

Защитные покрытия печатных плат: критерии выбора для вашего проекта

При выборе защитного покрытия необходимо учитывать ряд важных факторов: условия эксплуатации, типы компонентов, срок хранения, объем производства, соответствие нормативным требованиям и, конечно же, стоимость.

Перевод: Сергей Шихов

sergey@aconf.ru

Разработчики печатных плат (ПП) зачастую сосредоточены на трассировке и пооре комплектации, при этом важнейшая деталь, защитное покрытие печатной платы, часто остается без внимания. А ведь этот тонкий слой оказывает существенное влияние на производительность, долговечность и надежность платы. Существует множество видов защитных покрытий, каждое из которых предназначено для определенных условий эксплуатации, бюджетов и требований совместимости. В статье рассматриваются различные типы покрытий и критерии выбора подходящего варианта. Но прежде всего необходимо понимать, что такое защитное покрытие и какова его функция.

Защитное покрытие представляет собой тонкий слой, наносимый на медные поверхности печатной платы. Без него воздействие окружающей среды привело бы к окислению и коррозии меди и, как следствие, полному отказу платы. Защитное покрытие выполняет несколько ключевых функций:

- защищает медь от окисления и коррозии, обеспечивая долгий срок службы платы;
- подготавливает поверхность к дальнейшей пайке компонентов;
- сохраняет хорошую электропроводность для соединений с компонентами;
- улучшает внешний вид печатной платы.

Выбор правильного покрытия влияет на все перечисленные характеристики, поэтому на этапе производства важно принять верное решение.

Наиболее распространенные виды защитных покрытий

Горячее лужение с выравниванием воздухом (HASL)

Процесс HASL, как правило, включает погружение печатной платы в ванну с расплавленным припоем для покрытия всех открытых медных поверхностей. Излишки припоя удаляют, протягивая плату между струями горячего воздуха («воздушными ножами»).

Преимущества:

- отличная паяемость. Покрытие припоем улучшает способность компонентов к пайке на плате;
- большой срок хранения по сравнению с такими покрытиями, как OSP;
- относительно невысокая стоимость и широкая доступность;
- обеспечивает сплошной слой припоя, способствуя созданию надежных паяных соединений.

Недостатки:

- неровность поверхности покрытия HASL может быть проблемой для пайки компонентов поверхностного монтажа (SMT) с мелким шагом выводов, что делает его непригодным для применения в ряде случаев;
- традиционный HASL использует свинцово-оловянный сплав, который может не соответствовать некоторым экологическим нормам. Однако существуют и бессвинцовые варианты HASL;
- термическая нагрузка. Нагрев, используемый в процессе HASL, может создавать избыточную нагрузку на материал основы печатной платы;
- не подходит для высокочастотных применений (*Спорное утверждение. Само по себе покрытие HASL никак не ограничивает ВЧ-применение. — Прим. переводчика.*);
- не подходит для компонентов, устанавливаемых в металлизированные сквозные отверстия (PTH) (*Также спорное утверждение. Данное покрытие может использоваться с компонентами, устанавливаемыми в металлизированные сквозные отверстия. — Прим. переводчика.*).

Химическое никель-золото (ENIG)

Покрытие ENIG состоит из слоя химического никеля, на которое тонким слоем наносят иммерсионное золото, защищающее никель от окисления. Данная комбинация обеспечивает стойкость к коррозии, хорошую паяемость и хорошие электрические свойства. ENIG широко используется для защиты медных контактных площадок и металлизированных сквозных отверстий от окисления, а также для облегчения процесса пайки.

Преимущества:

- отличная плоскостность поверхности, что делает покрытие оптимальным для компонентов с мелким шагом выводов;
 - никелевый слой служит надежным барьером, предотвращающим окисление меди, в то время как тонкий слой золота защищает от окисления никель;
 - подходит для высокочастотных применений (*Дискуссионный вопрос. Встречается мнение, что подслой никеля вносит существенный вклад в затухание сигналов. При желании можно промоделировать поведение ВЧ-линий для конкретных задач. — Прим. переводчика*).
 - оптимально для разварки, поскольку обеспечивает отлично проводящую поверхность, к которой легко привариваться (*Практика показывает, что к ENEPiG привариться легче. Разварка по иммерсионному золоту требует более тщательного поора параметров. — Прим. переводчика*);
 - подходит для многократных циклов оплавления, что делает его хорошим выбором для применений, требующих многократной сборки;
 - длительный срок хранения (более года в контролируемых условиях).
- Недостатки:
- более высокая стоимость по сравнению с другими покрытиями, такими как HASL или OSP. Процесс ENIG включает осаждение как никелевого, так и золотого слоев, что увеличивает стоимость;
 - риск возникновения «черной подушки» (black pad) — дефекта, который способен проявиться в процессе химического осаждения никеля и характеризуется хрупким, неоднородным никелевым слоем, что может привести к низкой надежности паяных соединений и потенциальному отказу ПП;
 - чувствительность к тепловому удару, который может вызвать растрескивание и отслоение никелевого слоя, приводя в итоге к плохой адгезии и другим проблемам;
 - платы с таким покрытием мало пригодны для ремонта и, как следствие, сложны для восстановления;
 - плохо подходит для устройств с высоким током (*Спорное утверждение. Токовую нагрузку должна нести проводящая дорожка, а не покрытие. Впрочем, встречаются варианты с нанесением толстого слоя припоя методом HASL для улучшения «токонесущей способности».* — *Прим. переводчика*).

Иммерсионное олово (ImSn)

Иммерсионное олово — это металлическое покрытие, осаждаемое путем реакции химического замещения непосредственно на основной металл платы, медь. ImSn защищает лежащую ниже медную поверхность от окисления в течение установленного срока хранения. Оно более доступно по стоимости, чем ENIG и иммерсионное серебро, и соответствует директиве RoHS. Типичная толщина иммерсионного олова составляет менее 1 мкм. Из-за взаимодействия между оловом и медью со временем происходит их взаимная диффузия.

Преимущества:

- хорошая паяемость; покрытие из олова хорошо смачивается и паяется, как и голая медь, в отличие ENIG;
 - ровная поверхность, подходящая для компонентов с мелким шагом выводов;
 - более доступно по стоимости, чем химическое никель-золото.
- Недостатки:
- существует риск роста оловянных усов;
 - возможность растворения меди в процессе нанесения покрытия;
 - неидеально для многократных циклов оплавления и циклических сборочных процессов;
 - срок хранения меньше по сравнению с ENIG из-за риска роста оловянных усов.

Иммерсионное серебро (ImAg)

Иммерсионное серебро наносится непосредственно на основной металл печатной платы (медь) методом химического замещения. Оно более доступно по стоимости, чем ENIG, и соответствует директиве RoHS. Типичная толщина ImAg составляет 0,1–0,4 мкм. Из-за характера взаимодействия меди и серебра между ними со временем происходит взаимная диффузия.

Преимущества:

- отличная паяемость;
 - подходит для высокочастотных применений;
 - менее дорогое, чем иммерсионное золото;
 - ровная поверхность, подходящая для компонентов с мелким шагом выводов.
- Недостатки:
- склонно к окислению и потускнению;
 - требует осторожного обращения и специальных условий хранения;
 - более высокая стоимость по сравнению с HASL;
 - кратковременный срок хранения — 6–12 месяцев в условиях сухого склада. По истечении этого периода могут возникнуть проблемы с паяемостью;
 - при отсутствии защиты от воздействия окружающей среды серебро вступает в реакцию с соединениями серы, содержащимися в воздухе, с образованием черного налета сульфида серебра (Ag₂S). Эта реакция приводит к потускнению серебра. Данный процесс является коррозией, и в случае серебра он называется «потускнением».

Органическое защитное покрытие (OSP)

OSP представляет собой органическое бесцинковое соединение на водной основе, обеспечивающее ровную поверхность. Как следует из названия, это органическое покрытие наносится на медные проводники ПП для защиты от окисления и сохранения паяемости. OSP содержит органическую кислоту, которая вступает в реакцию с медной поверхностью, образуя защитный слой толщиной всего в несколько атомов. Этот слой блокирует доступ воздуха к меди и предотвращает окисление.

Преимущества:

- обеспечивает малые допуски и более высокую точность по сравнению с HASL. Применяется для сборки ПП с компонентами сверхмалого шага и для BGA;

- хорошая паяемость при оплавлении. OSP полностью удаляется в процессе пайки, и компоненты поверхностного монтажа паяются непосредственно на медные площадки;
 - наименее дорогое защитное покрытие, легко наносится при комнатной температуре;
 - экологически безопасное: не содержит свинца и токсичных веществ;
 - подходит для высокочастотных применений.
- Недостатки:
- ограниченный срок хранения (3–6 месяцев);
 - не подходит для применений, требующих многократных циклов оплавления;
 - не может использоваться для металлизированных сквозных отверстий (PTH) (*Для отверстий под монтаж компонентов данное покрытие вполне применимо. Но отверстия, в которых не будет произведена пайка, после монтажа останутся с незащищенной медью.* — *Прим. переводчика*).
 - менее устойчиво, чем металлические покрытия.

Твердое золото (гальваническое)

Покрытие твердым золотом, также известное как гальваническое золото, представляет собой электрохимически осажденный слой золота, который является более толстым и износостойким по сравнению с такими покрытиями, как ENIG. Его сплавляют с никелем или кобальтом для повышения твердости и стойкости к истиранию, что делает его оптимальным для контактных площадок, подверженных интенсивному механическому воздействию и требующих долговечного электрического контакта.

Покрытия твердым золотом чрезвычайно износостойки и обладают длительным сроком хранения. Как правило, их используют для компонентов, рассчитанных на интенсивную эксплуатацию. Из-за низкой паяемости это покрытие редко применяют для паяемых соединений. Типичные области применения: торцевые коннекторы (краевые разъемы, англ. edge-connectors), контакты аккумуляторов, тестовые платы и контакты клавиатур — везде, где требуются надежные, стойкие к износу соединения для передачи данных и обеспечения уверенного электрического контакта в цепи.

Преимущества:

- чрезвычайно высокая износостойкость;
 - оптимально для применений, требующих многократного подключения/отключения (например, краевые разъемы);
 - очень высокая стойкость к коррозии;
 - соответствует директиве RoHS;
 - отличная электропроводность, обеспечивающая надежное электрическое соединение.
- Недостатки:
- наиболее дорогой вариант;
 - избыточен для многих стандартных ситуаций;
 - может вызывать проблемы с паяемостью при неправильном нанесении;
 - плохо поддается пайке, что делает его мало пригодным для применений, где она требуется;
 - не рекомендуется для использования в металлизированных сквозных отверстиях (PTH).

ENEPIG

ENEPIG (химическое никель-палладий-золото) — это трехслойное покрытие на медных контактных площадках, состоящее из никелевой основы, слоя палладия и верхнего слоя золота. Все слои наносятся методом химического осаждения. Оно похоже на ENIG (химическое никель-золото), но с добавлением палладиевого слоя. Комбинация золота и палладия является более экономичной, чем чистое золото, и более долговечной по сравнению с другими покрытиями.

Преимущества:

- слой палладия улучшает возможности монтажа методом микросварки по сравнению с ENIG, особенно для золотого и алюминиевого провода;
- возможность многократной пайки оплавлением;
- отличная паяемость;
- комбинация никеля, палладия и золота обеспечивает высокую стойкость к коррозии, защищая лежащую в основе медь от воздействия таких факторов окружающей среды, как влажность и химические вещества (что критично для печатных плат, используемых в жестких условиях эксплуатации);
- длительный срок хранения благодаря коррозионной стойкости, обеспечиваемой слоями палладия и золота;

бессвинцовое покрытие, соответствующее директиве RoHS.

Недостатки:

- как правило, дороже, чем другие защитные покрытия, такие как HASL и OSP;
- процесс нанесения ENEPIG включает несколько стадий и требует точного контроля толщины и равномерности осаждения. Это может привести к более высоким производственным затратам и увеличенным срокам изготовления по сравнению с более простыми покрытиями.

EPIG/EPAG

EPIG (химический палладий/иммерсионное золото) и EPAG (химический палладий/автокаталитическое золото) — это безникелевые защитные покрытия печатных плат, разработанные для предотвращения потерь сигнала, вызванных слоем никеля, что делает их оптимальными для высокочастотных и высокоскоростных применений. В обоих видах защиты предусмотрен базовый слой палладия, покрытый золотом, но они различаются методами осаждения золота: EPIG использует иммерсионное золото, что обеспечивает более тонкий слой, тогда как EPAG применяет автокаталитическое золото, позволяющее наносить более толстое золотое покрытие. Эта особенность EPAG дает возможность использовать покрытие в сложных случаях, таких как монтаж методом микросварки (wire bonding) и пайки, что делает его более универсальным.

Преимущества EPIG:

- отсутствие никеля, что полезно для высокочастотных применений;
- подходит для проектов с мелким шагом и высокоплотного монтажа (HDI), так как исключает никелевый слой;
- пригодно для пайки и монтажа методом микросварки (wire bonding);

- высокая надежность и равномерная толщина.

Недостатки EPIG:

- слой иммерсионного золота может быть тоньше по сравнению с автокаталитическим золотом.

Преимущества EPAG:

- обеспечивает более толстый слой золота по сравнению с EPIG, что важно для устройств, требующих более надежных соединений;

- подходит для монтажа методом микросварки (wire bonding) и пайки.

Недостатки EPAG:

- процесс осаждения автокаталитического золота может быть более сложным и требует тщательного контроля.

Ключевые различия между EPIG и EPAG:

- толщина золота: EPAG обычно имеет более толстый слой золота;
- сложность процесса: EPIG, как правило, проще в реализации;
- EPAG часто предпочтительнее для применений, требующих более толстых слоев золота и более надежных соединений, в то время как EPIG подходит для проектов с мелким шагом и высокочастотных применений (рисунок).

Шесть фактов, которые необходимо принимать во внимание при выборе защитного покрытия

- 1. Требования применения.** Основным фактором, определяющим выбор защитного покрытия, должно быть целевое применение печатной платы.

- Для высокочастотных применений обычно лучше подходят покрытия типа ENIG или ImAg.

- Для плат, которые будут подвергаться многократным циклам оплавления, предпочтительны ENIG или HASL.

- Для краевых разъемов и других областей, подверженных износу, требуется покрытие твердым золотом.

- EPIG без никелевого слоя улучшает характеристики сигнала в высокочастотных и высокоскоростных платах.

- EPAG и ENEPIG, как правило, превосходят другие покрытия для монтажа методом микросварки благодаря толщине и равномерности покрытия.

- 2. Технология монтажа компонентов.** Тип используемых компонентов влияет на выбор покрытия.

- Для компонентов с мелким шагом требуется ровная поверхность, что делает ENIG, ImSn или OSP оптимальными вариантами.

- Для соединителей, монтируемых запрессовкой, обычно предпочтительны гладкие и износостойкие покрытия, такие как золото или иммерсионное олово.

- Любое защитное покрытие, как правило, совместимо с компонентами, монтируемыми в отверстия.

- Компоненты с контактами на нижней стороне (BTC), такие как BGA и QFN, оптимально сочетаются с ENIG.

- 3. Условия эксплуатации.** Необходимо учитывать среду, в которой будет работать ПП.

- Для условий повышенной влажности рекомендуются стойкие к коррозии покрытия, такие как ENIG.

- Для применений, связанных с экстремальными температурами, наиболее хорошо себя зарекомендовали твердое золото и ENIG благодаря своим долговечности и проводимости.

- При вероятном воздействии химикатов или растворителей следует использовать покрытия с высокой коррозионной стойкостью, такие как ENIG и твердое золото. ImSn и OSP могут не столь эффективно выдерживать жесткие условия.

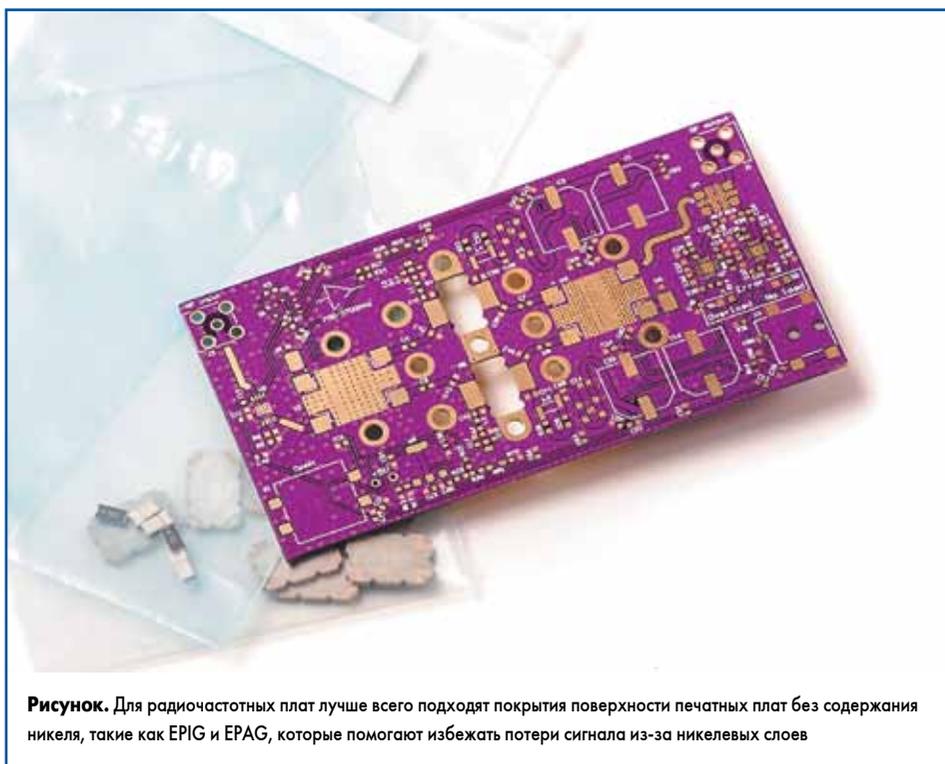


Рисунок. Для радиочастотных плат лучше всего подходят покрытия поверхности печатных плат без содержания никеля, такие как EPIG и EPAG, которые помогают избежать потери сигнала из-за никелевых слоев

4. Объем производства и стоимость. Ограничения по объему и бюджету играют значительную роль.

- Для крупносерийного производства более экономически эффективными могут быть HASL или OSP.
- Для прототипов или мелкосерийного производства подходящими вариантами, несмотря на более высокую стоимость, могут быть ENIG или ImSn.

5. Требования к сроку хранения (англ. Shelf-life). Для долгосрочного хранения печатных плат необходимо учитывать следующее.

- ENEPIG и твердое золото являются наилучшими вариантами для длительного хранения.
- ENIG обеспечивает увеличенный срок хранения и подходит для широкого спектра применений.
- Альтернативными вариантами являются ImAg и HASL.

- Для достижения оптимальных результатов материалы следует хранить в среде, свободной от влаги, и соблюдать установленные правила.

- OSP и иммерсионные покрытия обычно имеют более короткие сроки хранения, как правило, не более шести месяцев.

6. Соответствие нормативам. В зависимости от отрасли могут действовать определенные требования.

- Выбор защитного покрытия ПП может существенно повлиять на соответствие нормативным требованиям, в первую очередь — директивам RoHS и другим экологическим стандартам. Некоторые покрытия, особенно содержащие свинец, могут не соответствовать этим требованиям, что приведет к необходимости выбрать альтернативный вариант.

- В таких отраслях, как медицинская техника или аэрокосмическая промышленность,

могут существовать специальные требования к финишным покрытиям печатных плат. Необходимо убедиться, что покрытие соответствует отраслевым стандартам и другим регламентирующим документам.

Заключение

Выбор подходящего защитного покрытия для печатной платы — это важное решение, которое может существенно повлиять на производительность, надежность и стоимость изделия. Понимание характеристик различных покрытий и тщательный учет конкретных требований позволят сделать правильный выбор, который оптимизирует печатную плату для применения в конкретном устройстве.

Не существует универсального решения, подходящего для каждого проекта. Любое применение требует своего подхода, и то, что идеально для одного случая, может оказаться неприемлемым для другого. Важно оставаться в курсе новых достижений в области защитных покрытий, поскольку инновации в этой сфере открывают широкие возможности для проектирования и производства печатных плат.

Время, потраченное на выбор наилучшего защитного покрытия для печатной платы, — это инвестиция в качество и долговечность конечного продукта. Будь то высокочастотное устройство связи, отказоустойчивый промышленный контроллер или передовое медицинское устройство, правильное защитное покрытие может стать решающим фактором в достижении оптимальной производительности и надежности.



Комментирует Сергей ШИХОВ,
директор по управлению проектами, «А-КОНТРАКТ»

Если исходить из сложившейся практики, наиболее широко используемым финишным покрытием является ENIG.

OSP хорош для очень массовых крупносерийных производств, но необходимо учитывать, что при проходе через печь для SMT-монтажа покрытие разрушается и монтаж второй стороны (второй проход) уже проблематичен.

Если требуется и пайка, и микросварка, желателен ENEPIG.

Если устройство с невысокой интеграцией, то оптимальным покрытием будет HASL (это покрытие надежно, проверено и его применение хорошо освоено).

Олово, серебро — это скорее экзотика, чем общепринятая практика.

Инженерам, проектирующим электронику, требуются глубокие знания о возможностях и нюансах применения различных типов финишных покрытий.