

Конформные покрытия для жестких условий эксплуатации

В статье рассматриваются основные типы конформных покрытий для жестких условий эксплуатации, а также решения на их основе. Приводятся данные тестирования и реальные кейсы.

Фил Киннер (Phil Kinner)

Перевод:
Сергей Шихов

sergey@aconf.ru

Типы материалов: как велик выбор?

Типы материалов

На рынке существует множество материалов для конформных покрытий, и у каждого из них есть свои преимущества и недостатки. Конформные покрытия могут быть на основе растворителя, на водной основе, 100% активный состав (где почти все, что наносится в жидкой форме, превращается в твердое защитное покрытие), и осажденный пар (где мономерные газы смешиваются в вакууме, полимеризируются и осаждаются на поверхность печатной платы в виде защитной пленки).

Материалы на основе растворителя, как следует из названия, состоят из полимерных материалов, растворенных в базовом растворителе. Это материалы с низкой вязкостью, которые позволяют производить корректировку вязкости с помощью растворителей для эффективного применения при различных процессах нанесения. Полимеризация/сушка материалов возможна либо на открытом воздухе (физическое высыхание, которое может быть ускорено за счет тепла и которое оставляет полимерное покрытие после того, как базовый растворитель испарится), либо может включать последующий этап структурирования для получения защитной полимерной пленки.

Материалы на базе растворителя очень популярны из-за простоты использования, относительно короткого времени полимеризации и того факта, что базовый растворитель может выполнять и роль квазочистителя, который растворяет загрязнения и блокирует их в полимерной матрице. Материалы на основе растворителя могут использоваться почти при любом способе нанесения, а на рынке доступен огромный выбор полимерных материалов.

Основной недостаток покрытий на базе растворителя — содержание растворителей, представляющих собой летучие органические соединения (ЛОК, или англ. VOC). Защита окружающей среды требует снижения выбросов материалов, содержащих ЛОК, что привело к развитию альтернативных технологий. В некоторых процессах возможно улавливать и перерабатывать значительную долю выбросов ЛОК. Однако это бывает очень дорого и создает проблемы для здоровья и безопасности.

Материалы на водной основе напоминают материалы на основе растворителя, только в качестве базового

растворителя используется вода. Эти материалы в целом не столь эффективны, как материалы на базе растворителя. К тому же они требуют значительно более чистых поверхностей, на которые будет производиться нанесение. Процесс сушки таких покрытий происходит намного медленнее, чем на основе растворителя. Любые следы воды, оставшиеся в пленке, способны вызвать утечку тока. В целом защитная эффективность материалов на водной основе ниже, чем у их аналогов на основе растворителя.

Конформные покрытия со 100%-ным активным составом без растворителя не содержат растворителей или неактивных летучих разбавителей. Они характеризуются тем, что все жидкие покрытия, нанесенные на плату, будут преобразованы в защитное покрытие в процессе отвердевания. Например, влажная пленка в 100 мкм даст сухое покрытие приблизительно в 100 мкм.

Конформные покрытия без растворителя отличаются по механизму отвердевания:

- Вулканизация при комнатной температуре: эти материалы характеризуются отверждением во влажной среде (то есть они вступают в реакцию с влагой из окружающей среды для отвердевания). Для данного процесса характерно образование побочного продукта (обычно спирт или диоксид углерода), который должен быть удален из конформного покрытия для продолжения реакции. Также надо отметить, что эти материалы имеют тенденцию к затягиванию времени сушки, так как внешняя поверхность обычно контактирует с наибольшей влажностью. Когда материал затянут оболочкой, влага должна иметь возможность проникать через нее, а летучие вещества — испаряться через нее для продолжения процесса отвердевания. По своей природе эти типы материала обычно в большей степени проницаемы для влаги, пара, газов и т. д.
- Горячая вулканизация: этот тип материалов для отвердевания требует тепловой активизации выше минимальной температуры сушки. Недостижение минимальной температуры может привести к неполному отвердеванию или к тому, что оно не начнется. Температуры отвердевания обычно превышают +85 °C и могут доходить до +150 °C. Продолжительность отвердевания может быть достаточно длительной (свыше 30 мин).

- Химическая вулканизация: эти материалы отвердевают в процессе химической реакции, которая запускается, когда два или более компонента смешиваются. Реакция может быть ускорена за счет тепла. После смешивания компонентов реакция протекает с четко определенной и повторяемой скоростью. За счет того, что до смешивания компоненты отделены друг от друга, разработчик может получить потенциально более эффективные полимеры. Однако компромисс заключается в том, что для их интенсивного использования требуется более сложный и управляемый процесс.
- Отвердевание под ультрафиолетом (UV): первичная реакция отвердевания запускается при воздействии ультрафиолетового света (УФ) на определенной длине волны и достаточной интенсивности для выполнения быстрой полимеризации. Процесс отвердевания достаточно быстрый и не требует длительного использования печей в сравнении с другими типами материалов, но отверждение проходит по линии видимости. Из-за 3D-природы печатных плат и тенденции материала к попаданию под компоненты за счет капиллярных сил необходим вторичный механизм отверждения для обеспечения затвердевания в этих теневых зонах. Важно отметить, что вторичный процесс отверждения может занять достаточно длительное время и свойства покрытия могут постоянно изменяться до завершения процесса. Процесс дополимеризации/отверждения в теневых зонах может быть применен в любом из перечисленных типов вулканизации. Самым распространенным является механизм RTV (вулканизация при комнатной температуре), поскольку он не требует дополнительных этапов. Однако он может быть очень медленным, так как механизм отверждения включает проникновение влаги через полутвердевшую матрицу и рассеивания возникших в процессе побочных продуктов через эту матрицу. Если покрытие становится серьезным препятствием для влаги, то реакция замедляется еще больше. Если же вторичный механизм отвердевания протекает быстро, то отвердевшее покрытие окажется слабым препятствием для влаги и газов. Сейчас IPC признает пять основных типов конформных покрытий на основе главной хи-

Таблица 1. Типы конформных покрытий

	AR	UR	SR	ER	XY
	Акрил	Полиуретан	Силикон	Эпоксид	Параксиллен
Простота использования	★★★★★	★★★★★	★★★	★★★	★
Время высыхания/отвердевания	★★★★	★★★	★★★	★	—
Устойчивость к химикатам	★	★★★★	★★★	★★★★★	★★★★★
Защита от влаги	★★★★★	★★★★	★★★★	★★★	★★★★★
Простота снятия/ремонта	★★★★★	★★★	★★★	★★	★★
Экологическая чистота	Зависит от технологии	Зависит от технологии	★★★★★	★★★	★★★★★
Основные свойства	Общее назначение	Устойчивость к химикатам	Высокая температура	Устойчивость к химикатам	Покрытие

мической составляющей полимера. Основные конформные покрытия по химическому составу следующие:

- Акрил (тип AR): акриловые материалы могут считаться универсальными, они легки в использовании, ремонте и доработке, обеспечивают хорошую защиту от влажности, воздействия соляного тумана. Однако имеют низкую износостойчивость и выборочную химическую стойкость. Например, они не очень устойчивы к растворителям и другим органическим жидкостям, в частности к трансмиссионным жидкостям, маслам и т. д.
- Полиуретан (тип UR): полиуретановые материалы обладают широким спектром свойств — от мягких эластомерных каучуков до твердых покрытий, похожих на стойкое к механическим повреждениям стекло. В целом они характеризуются большей стойкостью к растворителям и маслу, чем акриловые материалы, но сложнее поддаются снятию или ремонту.
- Силикон (тип SR): силиконовые материалы, так же как и полиуретановые, обладают широким спектром характеристик. Силиконовые материалы можно охарактеризовать как более проникаемые для паров влаги и агрессивных газов (особенно содержащих серу), но и более влагоустойчивые, чем другие типы покрытий. Силиконовые материалы в отличие от других типов — это неорганические полимеры, имеющие более высокий диапазон максимальной рабочей температуры. Силиконовые материалы имеют свойство набухать и превращаться в гель в присутствии органических растворителей, масел и других жидкостей, но при этом не растворяются, что может создать определенные трудности для эффективного ремонта.

- Эпоксид (тип ER): по сравнению с другими типами эпоксидные материалы не так широко распространены в качестве конформных покрытий. Доступные на рынке эпоксиды созданы на основе старой технологии. Это делает их жесткими, ломкими и очень сложными для использования и эксплуатации. Они также характеризуются плохими электрическими свойствами, особенно при относительно более высоких температурах и влажности, что ограничивает их применение. И хотя эпоксидные вещества обеспечивают наибольшую устойчивость к растворителям, маслам и другим химическим веществам, это также делает их практически неспособными к снятию или ремонту. Эпоксидные конформные покрытия широко используются в нишевых продуктах и устройствах прежних версий, где требуется только высокая степень химической устойчивости, таких как, например, приложения NBC.
- Параксиллен (тип XY): этот тип покрытий отличается технологией нанесения покрытия путем осаждения газа. Предварительно материал нагревается до выделения газа, а затем накачивается в вакуумную камеру, где он самопроизвольно полимеризуется на любую поверхность внутри камеры. Параксилленовые материалы относительно твердые и в определенной мере ломкие, но характеризуются чрезвычайно равномерным нанесением и исключительным покрытием. Параксилленовые покрытия требуют сложного оборудования и могут наноситься только порциями, а процесс не поддается адаптации к поточному производству. Любые поверхности, на которых не должно быть покрытия, следует тщательно маскировать.

Таблица 2. Типы конформных покрытий

	SB	WB	UV	XY	SR	2K
	На базе растворителя	На водной основе	УФ-отверждение	Параксиллен	Силикон с меньшим растворителем	Технология 2K без растворителя
Простота использования	★★★★★	★★	★★★★	★	★★★★	★★★★
Время высыхания/отвердевания	★★★★	★	★★★★★	★	★★★★	★★★★
Устойчивость к химикатам	Зависит от химиката	Зависит от химиката	★★★★★	★★★★★	★★★	★★★★★
Защита от влаги	★★★★★	★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★	★★★★★
Простота ремонта/переделки	★★★★	★★★	★★	★	★★	★★★
Экологическая чистота	★	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★
Основные свойства	Легко применять и ремонтировать	Нанесение только вручную	Быстрое первичное отверждение без отлипа	Отличное покрытие	Высокий температурный диапазон, отличная защита от жидкой воды	Отличное покрытие обеспечивает выдающуюся защиту от жидкой воды и влажности

Кроме этих пяти основных типов материалов, появляются другие типы конформных покрытий. Один из новых типов, привлекающий немалое внимание, — нанопокрyтия толщиной 12,5 мкм или меньше, которые разрабатывались как ультратонкие покрытия (тип UT). Данный класс охватывает плазменные и другие осаждающие газ методы, а также жидкие покрытия, такие как фторполимерные модификаторы поверхности. Однако этот класс материалов все еще слишком общий и новый, чтобы рассматривать его в контексте суровых условий.

В таблицах 1 и 2 приведено упрощенное сравнение некоторых наиболее распространенных материалов по типу покрытия. Существуют сотни формул внутри каждого типа материала, поэтому таблицы не применимы к каждой конкретной формуле.

Защита, защита, защита

Абсолютное большинство решений по использованию конформных покрытий попадает в одну из следующих четырех категорий:

1. Защита от коррозии в условиях эксплуатации.
2. Защита от конденсации в условиях эксплуатации.
3. Уменьшение отрицательных последствий из-за «усов» олова.
4. Сокращение расстояния между компонентами для соответствия критериям безопасности или конструкции.

Рассматривая требования к каждой категории независимо, можно увидеть некоторые общие закономерности.

Защита от коррозии в условиях эксплуатации

Коррозия — сложный электрохимический процесс, контролируемый диффузией, который происходит на открытой поверхности металла. Существует множество потенциальных механизмов и причин, находящихся вне компетенции данной публикации. Однако, как можно увидеть на рис. 1, в подавляющем большинстве случаев для возникновения коррозии должны быть выполнены три требования:

1. Наличие электрохимически разнородных металлов (например, золото/серебро или олово/никель) или создание анода и катода за счет применения внешнего смещения.
2. Присутствие ионных частиц (особенно солей, галогенидов, гидроксидов и др.), как оставшихся после процесса сборки, так и из эксплуатационного окружения (например, агрессивные газы, солевые брызги и др.).
3. Наличие монослоев конденсированной воды для растворения ионных частиц, что приводит к образованию раствора электролита.

Для предотвращения коррозии необходимо устранить по крайней мере одно из этих условий.

Выбор металлов ограничивается теми, что применяются в припое и финишном покрытии контактных площадок и выводов микросхем, которые отличаются друг от друга. Всегда есть



области разницы потенциалов из-за природы электронных устройств. Очистка помогает удалить ионные частицы, но не может предотвратить их повторное осаждение из эксплуатационного окружения.

Конформные покрытия помогают предотвратить образование раствора электролита, действуя как барьер для влаги. Учитывая трехмерную топографию металлических поверхностей на печатной плате, чтобы обеспечить максимальную степень защиты, все металлические поверхности должны быть достаточно покрыты, чтобы не допустить оголение металлической поверхности для окружающей среды, потенциально провоцирующей коррозию. Небольшие пустоты в покрытии, оголяющие металлическую поверхность, могут ускорить коррозию при определенных условиях. Задача конформных покрытий — достичь требуемого уровня покрытия в трехмерном измерении сложной топографии оголенных металлов.

Кроме обеспечения высокой степени покрытия, конформное покрытие должно служить жестким барьером против влаги и иметь хорошую адгезию с подложкой для предотвращения отслаивания. Если покрытие отслоится, влага может собираться в этом «кармане» и создать раствор электролита с любым содержанием ионных частиц. Именно по этой причине рекомендуется провести очистку перед нанесением конформного покрытия, чтобы обеспечить мощное синергетическое



Рис. 2. Коррозия компонента (источник фото: Foresite, Inc.)

устранение двух из трех возможных причин, вызывающих коррозию.

Защита от конденсации

Там, где присутствует значительный уровень влажности, всегда есть шанс, что детали устройства окажутся ниже точки конденсации. Это приведет к образованию конденсированной воды на поверхности устройства, серьезно снизит изоляционное сопротивление на поверхности платы и приведет к нарушению функционирования электроники.

Вода — отличный проводник электричества. Любые ионные частицы (например, соли от производства или конечной среды использования) будут растворяться и создавать проводимый путь, что вызовет коррозию. Более высокий уровень «жидкой» воды может сильно ускорить это явление и приведет к электрохимическому перетеканию жидкости (ЕСМ).

В дополнение к коррозии конденсация жестко проверяет свойства изоляции покрытия. Учитывая то, что это, по сути, является погружением, вода быстро находит слабые места или пустоты в покрытии. Если имеются места, где покрытие слабое или вообще отсутствует, результатом будет либо ухудшение, либо вообще отсутствие изоляции. Проводящий раствор может быстро переносить ток из одного слабого места в другое, что способно привести к немедленному отказу, который может быть обратимым после высыхания платы. Однако это может привести и к необратимой поломке, если под поверхность покрытия попадут проводимые продукты коррозии, дендриты (металлические нити) или другие постоянные источники тока.

Примеры из реальной жизни

Кейс 1

У производителя промышленного автоматизированного оборудования из Азии были постоянные проблемы с высоким уровнем отказов источников бесперебойного питания в течение трех месяцев после установки. Платы были покрыты акриловым конформным покрытием на основе растворителя после процесса без очистки (технология No Clean), который был проверен на надежность и совместимость в рамках корпоративных исследова-

ний и разработок. При анализе отказов была обнаружена коррозия на дискретных керамических пассивных элементах (свидетельства дендрической коррозии под устройствами с мелким шагом). Кроме того, была выявлена сильная коррозия в одной локализованной зоне. При более тщательной проверке стало очевидно, что конформное покрытие в этой сильно корродированной зоне полностью отсутствовало, что показано на рис. 2.

При дальнейшем изучении было установлено, что зона коррозии точно коррелирует с входящим охлаждающим воздушным потоком. Открыв корпус, инженеры, работающие с отказами, обнаружили высокий уровень песка внутри него.

Акриловый материал оказался слишком мягким и легко стирался песком, попадающим с охлаждающим воздухом от вентилятора, что привело к оголению зон устройства, где образовалась коррозия. Адгезия акрилового покрытия с паяльным резистом также была неоптимальной. Более того, рост дендритов был связан с чистой смонтированных компонентов.

Предпринятый переход на более устойчивое к абразивному воздействию полиуретановое конформное покрытие, внедрение полупроводного процесса очистки и установка фильтра для частиц в систему вентиляции значительно увеличили срок службы этих устройств.

Кейс 2

Рассматриваемая плата помещалась в корпус и в течение шести восьмичасовых циклов работала при температуре $+25...+55\text{ }^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности, превышающей 90%. В целом это не может считаться очень суровыми условиями. Однако как только температура повышалась, увеличивая уровень водяного испарения, разница между температурами платы и корпуса становилась достаточной для образования конденсата.

Дизайн корпуса привел к образованию скопления конденсата в определенных зонах, и было выявлено, что они соответствуют зонам с высокой плотностью компонентов. Утечка тока увеличилась примерно с 10 мкА до 100 мкА, прежде чем кратковременно возрасти до 1 А сразу перед окончанием перехода в режим нагрева. Следы наличия воды присутствовали в зонах отказа, там же появились и нити коррозии. Коррозия была проанализирована, и выяснилось, что она в основном состоит из углерода. Не было никаких свидетельств коррозии на металлических поверхностях, но покрытие на углах керамических деталей было плохим из-за соседних непокрытых зон.

Как видно на рис. 3, обнаруженные остатки углерода были больше похожи на выгорание покрытия из-за локализации тепла, созданного высокой утечкой тока из-за конденсации влаги.

Столкнувшись с необходимостью внесения изменений в проект корпуса для предотвращения скапливания конденсата, заказчик вместо этого решил увеличить толщину покрытия на конкретных участках с помощью нанесения дополнительного усиливающего слоя на наиболее чувствительные зоны. Новый процесс предотвратил сбои при дальнейшем тестировании.

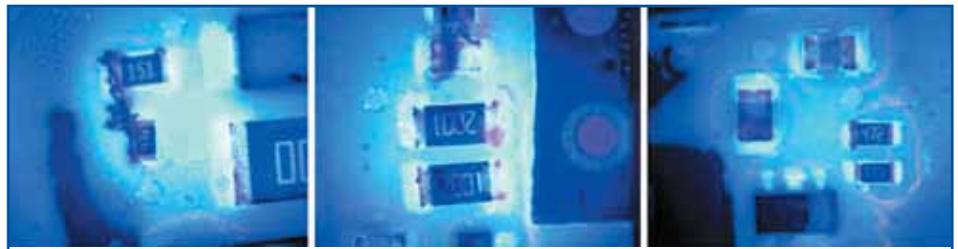


Рис. 3. Выгорание покрытия из-за локализации тепла и водяных кругов

Уменьшение отрицательных последствий из-за усов олова

Применение конформного покрытия — способ снижения отрицательных последствий от оловянных усов. Конформные покрытия уменьшают риск образования замыкания из-за усов олова одним из следующих способов:

- Усы олова могут проникнуть через покрытие (как видно на рис. 4, это может случиться, но исследования показывают, что это происходит не часто).
- Для короткого замыкания выступающий ус олова должен либо:
 - соединиться с другим выступающим усом олова с противоположной полярностью;
 - проникнуть обратно через покрытие в том месте, где имеется противоположная полярность, чтобы создать замыкание.

Также важно заметить, что ус может отломиться и соединить металлические поверхности разной полярности, тем самым создав короткое замыкание.

Описанные ситуации с возникновением коротких замыканий из-за усов олова встречаются крайне редко, однако их возникновение возможно. Исследования и моделирование показывают, что если применяется подходящее покрытие с оптимальной толщиной на проводящих поверхностях, то маловероятно, что усы смогут проникнуть через покрытие один раз и почти невозможно, что они сделают это дважды. При качественном нанесении также очень маловероятно, что сломавшийся ус олова соединит два проводника. Поэтому остается единственный действительно реальный механизм отказа — когда два прорвавшихся через покрытие уса

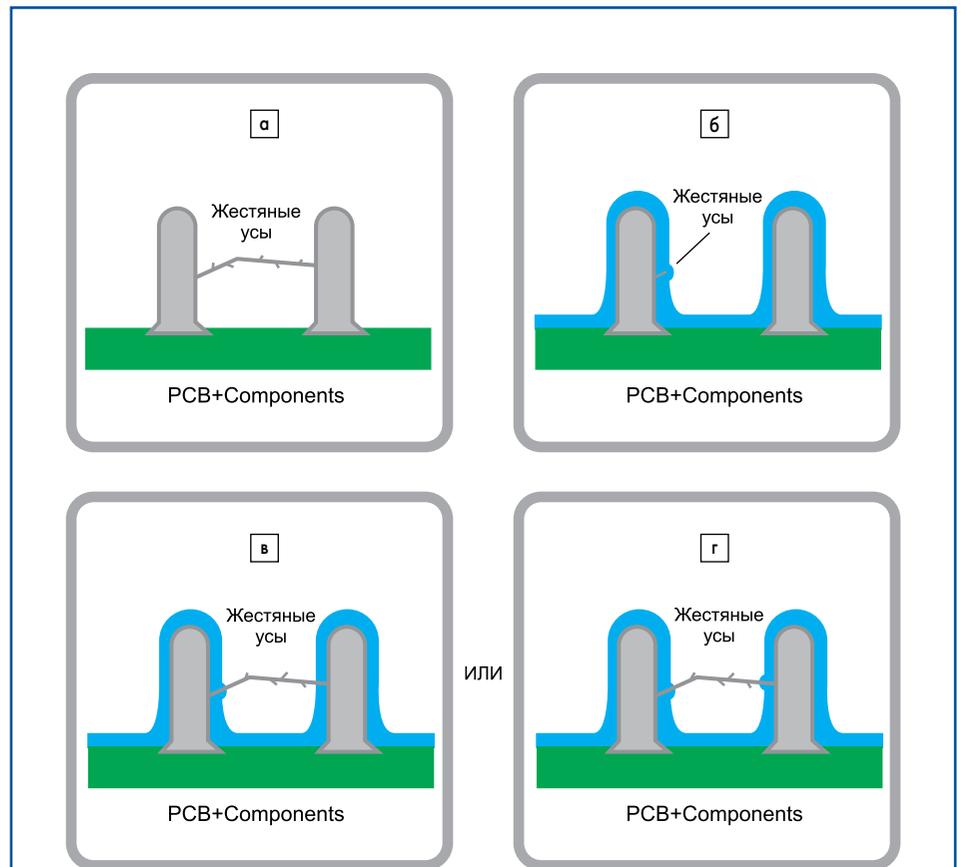


Рис. 4. Образование усов олова на покрытых и непокрытых устройствах:

- непокрытая плата/компоненты, усы олова образуются свободно;
- покрытая плата/компоненты, ус олова должен сначала проникнуть в покрытие;
- покрытая плата/компоненты, если ус олова сформировался и проник через покрытие, он должен затем снова проникнуть в покрытие, чтобы создать короткое замыкание;
- покрытая плата/компоненты, ус олова должен соединиться с другим усом, идущим в обратном направлении, который в свою очередь также должен проникнуть сквозь покрытие

олова соединяются и создают короткое замыкание, однако вероятность такого события чрезвычайно низка.

Конечно, если некачественное нанесение оголяет металлические поверхности или если покрытие слишком тонкое, то вероятность потенциального вреда от усов олова возрастает.

Уменьшение расстояния между компонентами

Хотя обычно воздух является хорошим изолятором, при воздействии высокого напряжения (сила электрического поля около 3 кВ/мм) воздух может разрушаться и становиться частично проводящим. При относительно небольших зазорах напряжение для разрушения воздуха зависит от разделения. Если напряжение достаточно велико, полное электрическое разрушение воздуха завершится электрической искрой или электрической дугой, которая перекроет весь зазор. Конформные покрытия обеспечивают дополнительное изоляционное сопротивление и могут позволить разработчикам создавать более компактные печатные платы за счет более плотного размещения компонентов, чем без покрытия. Это особенно важно в устройствах, работающих в авиации и космосе, где изоляционные характеристики воздуха серьезно снижены из-за высоты, и образование корон, дуг и другие нарушения изоляции встречаются намного чаще.

Таким образом, проблемы с покрытием, пузыри, тонкие места, зоны без покрытия создают дополнительные возможности для образования дуг или других механизмов разрушения.

Истинная ценность тестирования на надежность

Вне зависимости от того, является ли основной целью нанесения конформного покрытия защита от коррозии в конечных эксплуатационных условиях, устранение вероятности возникновения конденсации, снижение негативных последствий от усов олова, возможность более плотного размещения компонентов или все это вместе взятое, должно быть ясно, что главная и первичная цель разработчика — достижение качественного покрытия при оптимальной толщине. Что такое в каждом конкретном случае качественное покрытие и оптимальная толщина — зависит от разработанного устройства, конечных условий эксплуатации и возможных последствий от отказов изделия. Следовательно, эти цели должны быть определены разработчиком в серии тестов на надежность, предназначенных для проверки соответствия конечным требованиям к функционированию устройства.

Тестирование для обеспечения надежности в высокопроизводительных средах

Очень важно понимать, что эксплуатационные испытания конформных покрытий по IPC-CC-830 или другим стандартам обычно проводятся на несмонтированных тестовых платах из стеклотекстолита (FR-4), которые скрупулезно очищаются перед нанесением покрытия. У этих образцов нет паяльного резиста, нет компонентов, и обычно они покрыты голой медью. Цель таких квалификаций материалов по IPC-CC-830, MIL-I-46058C и IEC-1086 заключается в разделении этих покрытий на те, которые подходят для защиты электронных устройств, и те, что предназначены для других применений.

Подобные стандарты не подтверждают (и никогда не предназначались для этого), что конформное покрытие будет приемлемо функционировать в конечных эксплуатационных условиях, поскольку стандарты IPC-J-STD-001 и IPC-A-610, имеющие своей целью помочь разработчику в производстве качественного продукта, не гарантируют, что будет получен надежный продукт. Это всегда остается зоной ответственности контрактного производителя (ОЕМ) — обеспечение того, что покрытие подходит для конкретного продукта в рамках его эксплуатации.

Адгезия конформного покрытия с паяльным резистом (паяльной маской)

Во-первых, важно убедиться, что выбранное покрытие имеет хорошую адгезию к используемому паяльному резисту. Существуют сотни различных типов паяльного резиста, и так как адгезия с паяльным рези-



Рис. 5. Определение поверхностной энергии платы может быть произведено следующими способами:

- измерение краевого угла смачивания;
- тест специальными чернилами для определения поверхностной энергии платы в дин/см или мН/м

стом не тестируется ни в каких стандартах по квалификации материалов, необходимо, чтобы разработчики использовали свои собственные критерии оценки.

Это осложняется проблемой совместимости покрытий. Произойдет ли адгезия покрытия с паяльным резистом, как планируется, зависит во многом от обработки данного резиста во время производства печатной платы. Ключевая характеристика паяльного резиста — поверхностная энергия (SE), то есть показатель того, как легко вещество будет смачивать поверхность. С точки зрения пайки, чем меньше поверхностная энергия, тем меньше количество мостов, шариков припоя или других дефектов пайки. Но с точки зрения покрытия, чем выше поверхностная энергия, тем лучше покрытие смачивает поверхность. Соответственно, более высокая поверхностная энергия приводит к лучшей адгезии. Хорошим компромиссом между адекватной пайкой и адгезией покрытия определена поверхностная энергия около 40 дин/см или выше.

Значение поверхностной энергии печатных плат должно быть как можно выше. Дополнительное тепловое отклонение во время пайки и остатки паяных материалов в дальнейшем уменьшают поверхностную энергию и повлияют на уровень адгезии покрытия. Разработчик должен определить уровень в 40 дин/см как входную проверку качества платы, поступившей от производителя. Более того, разработчику рекомендуется проверять поверхностную энергию образцов из каждой партии печатных плат и отказываться от партий, которые не соответствуют этим требованиям по поверхностной энергии.

Как было описано в разделе о коррозии, отслоение покрытия от паяльного резиста зачастую является этапом, определяющим скорость процесса коррозионных отказов на поверхности платы. Следовательно, необходимо улучшать адгезию покрытия в высоконадежных устройствах.

Совместимость с флюсом и другими остатками обработки

В идеальном мире устройство скрупулезно очищается перед нанесением покрытия, так же, как и перед квалификационными испытаниями материалов. Однако при почти повсеместном использовании неочищенных химикатов в большинстве процессов практически неизбежно присутствие остатков или по меньшей мере некоторых загрязнений. Во многих случаях применения защитных покрытий (например, шасси автомобиля) основа тщательно очищается и грунтуется или подготавливается для нанесения краски, чтобы обеспечить хорошее соединение. Популярность неочищенных процессов даже в высоконадежных устройствах аналогична вождению нового автомобиля по грязному полю в качестве подготовки его для нанесения краски.

Остатки от процесса пайки, кроме получения названия «нечистый», могут оказать и серьезное негативное влияние на качество покрытия. Покрытие этих остатков материалами, не содержащими растворителей, зачастую способно привести к неудовлетворительному смачиванию и покрытию. Даже в ситуации, когда нанесение покрытия и его адгезия с остатками флюса достаточно хорошие, адгезия флюса

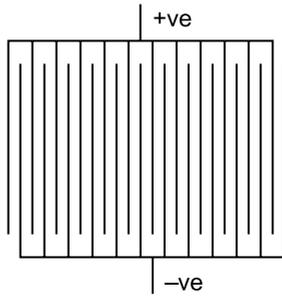


Рис. 6. Пример образца SIR, показывающий встречно-ребенчатую структуру. Ширина дорожек, промежуток между дорожками и примененное смещение оказывают влияние на SIR

Сергей Шихов,
технический директор «А-КОНТРАКТ»

Выбор материала и метода для влагозащиты электронного блока — задача нетривиальная. В электронной промышленности РФ (как наследника традиций СССР) широко распространена практика использования уретанового покрытия, чаще всего применяется материал UR-231.

Но разработчику современного оборудования, на мой взгляд, не нужно заикливаться на традиционных решениях, а в каждом случае выбирать тот вариант, который оптимален для защиты конкретного блока.

Самое правильное — обсудить все нюансы еще на этапе размещения заказа. Ведь в зависимости от специфики изготавливаемого печатного узла могут применяться различные методы нанесения влагозащитного покрытия, начиная от банальной «кисточки», и заканчивая установкой селективной влагозащиты.

Если вы затрудняетесь с выбором покрытия, мы готовы помочь как словом, так и делом, поскольку на своем производстве используем все виды нанесения влагозащитного покрытия, и наши технологи смогут быстро сказать, какой из методов будет предпочтительным в вашем случае.



с платой бывает недостаточной. Это может привести к нарушению адгезии с остатками флюса и вылиться в отслоение покрытия в зонах вокруг паяных соединений — именно там, где необходима наилучшая адгезия для защиты от коррозии. Остатки флюса часто размягчают и ослабляют адгезию при нагревании и могут потрескаться во время термических испытаний. Такие трещины в свою очередь становятся причиной растрескивания покрытия.

Физическая совместимость покрытия с остатками флюса обычно оценивается проведением цикла термоиспытаний или испытания на тепловой удар, а также старения при более высоких уровнях влажности и температуры.

Также важно проверить электрохимическую совместимость покрытия с используемыми материалами для пайки. Неочищенный флюс формируется и фиксирует активные вещества в матрице смолы или канифоли. Эта матрица может растрескаться во время изменения температуры, повредить целостность покрытия и оголить потенциально корродирующие вещества. Кроме того, покрытия могут взаимодействовать с самой матрицей, высвобождать вредные вещества и нарушать

возможность корректного отвердевания материала покрытия.

Лучше всего проводить подобную оценку с помощью теста на поверхностное изоляционное сопротивление (SIR) при повышенной температуре и высокой влажности, чтобы убедиться в отсутствии ненужного электрохимического взаимодействия между продуктами пайки и покрытия. Хорошей идеей является предварительное воздействие на комбинацию покрытие/флюс перед SIR-тестом тепловых колебаний между крайними температурами, релевантными конечным эксплуатационным условиям. Следует отметить, что многие рекомендации требуют тестирования в течение одной недели для определения совместимости. Однако автор предполагает, что для такого теста минимальная продолжительность составляет 1000 ч. Столь длительное, а может, и большее время необходимо для того, чтобы проникновение влаги и развитие взаимодействия стали очевидными во время проведения SIR-теста.

SIR — величина изоляционного сопротивления между двумя металлическими дорожками противоположного смещения на поверхности тестируемой платы, обычно при высокой температуре и влажности. В идеале комбинация

покрытия и остатков пайки дает значение SIR, которое является стабильным и не ниже, чем у любого материала в изоляции.

На рис. 7 представлен пример типичных данных, полученных во время такого SIR-тестирования на совместимость. В этом случае само покрытие имеет очень высокое изоляционное сопротивление. Паяльная паста имеет самое низкое значение SIR, а у комбинации немного большее значение. Для этой конкретной комбинации паста и покрытие могут считаться совместимыми, и в основном именно паста определяет общий уровень SIR. Также возможно, что покрытие будет определять общий показатель SIR — это зависит от степени и типа взаимодействия между обоими химическими веществами. До тех пор, пока результат покрытия и пасты стабилен и выше или равен наименьшему индивидуальному значению, можно считать, что комбинация электрохимически совместима.

Как показано на рис. 8, после 1000 термоциклов между -40 и $+140$ °C можно увидеть, что покрытие все еще светится непрерывным синим цветом. Между тем при белом свете под покрытием можно заметить трещины на остатках флюса. В этом случае покрытие было жестким, но достаточно эластичным, чтобы противостоять растрескиванию, тогда как остатки флюса потрескались и на покрытых и на непокрытых частях. Если бы материал покрытия был менее жестким и эластичным, очень вероятно, что трещины флюса привели бы к трещинам в покрытии.

После того как мы установили физическую и электрохимическую совместимость материалов, фокус анализа надежности нужно переключить на более функциональные тесты.

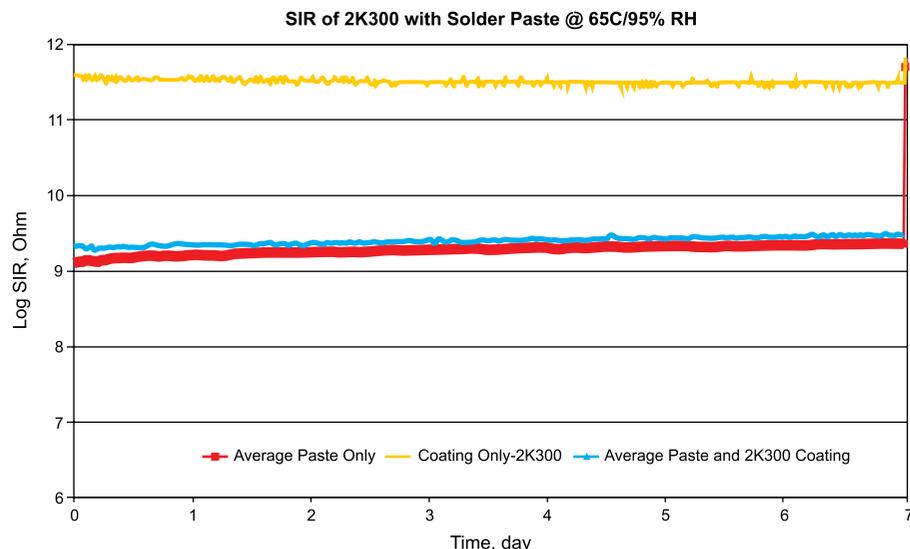


Рис. 7. Пример типичных данных, полученных при SIR-тестировании на совместимость



Рис. 8. Плата, прошедшая термоциклирование

Тестирование воздействия смеси агрессивных газов (MFG)

Во многих случаях устройства с покрытием будут подвергаться воздействию смеси агрессивных газов из-за загрязнения городов и работы в среде с высоким уровнем содержания таких газов — это, например, датчики контроля процессов в плавильном цехе (рис. 9). Очень важно, чтобы покрытие могло обеспечить достаточное препятствие для этих газов и предотвратить коррозию.

Для понимания защитных свойств материала SIR-тестирование может быть ценным инструментом. Вместо того чтобы проводить эксперимент при высокой температуре и влажности, эксперимент просто выполняется в специальной камере MFG. Образцы подвергаются воздействию газов при контролируемой температуре и влажности (например, хлор, оксиды азота, сероводород, диоксид серы и др.). Газы могут образовывать различные кислотные вещества в этих условиях



Рис. 9. Тестирование воздействия коррозионно-активного газа

и наносить ущерб эффективной работе устройств, особенно тем из них, которые покрыты ENIG, серебром или медью/OSP.

Новая линейка очистителей «КлинМастер»

Компания «Диполь Технологии» продолжает расширять собственную линейку технологических очистителей. Новые продукты могут применяться не только в процессах сборки электроники, но и при производстве металлических конструкций, очистки изделий металлообработки, проведении планового технического обслуживания оборудования.

«ПринтКлин-А+» — жидкость для отмывки трафаретов от остатков паяльной пасты, непалимеризованного клея и других загрязнений, образующихся в процессе трафаретной печати. Благодаря уникальной химической формуле продукт обладает рядом преимуществ:

- долгое время жизни раствора. Состав удаляет загрязнения, не растворяя их в себе. Простой процесс фильтрации позволит вернуть раствору первоначальные свойства;
- раствор pH-нейтральный и не оказывает никакого воздействия на структуру поверхности трафаретов, деталей оборудования, уплотнителей и прокладок;
- не требует дополнительного ополаскивания после стадии отмывки, высыхает естественным путем, не оставляя разводов на поверхностях;
- легко утилизируется за счет разделения органики и воды.

«КлинМастер» — новая линейка очистителей для очистки и подготовки металлических поверхностей. Основное применение: очистка и частичное обезжиривание металлических поверхностей, в том числе из цветных металлов, в процессе производства корпусов РЭА, радиаторов, крепежных элементов, оснастки, подготовки поверхностей под окраску, плановое ТО оборудования и т. д. Может применяться как в автоматических моющих комплексах, так и при ручной отмывке. Продукт пожаробезопасен, не требует дополнитель-

ного ополаскивания. После фильтрации может многократно использоваться, не теряя своих свойств.

«КлинМастер-UN» — универсальный состав для очистки металлических поверхностей от загрязнения. Поставляется в виде концентрата для смешивания с деионизированной водой в рекомендованном соотношении в зависимости от степени загрязнений.

«КлинМастер-SST» — высокоактивный щелочной очиститель для глубокой очистки поверхностей из нержавеющей стали. Рекомендуется для удаления застарелых прикипевших загрязнений, образованных под воздействием высоких температур. Поставляется готовым составом. Пожаробезопасен. Рекомендован для очистки паровых печей.

«КлинМастер-OV» — универсальный очиститель для печей оплавления. Позволяет эффективно производить очистку конвекционных печей от остатков флюса, непалимеризованных клеев и других загрязнений. После очистки поверхность приобретает антистатические свойства, что позволяет ей дольше оставаться чистой, а также минимизировать риск повреждения статическим электричеством лежащих на ней электронных изделий. Поставляется готовым составом. Пожаробезопасен.

«Р-Клинер» — очиститель для ручной отмывки печатных плат. Эффективно очищает современные флюсы без образования белого налета и разводов. Не требует ополаскивания и сушки, позволяет отмывать платы с влагочувствительными компонентами. Быстро испаряется. Является современной альтернативой спирто-нефрасовой смеси.

www.dipaul.ru

GS Nanotech освоил технологию монтажа микросхем Package-on-Package



Центр разработки и производства микроэлектроники GS Nanotech (в составе холдинга GS Group) совместно с Петрозаводским государственным университетом освоил технологию PoP (Package-on-Package, «корпус-на-корпусе») — новый метод монтажа интегральных схем. Эта уникальная для России компетенция может быть востребована в массовом производстве потребительской электроники.

Технология PoP — это метод монтажа интегральных схем, при котором один или более компонентов монтируются друг на друга (так называемый вертикальный монтаж). Решение GS Nanotech объединяет преимущества предыдущих поколений технологических маршрутов. Оно позволяет, сохранив компактность изделия, значительно повысить плотность упаковки электронных компонентов на плате. PoP — одна из технологий сборки «систем-в-корпусе» (SiP). На сегодня GS Nanotech — единственное в России предприятие, которое разрабатывает и массово выпускает собственные SiP-микропроцессоры — SiP Amber S2 и SiP Emerald N2M.

На предприятии уже собраны первые макетные образцы. На них отрабатываются режимы работы производственного оборудования, проводятся квалификационные испытания. Данные мероприятия помогут подтвердить качество применяемых процессов, отработать влияние внешних факторов и оценить потенциал новой технологии. К концу 2020 года завод планирует изготовить образцы с рабочими кристаллами российской разработки с применением технологии Flip-Chip.

Освоение метода Package-on-Package GS Nanotech осуществляет совместно с ПетрГУ в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» Минобрнауки РФ (уникальный идентификатор работ RFMEFI571718X0293). Дальнейшее развитие проекта предполагает использование технологии в реальных продуктах, актуальных для российского рынка потребительской электроники.

<http://gsnanotech.ru/>