



Список использованных источников

1. Коледов Л.А. Технология и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок. – М.: Лань, 2007.-400с.
2. Ермолаев Ю. П., Пономарев М.Ф., Крюков Ю. Г. Конструкции и технология микросхем. – М: Сов. радио,1980.-256с.

ФИНИШНЫЕ ПОКРЫТИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ ПРОИЗВОДСТВА СОВРЕМЕННОЙ АППАРАТУРЫ

Ю.П. Ерендеев

В современных электронных изделиях находят применение разнообразные финишные покрытия, различающиеся своими свойствами.

Финишные покрытия наносятся в процессе производства печатных плат на контактные площадки и другие открытые элементы печатного рисунка. Основное назначение покрытий – это защита медной поверхности контактных площадок и обеспечение качественной пайки электронных компонентов на печатные платы. Для выполнения данной задачи к финишным покрытиям предъявляются следующие основные требования:

- хорошая смачиваемость покрытия припоем;
- сохранение паяемости в течение длительного времени;
- предотвращение отслаивания при эксплуатации изделия;
- сочетаемость покрытий компонентов и плат.

При производстве также 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.

Выбор конкретного покрытия определяется назначением тех элементов печатного рисунка, которые им покрываются. Для контактных площадок, предназначенных для пайки, основными требованиями будут паяемость и совместимость с материалом выводов компонентов и составом припоя. Для контактных площадок под компоненты, монтируемых на поверхность ПП, большую роль играет возможность обеспечения плоскостности покрытия. Когда покрытые элементы рисунка подвергаются механическим воздействиям, например в краевых (печатных) разьемах, на выбор покрытия будут оказывать существенное влияние его механические свойства: коэффициент трения, стойкость к износу, механическая прочность. На элементы рисунка одной платы, имеющие различное назначение, могут наноситься разные покрытия, если это необходимо для обеспечения качества и надежности, либо одинаковое покрытие с «компромиссными» свойствами для упрощения процесса изготовления.

Рассмотрим типы покрытий, наиболее широко применяемые в современной промышленности. Среди наиболее распространенных финишных покрытий можно назвать следующие:

HASL или HAL (Hot Air Solder Leveling) – покрытие припоем с выравниванием воздушным ножом;

ENIG (electroless nickel/immersion gold, также часто обозначается ImAu) – химический никель/иммерсионное золото;

ImSn – иммерсионное олово;

ImAg – иммерсионное серебро;

OSP (Organic Solderability Preservative) – органическое защитное покрытие.

Существует также ряд менее распространенных покрытий:

ImBi – иммерсионный висмут;

Pd (Electroplate Pd либо Electroless Pd) – палладий, нанесенный гальваническим либо химическим осаждением;

Ni (Electroless Ni) – химический никель;

NiPd (Electroless Ni/Immersion Pd) – химический никель/иммерсионный палладий;

NiPdAu (Electroless NiPd/Immersion Au) – химический никель и палладий/иммерсионное золото;

NiSn (Electroplate Ni/Sn) – гальваническое осаждение никеля и олова;

SnAg (Electroplate Sn/Ag) – гальваническое осаждение олова и серебра;

Гальваническое оловянно-свинцовое покрытие (гальванический ПОС).



Горячее лужение ПОС-63 (HASL)

Толщина, мкм: 15-25.

Процесс горячего облуживания платы, методом погружения на ограниченное время в ванну с расплавленным припоем и при быстрой выемке обдувкой струей горячего воздуха, убирающей излишки припоя и выравнивающей покрытие.

Плюсы

- ✓ Наиболее хорошо известный и традиционно применяющийся метод покрытия, технология его нанесения и дальнейшего использования плат, покрытых HASL, хорошо отработана.
- ✓ Хорошая прочность паяного соединения.
- ✓ Выдерживает множество циклов пайки.

Минусы

- ✓ Значительная неплоскостность контактных площадок.
- ✓ Содержит свинец, вреден для окружающей среды и обслуживающего персонала.
- ✓ Затруднено применение для плат с большим соотношением толщина платы и диаметра металлизированного отверстия.
- ✓ Значительная тепловая нагрузка на плату, что может вызвать ее коробление.
- ✓ жесткий термоудар, который испытывают межслойные соединения многослойной платы при погружении в расплавленный припой.
- ✓ Возможны замыкания контактных площадок компонентов с малым шагом; не рекомендуется применять данный метод для компонентов с шагом менее 0.5 мм.
- ✓ Неравномерная толщина покрытия на контактных площадках разного размера и ориентации.



Иммерсионное золочение (Electroless Nickel

/Immersion Gold - ENIG)

Толщина, мкм: 3 – 5,0 Ni; 0,06 – 0,1 Au.

Наносимое химическим методом покрытие, представляет собой тонкую золотую пленку, наносимую поверх подслоя никеля. Функция золота — обеспечивать хорошую паяемость и защищать никель от окисления, а сам никель служит барьером, предотвращающим взаимную диффузию золота и меди.

Плюсы

- ✓ Плоская поверхность, равномерная толщина покрытия.
- ✓ Подходит для установки компонентов с малым шагом.
- ✓ Не влияет на размер металлизированных отверстий.
- ✓ Выдерживает многократное термоциклирование.
- ✓ Подходит для нажимных и скользящих контактов.

Минусы

- ✓ Паяемость сильно зависит от правильного выбора очистителей, флюса и режимов пайки.
- ✓ Печатные платы должны храниться в вакуумной упаковке в шкафах сухого хранения.
- ✓ Содержит никель, который считается канцерогеном.
- ✓ Не оптимально для плат с высокоскоростными сигналами.
- ✓ Возможно появление дефектов типа «черные площадки».
- ✓ Ограничения по зазорам рисунка, открытых от защитной маски и на ФАФе.



Иммерсионное олово (Immersion Tin - ImSn)

Толщина, мкм: 0,8–1,2 Sn.

Химическое покрытие, обеспечивающее высокую плоскостность печатных площадок платы и совместимое со всеми способами пайки, нежели ENIG. Процесс нанесения иммерсионного олова, схож с процессом нанесения иммерсионного золота.

Иммерсионное олово обеспечивает хорошую паяемость после длительного хранения, которое обеспечиваются введением подслоя органометалла в качестве барьера между медью контактных площадок и непосредственно оловом. Барьерный подслоя предотвращает взаимную диффузию меди и олова, образование интерметаллидов и рекристаллизацию олова. В данном случае подозрения, что из ImSn самопроизвольно могут образоваться нитевидные кристаллические усы, несостоятельны, поскольку толщина покрытия недостаточна для их формирования. А в результате пайки

оно теряет самостоятельность для каких-либо неблагоприятных процессов, характерных для чистого олова.

Плюсы

- ✓ Отличная паяемость.
- ✓ Можно использовать те же паяльные пасты, что и для плат с покрытием HAL.
- ✓ Плоская поверхность, покрытие подходит для установки компонентов с малым шагом выводов.
- ✓ Хорошо подходит для выполнения соединений разъемов с платой методом запрессовки по технологии Press-Fit.
- ✓ Хорошо подходит для ВЧ плат (не содержит слой никеля).
- ✓ Не влияет на размер металлизированных отверстий.

Минусы

- ✓ Платы требуют осторожного обращения.
- ✓ Печатные платы должны храниться в вакуумной упаковке в шкафах сухого хранения.
- ✓ Не пригодно для производства клавиатур/сенсорных панелей.

Иммерсионное серебро (Immersion Ag – **ImAg**)

Толщина, мкм: от 0,05 до 0,2.

Процесс нанесения иммерсионного серебра похож на ENIG, однако заметно проще него и может выполняться как в вертикальном, так и в горизонтальном варианте исполнения. Процесс, как правило, состоит из двойной предварительной очистки, предварительного погружения и серебряной ванны. Для предотвращения миграции серебра по печатной плате, серебро наносится совместно с органическим соединением, которое не только предотвращает миграцию серебра, но и предохраняет его от окисления, являясь консервирующим антиокислительным покрытием.

В процессе пайки слой серебра полностью растворяется в паяном соединении, образуя однородный сплав Sn/Pb/Ag непосредственно на медной поверхности, что дает хорошую надежность соединения, в том числе для больших корпусов BGA-компонентов. Весь процесс продолжается ~ 35 мин.

Живучесть покрытия ImAg превосходит OSP, но меньше, чем у ENIG. В противоположность OSP, контрастирующие цвета серебра и меди облегчают нахождение дефектов покрытия. В процессе хранения платы, осуществления ее сборки и пайки данное покрытие зачастую желтеет, что является результатом загрязнения воздушной среды сульфатами и хлоридами либо неправильного обращения с платой после нанесения покрытия, вызвавшего разрушение защитного органического покрытия – перегрев, избыточное световое воздействие, жировые отпечатки пальцев. Пожелтение не влияет на свойства покрытия ImAg, сказываясь лишь на его декоративности.

Плюсы

- ✓ Хорошая плоскостность, подходит для установки компонентов с малым шагом выводов.
- ✓ Не содержит никель.
- ✓ Не влияет на размер металлизированных отверстий.
- ✓ Длительный срок хранения (при наличии барьерного подслоя – около года).
- ✓ Достаточно простой процесс нанесения.
- ✓ Относительная дешевизна покрытия.

Минусы

- ✓ Высокий коэффициент трения, что не является оптимальным для монтажа элементов методом запрессовки
- ✓ Возможное потускнение покрытия со временем

Органическое защитное покрытие (Organic solderability preservative – OSP)

Толщина покрытия обычно составляет 0,2 – 0,6 мкм.

ОЗП состоит из органического слоя (на основе бензотриазола или имидазола), лежащего непосредственно на готовой к пайке медной поверхности и защищающего ее от окисления. Процесс нанесения такого покрытия прост и легко химически контролируем, включает в себя две последовательно выполняемых операции очистки (отмылку и микро травление), а также операцию предварительного и основного нанесения покрытия с добавлением специальной добавки для предотвращения потускнения; достаточно гибок и может выполняться в горизонтальном и вертикальном варианте; при этом не повреждаются золотые немаскированные области, если они присутствуют на печатной плате. Перед нанесением OSP-покрытия отверждение паяльной маски должно быть полностью завершено. Покрытие довольно дешево, требует значительно меньших начальных инвестиций для своей реализации, чем HASL, и является более безопасным для окружающей среды. Толщина покрытия обычно составляет 0,2 – 0,6 мкм.

Плоскостность поверхности, обеспечиваемая данным покрытием, крайне высока. Оно также прекрасно подходит для КП, расположенных с малым шагом.

Платы, изготовленные с применением покрытия OSP, могут не подходить для применения в высокочастотных изделиях. Большинство плат для ВЧ-применений требуют припаивания металлического экрана, который механически контактирует с заземляющей шиной и обеспечивает тем самым необходимое экранирование. В случае органического покрытия достаточное экранирование может быть не обеспечено, так как не будет непосредственного контакта металлического экрана с металлом проводника, покрытым OSP.

Плюсы

- ✓ Плоская поверхность контактных площадок
- ✓ Совместимость с бессвинцовыми техпроцессами
- ✓ Хорошая прочность паяных соединений (по некоторым данным лучше, чем для плат с покрытием HASL и иммерсионным золотом)
- ✓ Быстрый и относительно дешевый процесс
- ✓ Отсутствие влияния на размер отверстий
- ✓ Широкое окно процесса, хорошая контролируемость параметров

Минусы

- ✓ Дegrадация при высокой температуре, ограниченное количество циклов пайки
- ✓ Чувствительность к неправильному обращению, в частности, деградация покрытия под действием отпечатков пальцев
- ✓ Чувствительность к выбору флюсов
- ✓ Чувствительность к растворителям, которые применяются для удаления неправильно нанесенной паяльной пасты (спиртовые растворы удаляют до 75% покрытия, растворы на водной основе – около 15%)
- ✓ При проведении электрического теста платы, тестовые пробники прокалывают покрытие, что может привести к появлению участков открытой меди



Гальваническое золочение ножевых

разъёмов (Gold Fingers) Толщина, мкм: 5 -6 Ni; 1,5 – 3 Au

Гальваническое золочение контактов разъема по подслою никеля. Наносится электрохимическим осаждением (гальваника) и может совместно использоваться с другими покрытиями. Используется в основном для нанесения на концевые контакты и ламели, так же пригодно для производства клавиатур/сенсорных панелей.

Плюсы

- ✓ Имеет высокую механическую прочность, стойкость к истиранию и неблагоприятному воздействию окружающей среды.
- ✓ Незаменимо там, где важно обеспечить надежный и долговечный электрический контакт.
- ✓ Возможно увеличить толщину в несколько раз.

Минусы

- ✓ Высокая стоимость
- ✓ Для покрытия обязателен гальванический контакт

✓ Ограничения по размеру печатных плат

Таблица 1. Распространенность финишных покрытий на мировом рынке печатных плат

Финишное покрытие	Год				
	2000	2003	2005	2008	2011
HASL-процесс	65%	62%	54%	45%	25%
ИК-оплавление	3%	2%	2%	1%	1%
Органическое покрытие (бытовые изделия)	10%	11%	12%	12%	12%
Иммерсионное золото по никелю	14%	16%	19%	26%	30%
Иммерсионное серебро с барьерным подслоем	1%	3%	8%	11%	28%
Другие покрытия	7%	6%	5%	5%	4%
Всего	100%	100%	100%	100%	100%

Как следует из таблицы, доля применения HASL-процессов уменьшается, а использование иммерсионных покрытий растет, что естественно связано с введением директив RoHS и применением в современных электронных устройствах элементов с малым шагом контактных площадок.

Таблица 2. Влияние параметров конструкции ППТ на покрытия

Параметры конструкции ППТ	Покрyтия				
	HASL	OSP	ENIG	ImAg	ImSn
Компенсация диаметров отверстий	Требуется, на 0,050 – 0,076 мм	Стандартно	Стандартно	Стандартно	Стандартно
Минимальный размер сквозного отверстия	Максимальное отношение длины к диаметру отверстия 6:1	Нет ограничений	Нет ограничений	Нет ограничений	Нет ограничений
Отверждение маски на металлизированных отверстиях	УФ/Термическое	УФ	УФ/Термическое	УФ	УФ
Использование в качестве контактного покрытия	Плохо	Не рекомендуется	Хорошо для контактов, подвергающихся небольшому износу	Хорошо для контактов в. подвергаться небольшому износу	Хорошо для контактов, подвергающихся небольшому износу

				шому износу	
Установка электромагнитного экрана	Нормально	Не рекомендуется	Нормально	Нормально	Нормально
Участки открытой меди	Отсутствуют	Участки, где после сборки нет паяных соединений	Отсутствуют	Отсутствуют	Отсутствуют

Таблица 3. Оценка покрытий и процесса изготовления печатной платы

Процесс изготовления печатной платы	Покрyтия				
	HASL	OSP	ENIG	ImAg	ImSn
Техпроцесс по характеру выполнения	Конвейерный или вертикальный	Конвейерный	Только вертикальный	Конвейерный или вертикальный	Конвейерный или вертикальный

Продолжение

Температура процесса, °C	250	40	85	50	60
Степень опасности для человека и окружающей среды	Высокая (свинец, температура)	Низкая	Средняя	Низкая	Высокая (присутствие тиомочевины)
Время выдержки между циклами оплавления	Не имеет значения	24 часа	Не имеет значения	Не имеет значения	24 часа
Проблемы качества	Перемены между выводами ЭК с малым шагом недостаточная плоскостность	Неправильное обращение с платами	Пропуски покрытия/ Лишнее покрытие	Неправильное обращение с платами	Негативное воздействие паяльной маски/Неправильное обращение с платами

	для µBGA				
Ремонто-пригодность законченной сборки	Зависит от конструкции (после разделения групповой панели)	Хорошая	Ограничена нанесением покрытий Ni и Au с помощью гальванического натирания	Ограниченная	Средняя
Частота технического обслуживания оборудования	Часто	Редко	Обычный вертикальный процесс	Редко	Редко
Измерение толщины покрытия	Рентгеновский флуоресцентный контроль изделия	С помощью УФ-спектрофотометра по тестовому образцу	Рентгеновский флуоресцентный контроль изделия	Рентгеновский флуоресцентный контроль изделия	Рентгеновский флуоресцентный контроль изделия

Продолжение

Технологичность	Высокая	Очень высокая	Очень низкая	Очень высокая	Низкая
Производственные затраты по нанесению финишного покрытия	1X	0,3X	2X	1X	1X

Таблица 4. Сборка и покрытия

Сборка	Покрyтия				
	HASL	OSP	ENIG	ImAg	ImSn
Паяемость	Отличная	Хорошая	Отличная	Отличная	Отличная
Расстояние между элементами проводящего рисунка	Ограничено шагом КП для QFP-компонентов, равным 0,5 мм	Нет ограничений	Для медных элементов: min. 0,1 мм без перемычек	Нет ограничений	Нет ограничений

			паяльн ой маски		
Установка BGA- компонентов	Копланар- ность/ Интерме- таллиды Sn-Cu	Интерме- таллиды Sn-Cu	Интерме- таллиды Sn-Ni	Интерме- таллиды Sn- Cu	Интерме- таллиды Sn-Cu
Неправиль- ное нанесение отпечатков пасты	Нормаль- ная очистка с помощью протирки	Снижает время промежу- точного хранения между операция- ми оплавления	Нормаль- ная очистка с помощью протир- ки	Согласно рекомендация м поставщика (ограничения на использование очищающих реагентов)	Нормаль- ная очистка с помощью протирки
Совмести- мость с бессвинцо- выми техпроцес- сами	Нет	Да	Да	Да	Ограниче- но числом циклов оплавления
Пригодность для выполнения соединений методом запрессовки	Да	Да	Да	Да	Да

Продолжение табл. 4

Пригодность для выполнения соединений трением/уста- новка краевых разъемов	Не рекоменду- ется	Нет	Не рекоменду- ется	Не рекомен- дуется	Нет
Пригодность для производства клавиатур/ сенсорных панелей	Не рекомен- дуется	Нет	Не рекоменду- ется	Да	Нет
Прочность паяного	Хорошая	Отличная	Хорошая (проблемы)	Отличная	Хорошая

соединения			могут возникать с большими BGA-корпусами) Дефекты «черная контактная площадка» и охрупчивание паяных соединений		
Долговечность покрытия	Хорошая	В зависимости от условий обращения	Очень хорошая	В зависимости от условий обращения и хранения	Хорошая

Таблица 5. Сводная таблица финишных покрытий печатных плат

	HASL	ENIG	ImSn	ImAg	OSP
Срок хранения	12 месяцев	6 месяцев		9 месяцев	12 месяцев
Паяемость	Отличная	Хорошая		Отличная	Хорошая
Стойкость к многократным перепайкам	Да				Да*
Термопрофиль при пайке оплавлением	Не критично**				номин. 230°C, макс. 250°C

Продолжение табл. 5

Совместимость с процессом разварки золотом	Нет	Да***	Нет		
Совместимость с процессом 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	>= 0,5 мм	< 0,5 мм			

контактных площадок					
Температура процесса	250°C	< 90°C	< 80°C	< 55°C	< 45°C
Игиб и скручивание	Проблемы	Нет			
Стабильность размеров	Проблемы	Нет			
Копланарность контактных 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 технологиями	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 волной) не должно превышать 5 дней.

** требуется специальный процесс при котором толщина золота достигнет минимум 0,3 мм

*** если температура пайки оплавлением менее 240°C, требуется сушка платы перед пайкой (предотвращает деламинацию, связанную с влагой, содержащейся в стеклотекстолите).

Заключение

Покрытие горячим лужением было наиболее широко применяемым финишным покрытием. В некоторых странах использование лужения свинцовосодержащими припоями уже запрещено, и вместо него используются альтернативные варианты. По мере всё большего внедрения бессвинцовых технологий повышается вероятность внедрения альтернативных финишных покрытий. 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 и требует существенных изменений в техпроцессе: в отношении применяемого типа флюса и числа циклов нагрева.

Наиболее близкие и вероятные заменители горячему лужению – иммерсионное серебро и олово – обладают массой преимуществ, и почти лишены недостатков, к тому же, решаемых или уже решённых. Иммерсионное серебро позволяет мгновенно переключиться с покрытия горячим лужением (HASL) и не требует менять параметры пайки. (В процессе пайки серебряный слой растворяется в паяном соединении, образуя сплав олово-свинец-серебро на меди, что обеспечивает очень надежные паяные соединения компонентов BGA). По стоимости эти покрытия находятся на уровне, близком к горячему лужению. К тому же оказывают гораздо меньший вред окружающей среде.

Хотя в последнее время наметилась тенденция применения производителями покрытия ENIG. Оно всем хорошо, но очень дорого стоит. В основном это покрытие становится популярным при изготовлении прототипных образцов и мелкосерийных партий сложных печатных плат от 5 класса точности и в спецтехнике.

АППРОКСИМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ДАТЧИКА ЛИНЕЙНОГО ПОЛОЖЕНИЯ

Б.Б. Искольный, А.М. Масленников, В.Г. Мадриченко

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Для обеспечения эффективной работы агрегатов ракетно-космической техники требуются сигнализаторы перемещений органов механизации и элементов с основной погрешностью 0,005...0,05%, способные функциони-