

УДК 621.396.6+621.382.049.772

ФИНИШНЫЕ ПОКРЫТИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ ПРОИЗВОДСТВА СОВРЕМЕННОЙ АППАРАТУРЫ

© 2012 Ю. П. Ерендеев

ФГУП НИИ «Экран», г. Самара

Рассмотрены наиболее широко применяемые в современной электронной промышленности типы покрытий. Приведена сравнительная оценка финишных защитных покрытий печатных плат электронных узлов. Оценено влияние параметров конструкции печатной платы на характеристики покрытий.

Печатная плата, финишное покрытие, выбор, состав покрытия, параметры плат.

В современных электронных изделиях находят применение разнообразные защитные покрытия, различающиеся своими свойствами [1, 2], среди них особое место занимают финишные покрытия.

Финишные покрытия наносятся в процессе производства печатных плат (ПП) на контактные площадки (КП) и другие открытые элементы печатного рисунка. Основное назначение покрытий – защита медной поверхности контактных площадок и обеспечение качественной пайки электронных компонентов (ЭК) 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 стойкости, смачиваемости, долговременности и т.д.

Выбор конкретного покрытия опре-

деляется 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, монтируемые на поверхность ПП, большую роль играет возможность обеспечения плоскостности покрытия. Когда покрытые элементы рисунка подвергаются механическим воздействиям, например, в краевых (печатных) разъемах, 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.

В данной работе обобщен опыт использования защитных покрытий печатных плат электронных узлов.

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 (electrolessnickel /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)

Процесс горячего облуживания платы, методом погружения на ограниченное время в ванну с расплавленным припоем при быстрой выемке и обдувке струей горячего воздуха, убирающей излишки припоя и выравнивающей покрытие, обеспечивает толщину 15...25 мкм (рис. 1).

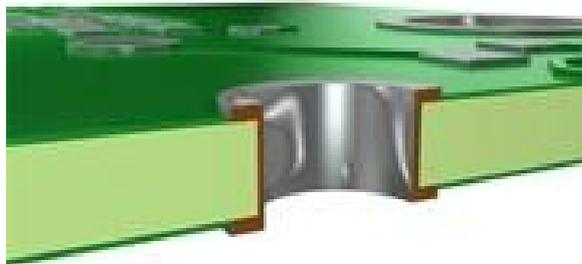


Рис. 1. Горячее лужение

HASL имеет следующие достоин-

ства:

- 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.

Недостатки HASL покрытий:

- значительная неплоскостность контактных площадок;
- содержание свинца, вредного для окружающей среды и обслуживающего персонала;
- затруднено применение для плат с большим соотношением толщины 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)

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. Обеспечивает толщину слоя Ni в пределах 3...5, а Au – 0,06...0,1 мкм (рис. 2.).



Рис. 2. Иммерсионное золочение

Имеет следующие достоинства:

- плоская поверхность, равномерная толщина покрытия;
- подходит для установки компонентов с малым шагом;
- не влияет на размер металлизированных отверстий;
- выдерживает многократное термодублирование;
- подходит для нажимных и скользящих контактов.

Недостатки ENIG покрытий:

- 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**)

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, которая 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. Обеспечивает толщину слоя 0,8...1,2 мкм (рис. 3).

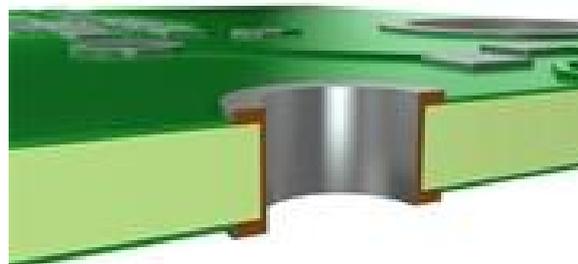


Рис. 3. Иммерсионное олово

Имеет следующие достоинства:

- 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.

Недостатки ImSn покрытий:

- платы требуют осторожного обращения;
- печатные платы должны храниться в вакуумной упаковке в шкафах сухого хранения;
- непригодно для производства клавиатур/сенсорных панелей.

Иммерсионное серебро (ImmersionAg – **ImAg**)

Используют слои толщиной от 0,05 до 0,2 мкм.

Процесс нанесения иммерсионного серебра похож на ENIG, однако заметно проще 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, жирные отпечатки пальцев. Пожелтение не влияет на свойства покрытия ImAg, сказываясь лишь на его декоративности.

Такое покрытие имеет следующие достоинства:

- 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.

Недостатки ImAg покрытий:

- высокий коэффициент трения, что не является оптимальным для монтажа элементов методом запрессовки;
- возможное потускнение покрытия со временем.

Органическое защитное покрытие (Organicsolderability preservative – **OSP**)

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

OSP состоят 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 (отмывку и микротравление), а также операцию предварительного и основного нанесения покрытия с добавлением специальной добавки для предотвращения потускнения; достаточно гибко 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 затрат для своей реализации, чем HASL, и является более безопасным для окружающей среды.

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.

OSP покрытия обладают следующими достоинствами:

- плоская поверхность контактных площадок;
- совместимость с бессвинцовыми тех-процессами;
- 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.

В качестве недостатков можно отметить следующее:

- деградация 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 (GoldFingers)

Толщина слоёв, мкм: 5...6 Ni; 1,5...3 Au (рис. 4).



Рис. 4. Гальваническое золочение

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

Имеют следующие преимущества:

- высокую механическую прочность, стойкость к истиранию и неблагоприятному воздействию окружающей среды;
- незаменимо там, где важно обеспечить надежный и долговечный электрический контакт;
- возможность увеличить толщину в несколько раз.

Главные недостатки таких покрытий:

- высокая стоимость;
- для покрытия обязателен гальванический контакт;
- ограничения по размеру печатных плат.

В табл. 1 показана распространённость покрытий.

Как следует из табл. 1, доля применения HASL-процессов уменьшается, а использование иммерсионных покрытий растёт, что естественно связано с введением директив RoHS и применением в современных электронных

устройствах элементов с малым шагом контактных площадок.

В табл. 2 приведено влияние параметров конструкции ПП на покрытия. В табл. 3 приведена оценка покрытий и

процесса изготовления печатной платы. В табл. 4 приведена сравнительная оценка показателей сборки для различных покрытий. В таблице 5 приведены общие показатели покрытий.

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 олово с барьерным подслоем	1%	3%	8%	11%	28%
Другие покрытия	7%	6%	5%	5%	4%
Всего	100%	100%	100%	100%	100%

Таблица 2. Влияние параметров конструкции ПП на покрытия

Параметры конструкции ПП	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, подвергающихся небольшому износу	Хорошо для контактов, подвергающихся небольшому износу
Установка электромагнитного экрана	Нормально	Не рекомендуется	Нормально	Нормально	Нормально

Таблица 2. Окончание

Параметры конструкции ПП	Покрытия				
	HASL	OSP	ENIG	ImAg	ImSn
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	Покрытия				
	HASL	OSP	ENIG	ImAg	ImSn
Техпроцесс по характеру выполнения	Конвейерный или вертикальный	Конвейерный	Только вертикальный	Конвейерный или вертикальный	Конвейерный или вертикальный
Температура процесса, °С	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	Перемычки между выводами ЭК с малым шагом недостаточная плоскостность для μ BGA	Неправильное обращение с платами	Пропуски покрытия/ Лишнее покрытие	Неправильное обращение с платами	Негативное воздействие паяльной маски/Неправильное обращение с платами
Ремонтопригодность законченной сборки	Зависит от конструкции (после разделения групповой панели)	Хорошая	Ограничена нанесением покрытий Ni и Au с помощью гальванического натирания	Ограниченная	Средняя

Таблица 3. Окончание

Процесс изготовления печатной платы	Покрытия				
	HASL	OSP	ENIG	ImAg	ImSn
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
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	Покрытия				
	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 паяльной маски	Нет ограничений	Нет ограничений
Установка BGA-компонентов	Копланарность/Интерметаллиды Sn-Cu	Интерметаллиды Sn-Cu	Интерметаллиды Sn-Ni	Интерметаллиды Sn-Cu	Интерметаллиды Sn-Cu
Неправильное нанесение отпечатков пасты	Нормальная очистка с помощью протирки	Снижает время промежуточного хранения между операциями оплавления	Нормальная очистка с помощью протирки	Согласно рекомендациям поставщика (ограничения на использование очищающих реагентов)	Нормальная очистка с помощью протирки

Таблица 4. Окончание

Сборка	Покрытия				
	HASL	OSP	ENIG	ImAg	ImSn
Пригодность для выполнения соединений методом запрессовки	Да	Да	Да	Да	Да
Пригодность для выполнения соединений трением/установка краевых разъемов	Не рекомендуется	Нет	Не рекомендуется	Не рекомендуется	Нет
Пригодность для производства клавиатур/сенсорных панелей	Не рекомендуется	Нет	Не рекомендуется	Да	Нет
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 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

Таблица 5. Продолжение

	HASL	ENIG	ImSn	ImAg	OSP
Стойкость к многократным перепайкам	Да				Да*
Термопрофиль при пайке оплавлением	Не критично**				номин. 230°C, макс. 250°C
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 контактных площадок	>= 0,5 мм	< 0,5 мм			
Температура процесса	250°C	< 90°C	< 80°C	< 55°C	< 45°C
Изгиб 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	

Таблица 5. Окончание

	HASL	ENIG	ImSn	ImAg	OSP
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 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 деламацию, 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, и оказывают гораздо меньший вред окружающей среде.

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.

Библиографический список

1. Андреев, П.Г. Защита радиоэлектронных средств от внешних воздействий: учеб.пособие [Текст] / П.Г. Андреев, И.Ю. Наумова. – Пенза: Изд-во ПГУ. – 2012. – 130 с.
2. Тюлевин, Е.В. Защитные покрытия электронных узлов космических РЭС [Текст] / С. В. Тюлевин, А.В. Наседкин, А.И. Архипов, М.Н. Пиганов // Радиолокация и радиосвязь: докл. V Всероссийской НТК, 21–25.11.2011. – М.: ИРЭ РАН. – 2011. – С. 125-128.

THIN COATING FOR PRINTED CIRCUIT BOARDS IN INDUSTRIAL PRODUCTION TECHNOLOGY OF MODERN EQUIPMENT

© 2012 J. P. Erendeev

Federal State Unitary Enterprise Research Institute "Ekran"

Considered the most widely used in modern electronic industry types of coatings. Comparative evaluation of finishing coatings of printed circuit board electronic components. Assessing the impact of design parameters on the performance of PCB coatings.

The printed circuit board, surface finish, choice, composition of the coating parameters boards.

Информация об авторе

Ерендеев Юрий Петрович, главный технолог, ФГУП «НИИ «Экран». E-mail: eyr51@mail.ru. Область научных интересов: технология поверхностного монтажа, электронные узлы, защитные покрытия, паянные соединения.

Erendeev Yuri Petrovich, chief technologist, Federal State Unitary Enterprise "Research Institute "Ekran". E-mail: eyr51@mail.ru. Area of scientific: surface mount technology, electronic components, protective coatings, solder joints.