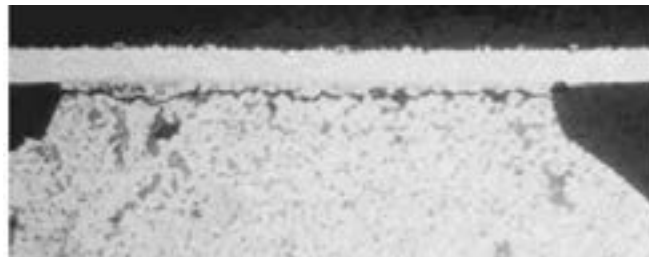


Рис 1. «Холодная» пайка, возникшая при монтаже свинцового BGA-компонента на бессвинцовое покрытие

Преимущества ImmAg:

- невысокая стоимость процесса покрытия;
- хорошая и достаточно длительная паяемость;
- плоская поверхность покрытия (характерно для всех иммерсионных покрытий).

Покрытие ImmAg одинаково пригодно как для бессвинцового, так и для обычного техпроцесса. Оно хорошо подходит для монтажа серийных партий и опытных образцов. При правильном хранении плат срок жизни покрытия достигает одного года, что позволяет выполнять отложенный монтаж плат. Кроме того, иммерсионное серебро — чуть ли не единственный тип покрытия, показывающий хорошие результаты для СВЧ приложений, для которых важнейшим параметром является высокая поверхностная проводимость проводников.

Кроме финишного покрытия печатной платы, в процессе монтажа участвует также и покрытие компонентов. Для правильного понимания процессов, происходящих при пайке, необходимо рассмотреть также и особенности покрытий компонентов. Лидирующие на текущий момент покрытия компонентов:

- матовое гальваническое олово для дискретных компонентов;
- матовое гальваническое олово для SMT компонентов с коротким жизненным циклом (5 лет и менее);
- матовое гальваническое олово с никелевым подслоем для долгоживущих компонентов (более 5 лет);
- Sn4Ag0.5Cu для выводов BGA;
- лужение выводов компонентов для пайки в отверстия;
- гальваническое золочение выводов,
- гальваническое покрытие никельбор с последующим горячим лужением.

Чистое олово при правильно подобранных флюсах хорошо паяется в широком диапазоне температур. Однако его использование опасно из-за возможности не только рекристаллизации (при температуре хранения ниже 13 °C -- так называемая «оловянная чума»), но и образования усов. Таким образом, компоненты, хранившиеся в ненадлежащих условиях или достаточно продолжительное время, теряют, зачастую полностью, способность к пайке. После пайки чистое олово перестает быть таковым и опасения теряют актуальность.

Гальваническое золото. Это покрытие используется много лет и не имеет каких-либо

нареканий, кроме относительной дороговизны и дополнительных затрат на сбор отходов, возникающих в производстве.

NiВ. Данное покрытие капризно ведет себя у потребителя. Проблемы, возникающие в процессах подготовки выводов к пайке и в ходе самой пайки, заключаются, в основном, в потере паяемости. Тем не менее благодаря дешевизне оно имеет тенденции к широкому применению.

SnBi. Эвтектический сплав 42Sn58Bi имеет температуру плавления 138 °С. Аналогичный сплав, но содержащий 3 % висмута, плавится при температуре 215-220 °С. Эти сплавы тоже проявляют способность к образованию усов, но в сочетании с SnPb-припоями после пайки такая опасность исчезает.

SnAg. Эти сплавы обладают хорошей паяемостью и хорошими механическими свойствами, однако их стоимость высока. Сплав Sn3.5Ag относительно дешев, но проявляет склонность к образованию усов. Сплав Sn5.0Ag лишен подобного недостатка, но стоит дороже и имеет неприемлемо высокую температуру плавления.

NiPd. Покрытие применяется с конца 80-х годов XX века. Это покрытие, как и гальваническое золото, универсально. Имеет хорошую паяемость, долговечно.

SnCu. Эвтектический сплав Sn0.7Cu — относительно дешевый, мелкозернистый припой, демонстрирующий хорошую паяемость. Но и он проявляет склонность к рекристаллизации олова и образованию усов. Плавится при температуре 227 °С.

В этом списке сознательно не указаны покрытия компонентов, имеющие в своем составе свинец. Это связано с тем фактом, что в феврале 2003 года Европейский союз утвердил программу полного перехода на бессвинцовую технологию, которая начала действовать с июня 2006 года. С этой даты какие-либо свинецсодержащие продукты не производятся в Европе и не ввозятся в нее. Вместе со свинцом под действие директивы попали ртуть, кадмий, шестивалентный хром, polybrominated biphenyls (PBB) и polybrominated diphenyls ethers (PBDE). Китай также принял подобное решение с незначительными изменениями, иначе его электронные товары не разрешили бы ввозить на европейский рынок. Под эту директиву не подпадает только производство особо ответственной аппаратуры (военной, связи), связанной с поддержанием безопасности и жизнеобеспечения. Компоненты с оловянно-свинцовыми покрытиями, присутствующие на современном рынке электронных компонентов, — это, как правило, остатки, произведенные до полного перехода заводов-изготовителей на бессвинцовые технологии согласно директиве RoHS.

Все указанные покрытия компонентов можно условно разделить на две группы: исключительно бессвинцовые и «совместимые», позволяющие использовать эти компоненты как при бессвинцовом техпроцессе монтажа, так и при свинецсодержащем. Первая группа характеризуется относительно высокой температурой плавления покрытий. Это покрытия на основе сплавов олова с другими металлами, как правило, с низким содержанием легирующих примесей.



Рис.2. Расслоение чип-конденсатора при превышении температуры пайки



Рис. 3. Поперечный срез паяного соединения, содержащего диффузионные поры

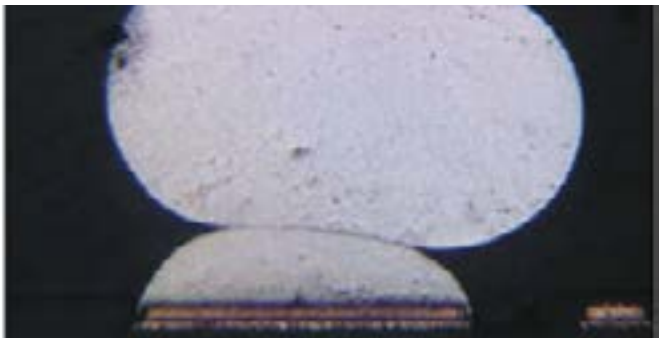


Рис. 4. Отсутствие паяного соединения между бессвинцовым шариком BGA-компонента и оловянно-свинцовой пастой



Рис. 5. «Холодная» пайка, возникшая при монтаже бессвинцового BGA-компонента на оловянно-свинцовую пасту

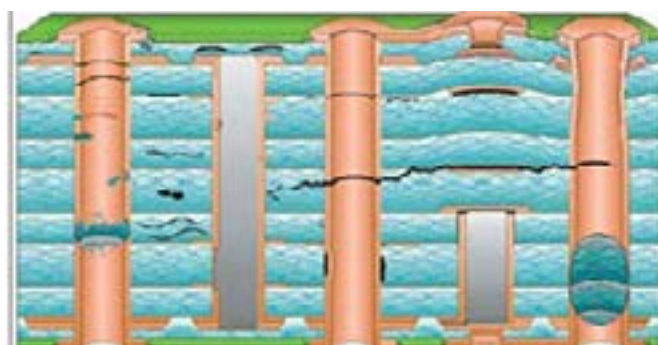


Рис. 6. Реакция основания МПП на термоудар при несоответствии T_g и пластичности меди температурным нагрузкам при пайке

Вторая группа — покрытия NiAu, PdAu, NiPd, NiB и т.п. Все эти покрытия удовлетворительно работают как при бессвинцовой технологии монтажа, так и при обычной. Компоненты с такими покрытиями имеют повышенную предельную температуру, как и в случае с компонентами с бессвинцовыми покрытиями. Они, как правило, допускают нагревание до 300 °С, в отличие от компонентов с оловянно-свинцовым покрытием, не допускающих перегрева выше 250 °С. Довольно часто компоненты, не предназначенные для бессвинцовой пайки, подвергаются разрушению во время монтажа при повышенных температурах, характерных для бессвинцовых профилей монтажа (см. рис. 2).

Компоненты с бессвинцовыми покрытиями не могут быть использованы для применения в линиях автоматизированного монтажа по обычному техпроцессу с применением оловянно-свинцовых паст. Причина — возникновение дефекта «холодной» пайки вследствие недостаточной диффузии свинецсодержащего припоя и бессвинцового покрытия (см. рис. 3). Устранить этот дефект можно, только используя тепловой профиль пайки с более высокой температурой оплавления, характерной для бессвинцовых технологий. Но в этом случае, если совместно с бессвинцовыми компонентами используются свинецсодержащие, есть риск повреждения последних. Особенно это касается интегральных элементов — существует риск повреждения внутренней структуры кристалла вследствие перегрева. Кроме того, применение более высоких температур монтажа для свинцовых паст не всегда приемлемо, поскольку флюсы, входящие в состав таких паст, имеют более низкую температуру активации и испарения.

Это значит, что на завершающей стадии оплавления, при более высокой температуре, флюса может не остаться, поэтому поверхность паяного соединения будет иметь множество дефектов.

Отдельно следует упомянуть недопустимость использования бессвинцовых BGA-компонентов в обычном техпроцессе оплавления с применением свинцовых паст. При использовании стандартного для таких паст профиля пайки бессвинцовые шарики не расплавляются, и возникают дефекты, показанные на рис. 4 и 5. Компоненты в корпусах BGA, выполненные по бессвинцовой технологии, необходимо паять только по бессвинцовому техпроцессу с применением бессвинцовых паст. Только таким образом можно достичь качественного монтажа таких элементов.

Если же возникает острая необходимость применить бессвинцовый BGA корпус в устройстве, которое будет монтироваться на оловянно-свинцовую пасту, необходимо предварительно выполнить реболлинг шариков BGA: смыть бессвинцовые шарики и «накатать» новые, из свинцового припоя.

Кроме финишного покрытия, следует обратить внимание и на материал диэлектрика печатной платы. Повышение температур паяк до 260...270 °C ускоряет процессы разрушения межсоединений 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 °C изменяет скорость всех процессов, в том числе скорость деградации (в 2 раза). Диэлектрическое основание плат после температуры стеклования интенсивно расширяется и за счет этого нагружает металлизацию отверстий, сдвигая внутренние соединения в многослойных печатных платах. Для стеклоэпоксидных композиций: при $T < T_g$ ТКР $\approx 60 \times 10^{-6}$; при $T > T_g$ ТКР $\approx (200...300) \times 10^{-6}$; для меди ТКР $\approx 17 \times 10^{-6}$. Это может привести к многочисленным разрывам соединений и трещинам в объеме оснований плат (см. рис. 6).

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