

Адгезионная подготовка поверхности в технологии печатных плат

Илья Лейтес

i_leytes@rts-engineering

Процессы адгезионной подготовки поверхности используются в технологии изготовления ПП (печатных плат) для обработки поверхности меди, и в первую очередь перед нанесением фоторезистов (в том числе паяльной маски), то есть участвуют в этапе фотолитографического формирования рисунка слоев как проводящих, так и слоя паяльной маски. Задача этих процессов — обеспечить адгезию фоторезиста, достаточную для стойкости при воздействиях технологических рабочих сред. Для паяльной маски необходимо обеспечить еще и стойкость при воздействиях технологии монтажа и эксплуатационных воздействиях, поскольку она является конструкционным материалом. В дальнейшем адгезионная подготовка применяется для обработки слоев перед прессованием. В этом случае задачей становится обеспечение монолитной структуры МПП (многослойных печатных плат) в процессе дальнейших технологических и эксплуатационных воздействий. Ранее автор уже касался этих проблем [1, 2], однако жизнь меняется, и представляется целесообразным вернуться к рассмотрению вопроса с точки зрения современных процессов и технологического оборудования с учетом изменившихся требований к прецизионности рисунка ПП, в частности, появления новых классов точности по ГОСТ 53429–2009 «Платы печатные. Основные параметры конструкции» [3]. Итак, мы определили, что в техпроцессе изготовле-

Введение

ния ПП адгезионная обработка поверхности проводится на трех этапах:

- перед нанесением СПФ (сухого пленочного резиста) (травильного или прайм-резиста);
- перед нанесением паяльной маски (ПМ);
- перед прессованием ПП.

Подготовка поверхности под СПФ и паяльную маску

Как уже говорилось, подготовки под СПФ и ПМ обеспечивают фотолитографическое формирование рисунка и поэтому очень схожи между собой. Они могут выполняться тремя способами (щеточной, гидроабразивной и химической обработкой) и в данной статье будут рассмотрены в одном разделе.

Во всех описаниях фоторезистов рекомендуемая шероховатость поверхности (Rz) достигает примерно 1–2 мкм. ГОСТ 53432–2009 «Платы печатные. Общие технические требования к производству» [4] специфицирует необходимую шероховатость поверхности после ее подготовки как 1,5–2,5 мкм.

Щеточная обработка поверхности

Щеточная обработка (зачистка) выполняется абразивными валиками и является наиболее дешевой и производительной (рис. 1).

Однако у данного метода есть недостаток: в ходе операции зачистки на поверхности формируются четко выраженные продольные риски в направлении движения заготовки (рис. 2).

В случае если эти риски достигают глубины, которая при ламинировании не заполняется резистом



Рис. 1. Инструмент и оборудование щеточной зачистки



Рис. 2. Рельеф поверхности меди после щеточной зачистки

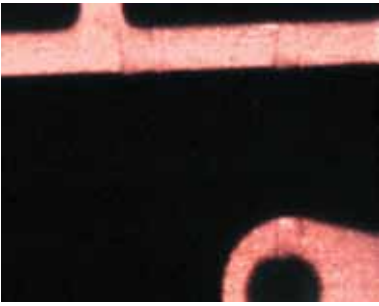


Рис. 3. Поверхностный растрав медных проводников в местах образования поперечных рисок после щеточной зачистки

за счет его пластической деформации, то при травлении они становятся источником растравов. Обычно это происходит в тех местах, где риски расположены поперек проводников (рис. 3).

Гидроабразивная (пемзовая) обработка

Для подготовки поверхности печатных плат перед нанесением СПФ и паяльной маски более подходящим способом подготовки поверхности является пемзовая обработка (зачистка). Данный метод позволяет получить более равномерную шероховатость поверхности с разнонаправленным рельефом и очистить ее от загрязнения (рис. 4).

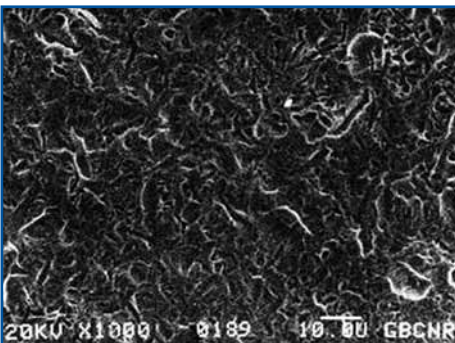


Рис. 4. Шероховатость поверхности меди после гидроабразивной (пемзовой) зачистки

Однако, применяя этот способ, нужно очень внимательно относиться к выбору размера зерна пемзового порошка, которое не должно забивать отверстия, иначе заклиненные в отверстиях под давлением гидроабразива такие зерна очень трудно извлечь. Подобная ситуация особенно критична для позитивного процесса, поскольку на этапе пемзовой подготовки наружных слоев лишь тонкий слой гальванической затяжки имеется в отверстиях, и только после фотолитографии будет выполнена основная металлизация. В таких условиях наличие посторонних частиц в отверстиях недопустимо. Кроме того, следует отметить, что оба способа механической подготовки (щеточная и пемзовая зачистка) при обработке поверхности под нанесение паяльной маски могут стать источниками дефектов для прецизионного рисунка. У проводников шириной 150–125 мкм (а тем более 100–80 мкм и менее) адгезия к диэлектрику невелика из-за их малой площади. Сдвиговые усилия, воз-

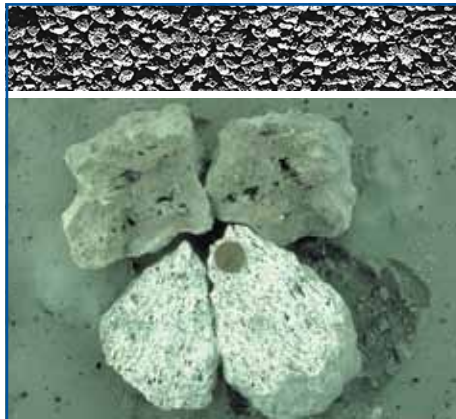


Рис. 5. Пемзовый порошок марки «3/0N»

никающие при механических способах обработки, способны привести к отрыванию отдельных участков прецизионных проводников от диэлектрического основания.

Марка пемзового порошка «3/0N» (рис. 5) специально разработана для применения в производстве печатных плат. Порошок состоит в основном из очень мелких частиц и выглядит как белая пудра. Большинство других марок содержит относительно крупные абразивные гранулы, которые за короткий период могут выводить из строя оборудование пемзовой зачистки. Часть порошка марки «3/0N» в виде пудры действует как смазка и таким образом предохраняет от царапин большими кристаллами элементы насосов и трубопроводов. Срок службы всех частей установок, обрабатывающих поверхности, в которых используется марка «3/0N», достаточно продолжителен, несмотря на высокую абразивность пемзового порошка. Это позволяет существенно увеличить период эксплуатации сложного, а следовательно, и недешевого технологического оборудования (рис. 6).

Еще одно предназначение мелких частиц — абсорбция жира и других загрязнений, а также создание «мягкого» зачищающего эффекта. Большие частицы, входящие в состав пемзового порошка марки «3/0N», тоже абсорбируют грязь на своей поверхности, но главная их задача — деформация меди и «вырывание» загрязнений из углублений.



Рис. 6. Оборудование гидроабразивной (пемзовой) зачистки

Химическая подготовка поверхности

Метод химической подготовки гарантирует отсутствие механических повреждений элементов рисунка. И для прецизионных ПП является практически безальтернативным. Правда, следует оговориться, что под термином «химическая подготовка» подразумевается структурное микротравление. За счет интенсивного растравливания межкристаллитных промежутков только этот способ химической подготовки формирует оптимальную шероховатость, достаточную для обеспечения высокой адгезии фоторезистов. Обычное микротравление (например, персульфатное) не создает нужной шероховатости (рис. 7).

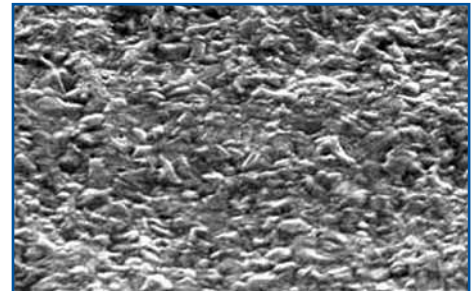


Рис. 7. Шероховатость поверхности меди после персульфатного микротравления

До последнего времени единственными процессами структурного микротравления на рынке были процессы подготовки поверхности фирмы МЕС (рис. 8).

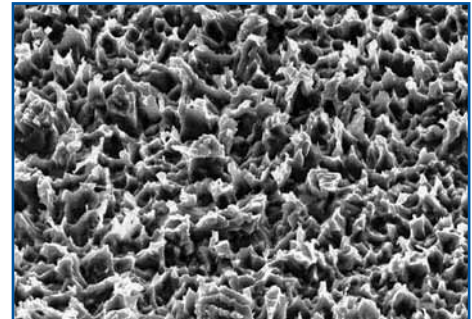


Рис. 8. Шероховатость поверхности меди после обработки составом MecEtchBond CZ 8100 фирмы МЕС

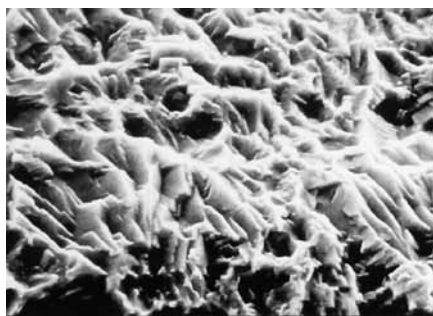


Рис. 9. Шероховатость поверхности меди после обработки составом Circuposit Etch 3330 фирмы DOW

В настоящее время фирма DOW предлагает состав для подготовки поверхности Circuposit Etch 3330, который обеспечивает хорошо развитую шероховатость (рис. 9) и обладает следующими преимуществами:

- поставляется и корректируется в виде концентратов, что обеспечивает экономичный расход;
- имеет низкую удельную стоимость в состоянии поставки;
- универсален в применении (годится как для подготовки под СПФ, так и под паяльную маску);
- для формирования этого адгезионного покрытия используется стандартное конвейерное оборудование для химической подготовки поверхности (рис. 10).



Рис. 10. Оборудование для химической подготовки поверхности

Еще раз повторю, что метод химической подготовки следует считать наиболее подходящим для изготовления ПП с прецизионным рисунком. Однако он требует очень аккуратного обращения. В процессе обработки стравливаются большие объемы материала (меди), поэтому необходимо очень внимательно и четко отслеживать режимы обработки и составы растворов по концентрации отдельных компонентов, плотности и уровню pH. Особенно это критично при обработке ПП на стадии, когда уже имеется металлизация в отверстиях, в первую очередь при позитивном процессе. При позитивном процессе резист наносится на гальваническую затяжку (толщиной всего 5–7 мкм) еще до основной гальванической металлизации; и поэтому при неоптимальных режимах химической подготовки его толщина может

существенно уменьшаться, вплоть до образования непрокрытых в отверстиях.

При химической подготовке ПП с металлизированными отверстиями (формирование рисунка наружных слоев, слоя паяльной маски) необходимо строго контролировать скорость микро травления на уровне не более 0,8–1,0 мкм за один проход. При этом не рекомендуется повторная обработка. Целесообразно увеличивать толщину гальванической металлизации с учетом стравливаемой при последующих подготовках меди (в зависимости от числа химических подготовок в последующем технологическом маршруте).

Адгезионная подготовка перед прессованием

Прочность сцепления поверхности медного рисунка внутренних слоев с материалом диэлектрика при прессовании — одно из важнейших условий изготовления МПП, определяющих надежность такой платы и ее стойкость при технологических и эксплуатационных воздействиях в течение всего жизненного цикла. Для повышения прочности сцепления поверхности проводников внутреннего слоя с материалом диэлектрика применяют операции, позволяющие различными путями увеличить удельную поверхность меди за счет развития микрорельефа. При прессовании под воздействием температуры и давления расплавленная смола препрега затекает в углубления микрорельефа медной поверхности, обеспечивая после отверждения получение единого монолита. Кроме того, учитывая низкую физическую адгезию эпоксидной смолы к металлической меди, целесообразно наносить промежуточный (адгезионный) слой, обладающий повышенной адгезией к металлической меди с одной стороны и эпоксидной смоле с другой. Для этого в течение ряда лет применялся процесс оксидирования меди. На практике в ходе оксидирования на поверхности меди образуется смесь закиси меди (Cu_2O) красно-коричневого цвета и окиси меди (CuO) черного цвета. Соотношение обоих оксидов в смеси будет зависеть от таких параметров техпроцесса, как температура, время обработки, соотношение окислительного и щелочного компонентов. Получаемый в результате цвет оксидированной поверхности будет различным (рис. 11).

Оксидные слои отличаются друг от друга не только по окраске, но и по таким параметрам, как:

- толщина слоя;
- кристаллическая структура;
- адгезия к диэлектрику.



Рис. 11. Бронзовый, коричневый и черный оксид

Глубина цвета оксида свидетельствует об увеличении толщины оксидного слоя. При этом при переращивании кристаллов черного оксида возникает характерное явление ломкости кристаллов. Визуально данный тип оксида не отличается от черного, но если потереть по поверхности такого оксида кусочком белой ткани, она окрасится в черный цвет. Вот почему такой оксидный слой называется «черный мел», он имеет очень рыхлую структуру. При прессовании кристаллы данного оксидного слоя ломаются и плохо сцепляются со смолой препрега, что приводит к нарушениям связи между слоями. Работая по режиму получения черного оксида, мы не застрахованы от того, что при определенных соотношениях окислителя и щелочи в растворе не создадутся условия, благоприятные для образования оксида «черный мел».

Кроме того, как выяснилось, оксидное покрытие имеет еще один существенный недостаток, получивший название «розовое кольцо» (рис. 12).



Рис. 12. Внешний вид эффекта «розового кольца» из IPC-A-600

Этот эффект проявляется уже на готовой плате, но возникает на операциях подготовки плат перед химической металлизацией. Кислые растворы предварительной обработки воздействуют на оксидные слои, выходящие в торец сквозного отверстия. Если оксидный слой подтравливается, то вокруг отверстия образуется розовое кольцо — обнажившаяся медь. На готовой плате это выглядит как более светлая область вокруг контактной площадки (КП) по сравнению с темной оксидированной поверхностью (на полигонах это действительно кольцо). Растворимость в кислотах различных типов оксидного слоя практически одинакова, однако за счет уменьшения толщины слоя возможность проникновения кислых растворов и, следовательно, вероятность появления эффекта «розового кольца» в ряду оксидов — «черный мел» > «черный» > «коричневый» > «бронзовый» — существенно снижается от начала к концу перечня.

Следует отметить, что на возможность проникновения кислых растворов в значительной степени влияют операции сверления и прессования. Неправильно подобранный режим прессования, недостаточная текучесть смолы препрега способны вызвать нарушения связи между оксидированной поверхностью внутреннего слоя и материалом диэлектрика, то есть появление пустот между слоями. Если пустоты имеют выход в отверстия, то создается дополнительная возможность для проник-



Рис. 13. Внешний вид слоев с органо-металлическим адгезионным покрытием Circubond фирмы DOW

новения кислых растворов и возникновения эффекта «розового кольца». Некачественная сверловка отверстий может приводить к выкрашиванию смолы, граничащей с оксидированной медной поверхностью, что также способствует проникновению кислых растворов и появлению «розового кольца».

В IPC-A-600 [5] в части эффекта «розового кольца» написано следующее: «Свидетельство того, что «розовые кольца» влияют на функционирование (платы), нет. Чрезмерное присутствие «розовых колец» может рассматриваться как индикатор неудовлетворительного качества реализации технологических процессов, но не является неприемлемым. Главное внимание должно быть уделено контролю за адгезией слоев, очистке и кондиционированию отверстий».

В связи с появлением на рынке новых альтернативных адгезионных покрытий существенно снизилась острота и актуальность проблемы «розового кольца». Новые процессы формирования адгезионного покрытия предлагают структурированную микротравлением медную поверхность обрабатывать органическим антиоксидантом, образующим органо-металлическое соединение с наружным слоем атомов меди, что значительно увеличивает сцепление со смолой в процессе прессования. Одним из примеров такого покрытия является процесс Circubond фирмы DOW (рис. 13).

При нанесении адгезионные покрытия имеют некоторую неравномерность цвета по площади, особенно заметную на больших

полигонах. На внутренних слоях при просмотре сквозь слой смолы во время приемосдаточных испытаний эта неравномерность цвета может быть принята за непропрессовку, хотя таковой не является. Рекомендуется после изготовления поперечных шлифов, подтверждающих отсутствие расслоений, создавать образцы внешнего вида, утвержденные в установленном порядке.

Процесс Circubond выполняется на стандартном оборудовании для химической подготовки, внешне не отличающемся от представленного на рис. 10.

Еще в 2006 году под руководством д. т. н. Ф. П. Галецкого проведены исследования [1], подтверждающие целесообразность перехода на органо-металлические покрытия для адгезионной подготовки слоев перед прессованием с учетом их неподверженности эффекту «розового кольца» и более высокой по сравнению с оксидами стойкости к термоударам (таблица).

Для сравнения в таблице приведены данные по адгезионной прочности после пемзовой обработки, персульфатного микротравления и адгезионная прочность после прессования фольги с заводским адгезионным слоем.

Выводы

Учитывая, что обеспечение адгезии на различных этапах технологического процесса является важнейшей задачей, позволяющей в полной мере реализовать надежностные характеристики ПП, и особенно ПП с пре-

Таблица. Сравнительные характеристики прочности сцепления различных видов адгезионных покрытий слоев и смолы до и после термоудара

№ п/п	Тип адгезионного слоя	Адгезионная прочность, г/3 мм		Уменьшение адгезионной прочности после термоудара, %
		До термоудара	После термоудара	
1.	Circubond	320	270	16
2.	Bond Film	220	185	16
3.	Бронзовый оксид	200	80	60
4.	Коричневый оксид	250	175	30
5.	Черный оксид	220	140	36,4
6.	Черный мел	165	40	75,8
7.	Пемзовая обработка	50		
8.	Персульфатное микротравление	80		
9.	Адгезионный слой фольги в состоянии поставки	400		

цизионным рисунком (6–7 класс точности по ГОСТ ГОСТ 53429–2009), можно сделать следующие выводы:

1. Химическая подготовка (структурное микротравление) — это наилучший инструмент для изготовления прецизионного рисунка печатных плат с точки зрения обеспечения адгезии СПФ и ПМ. Однако он требует очень взвешенного технического решения о применении и очень аккуратного технологического обращения (обладает достаточно узким технологическим окном).
2. Внедрение органо-металлического покрытия слоев перед прессованием (взамен оксидирования или других методов подготовки поверхности) существенно повышает надежность МПП, а также стойкость МПП к технологическим и эксплуатационным воздействиям.

Литература

1. Галецкий Ф., Лейтес И., Петров Л., Николаева Е. Сравнительный анализ адгезионных слоев // Производство электроники: технология, оборудование, материалы. 2006. № 7.
2. Лейтес И. Альтернативные методы изготовления печатных плат // Производство электроники: технология, оборудование, материалы. 2008. № 2.
3. ГОСТ 53429–2009. Платы печатные. Основные параметры конструкции.
4. ГОСТ 53432–2009. Платы печатные. Общие технические требования к производству.
5. IPC/ANSI-A-600 Acceptability of Printed Boards.