

Использование техники прямого формирования рисунка при изготовлении прецизионных многослойных печатных плат

Продолжающаяся миниатюризация корпусов микросхем в сочетании с увеличением числа выводов приводит к появлению микросхем с мелким шагом, для коммутации которых необходимы многослойные печатные платы с прецизионным рисунком (HDI МПП). Изготовление HDI МПП невозможно без использования техники прямого лазерного экспонирования и прямого формирования рисунка. Цель статьи — систематизированно рассмотреть эти виды технологий как комплексные составляющие процесса изготовления HDI МПП.

Илья Лейтес

leytes@nicevt.ru

Стремление к уменьшению размеров микросхем вызывает актуальную потребность изготовления коммутационных плат с прецизионным рисунком. Это подтверждается выпущенным недавно ГОСТ 53429-2009, согласно которому введены дополнительные классы 6 и 7 с характеристиками линия/зазор 75/75 и 50/50 мкм соответственно. Такой уровень прецизионности возможен только при использовании методов прямого формирования рисунка. Кроме того, эти методы позволяют существенно сократить технологический процесс и избавиться от части технологической оснастки.

Техника изготовления МПП может быть представлена как последовательное формирование рисунков либо аддитивным методом (необходимые субстанции добавляют на свободное место), либо по методу известного скульптора (убирают все ненужное из сплошной субстанции: субтрактивный метод, метод вычитания). Традиционно для этого используется ряд технологических инструментов: фотошаблоны, трафареты, различного рода масочные устройства, либо применяются технологии ручного селективного формирования.

Для примера рассмотрим, какой же инструментарий необходим для изготовления МПП:

1. Фотошаблоны (ФШ) формирования рисунков слоев проводников — 2 шт. (минимально — для двухслойных ПП; для МПП — в соответствии с количеством слоев).
2. Программа сверления сквозных отверстий.
3. Фотошаблоны формирования рисунка слоев паяльной маски — 2 шт.
4. Фотошаблоны формирования рисунка трафарета маркировки — 2 шт.
5. Трафареты формирования рисунка маркировки — 2 шт.

Таким образом, для изготовления одного типа узла традиционной техникой печатного монтажа необ-

ходимо как минимум девять инструментов (только один из которых носит виртуальный характер — см. п. 2). По-видимому, не нужно анализировать тезис, что в условиях производства (особенно многономенклатурного) необходимость в таком количестве материальной оснастки вызывает множество организационно-технических проблем, связанных с техпроцессом ее изготовления, аттестации, воспроизводства, контроля, а также с учетом и минимизированием дефектов, которые она вносит в конструкцию узлов печатного монтажа.

Проблема прямого формирования рисунка (в широком толковании) может быть в этой связи сформулирована как способ максимального переноса инструментария и оснастки в виртуальную область. То есть прямое формирование рисунка методологически есть способ формирования рисунков в технике печатного монтажа с помощью виртуальных инструментов и оснастки. В комплексе описываемый метод обладает при существенно более высоких технических возможностях в части разрешения и прецизионности следующими преимуществами по сравнению с фотолитографическим методом:

1. Отсутствуют (перестают быть необходимыми) следующие техпроцессы:
 - изготовление фотошаблонов;
 - ламинирование (нанесение сплошных слоев фотоформируемых резистов); экспонирование; проявление (только для прямого формирования рисунка струйным принтером).
 - А значит, становится ненужной связанная с ними инфраструктура (оборудование, производственные площади, инженерное обеспечение, материалы, экологическое обеспечение).
2. Можно использовать жидкий резист, имеющий существенно лучшую адгезию.

Примечание. Перечисленное далее — только для прямого формирования рисунка струйным принтером:



Рис. 1. Установка прямого лазерного экспонирования фирмы Limata



Рис. 3. Принтер прямой струйной маркировки

3. На пробельных местах не было резиста и, следовательно, нет его остатков и проблем, связанных с этим явлением.
4. Резист однокомпонентный и не содержит растворителя. Полимеризация происходит полностью и сразу после нанесения каждой капли засвечиванием маломощной УФ- или ИК-лампой, расположенной на струйной головке. Отсутствует перегрев, пузыри.
5. Малый расход резиста и большой срок жизни после заливки в расходный резервуар установки, так как резист однокомпонентный.
6. Отсутствует запах (недостаток жидких резистов), так как неполимеризованным в процессе нанесения бывает очень небольшое количество резиста, находящееся кроме того в закрытой зоне.
7. Снижены требования к обеспыливанию помещения.
8. В связи с высокой оперативностью нанесения описываемый способ удобен для многономенклатурного производства, возможна многократная литография, можно наносить штрих-коды с индивидуальной информацией по каждой заготовке.
9. Совмещение можно производить по рисунку (для рисунка паяльной маски и маркировки) без помощи баз.
10. При использовании Ni/Au (ENIG) покрытия отверстий можно наносить паяльную маску на поверхность контактных площадок, не заботясь о покрытии канала металлизированного отверстия (псевдотентирование).

Вообще, процесс создания прецизионного рисунка коммутационной платы можно разделить на несколько этапов:

Этап 1.

Формирование рисунка в фоторезисте

Формировать рисунок в фоторезисте можно двумя способами: методом прямого экспонирования и методом прямого формирования рисунка фоторезиста.

Прямое экспонирование (рис. 1) проводится узким лазерным лучом и позволяет обеспечить прецизионность рисунка до 20/20 мкм.

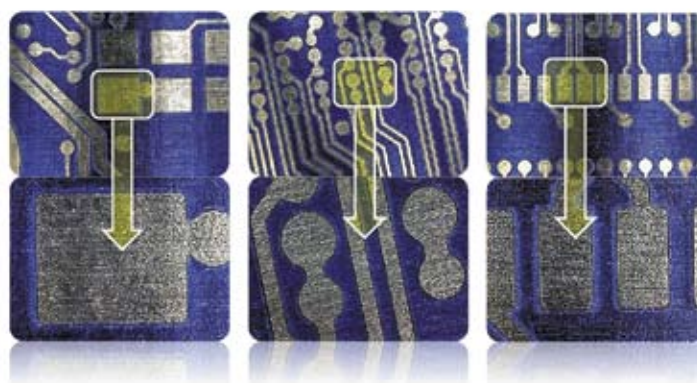


Рис. 2. Лазерное прямое экспонирование рисунка фоторезиста (после проявления)

До последнего времени развитие техники лазерного прямого экспонирования сдерживалось необходимостью применения специальных фоторезистов. Однако после усовершенствования источников излучения, имеющих спектр, близкий к спектру ртутных ламп, которые входят в состав традиционных устройств экспонирования через фотошаблоны, стало возможным использовать для прямого экспонирования стандартные универсальные фоторезисты (рис. 2).

Таким образом, прямое лазерное экспонирование кроме повышения прецизионности позволяет сократить техпроцесс, при этом из традиционной последовательности операций исключается изготовление фотошаблонов. Прямое лазерное экспонирование можно также использовать для формирования рисунка паяльной маски.

Метод прямого формирования рисунка фоторезиста методом струйной печати (jet-технология, рис. 3) дает возможность еще более сократить технологический процесс изготовления печатной платы, исключив из каждого этапа фотолитографического формирования рисунка еще две операции: экспонирование и проявление. При этом на операции нанесения фоторезиста вместо нанесения сплошного слоя фоторезиста происходит фор-

мирование рисунка методом печати струйным принтером.

В результате этого процесса прецизионность рисунка определяется минимальным размером капли, наносимой принтером, и ореолом разбрызгивания, определяемым свойствами наносимого материала, который в данной технологии не требует избирательных фоточувствительных (фоточувствительных) свойств, а является исключительно и только резистом (материалом, защищающим от воздействия травильного раствора, расплавленного припоя и т. п.).

И если технические возможности принтеров, заимствованные из полиграфии, существенно превышают требуемое в технике HDI печатных плат разрешение, то наличие технологических материалов с адекватными свойствами сдерживает развитие этой технологии, особенно в части формирования рисунка паяльной маски и травильного резиста.

Для нанесения рисунка маркировки (которой является наименее точным, наименее прецизионным в структуре МПП слоем, рис. 4) в последнее время на рынке специализированного технологического оборудования (СТО) появилось несколько принтеров для маркировки (Microcraft, Miva, Camtek и т. д.). Краски

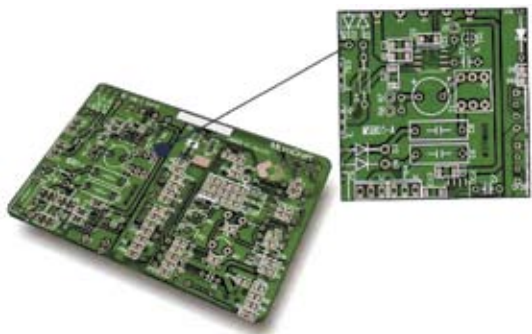


Рис. 4. Рисунок маркировки, нанесенный струйным принтером



Рис. 5. Установка прямого формирования рисунка паяльной маски фирмы Camtek



Рис. 6. Установка прямого формирования рисунка травильного резиста струйным принтером фирмы Lunarix

для принтерной маркировки выпускают такие известные фирмы, как Agfa, Tayo и др., что существенно увеличило привлекательность этого оборудования у пользователей. При

этом существуют две разновидности этой технологии: когда полимеризация происходит после нанесения каждой капли специальным ИК-источником, встроенным в печатную го-

ловку, или когда полимеризация происходит после завершения цикла нанесения краски в нагревательной печи.

Количество принтеров паяльной маски, представленных на рынке СТО, существенно меньше. Один из примеров можно увидеть на рис. 5.

Автор знает лишь об одном принтере травильного резиста (по крайней мере, только один был представлен на последней «Продуктронике», рис. 6). По-видимому, это связано с существенными технологическими трудностями при создании адекватных расходных материалов, приспособленных для нанесения струйной печатью.

Следует отметить, что возможность создания прецизионного рисунка является комплексной задачей и кроме формирования рисунка в фоторезисте включает еще этап прецизионного травления (второй по важности в технологии HDI МПП).

Этап 2. Травление прецизионного рисунка

Этот этап имеет две основные особенности.

1. Для проводников прецизионного рисунка важен фактор травления. Трапециевидная форма сечения прецизионного проводника при малом факторе травления существенно снижает площадь поперечного сечения, увеличивая погонное сопротивление проводника и снижая эффективность передачи сигнала (рис. 7, 8).
2. Из-за малых площадей поверхности прилегания резистивного материала для пре-

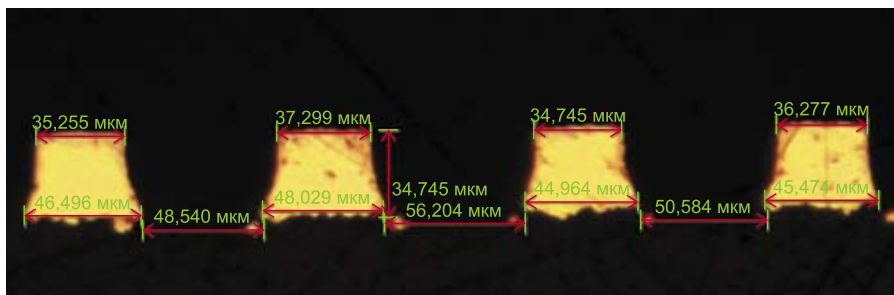


Рис. 7. Прецизионное травление рисунка с параметрами линия/зазор 50/50 мкм на меди толщиной 35 мкм и фактором травления 6

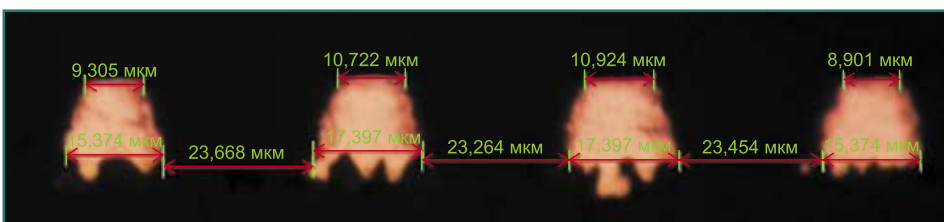


Рис. 8. Прецизионное травление рисунка с параметрами линия/зазор 20/20 мкм на меди толщиной 17 мкм и фактором травления 6



Рис. 9. Шероховатость поверхности меди после структурного микротравления (процесс фирмы MEC)

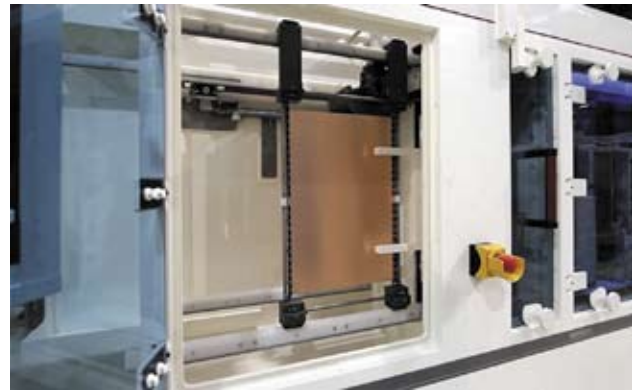


Рис. 10. Установка прецизионного травления фирмы Schmid

цизионного рисунка проводников особую важность имеет специальная подготовка поверхности меди, обеспечивающая максимальную адгезию фоторезиста. Достаточную адгезию может обеспечить процесс структурного микротравления (рис. 9).

Свои особенности имеет и собственно процесс травления. Во-первых, необходимо обеспечить высокий фактор травления, что позволит получить поперечное сечение, близкое к прямоугольному, и во-вторых, минимизировать «эффект лужи», обеспечивающей минимум разброса по результирующей ширине проводников (рис. 7, 8).

То, что при данном процессе решается очень непростая задача, подтверждает даже внешний вид современного оборудования (рис. 10).

Этап 3. Формирование прецизионных металлизированных отверстий

Третьим аспектом формирования прецизионного рисунка является формирование прецизионных металлизированных отверстий с большим соотношением H/d . Если при соотношении H/d в районе 10:1 основной технологической проблемой была реализация процесса металлизации отверстия и решение гидродинамических вопросов подведения рабочих растворов в глубину отверстия, то при отношении 20:1 и более сложной технической задачей становится формирование и просто неметаллизированного отверстия.

Если говорить о наиболее распространенном методе механического сверления, то это связано в первую очередь с ограниченной длиной рабочей части твердосплавных сверл. Так, у сверл фирмы Union Tool (один из крупнейших производителей сверл для ПП) имеют место следующие соотношения конструктивных элементов:

- для диаметров 0,15–0,2; 0,3–0,4 мм отношение длины рабочей части (L) к диаметру (D) (аналог H/d в ПП) — 20:1;
- для диаметров 0,05–0,12; 0,25 отношение длины рабочей части к диаметру — 18:1.

Аналогичные характеристики и у сверл других производителей (рис. 11).

С учетом толщины накладок и подкладок (технологической части пакета МПП при сверлении) основное соотношение для отверстий, формируемых этими сверлами, может быть не более чем 18:1.

При выборе техпроцесса металлизации кроме возможности реализации основного соотношения необходимо учитывать и характеристику распределения. Ее значение указывается в процентах и численно равно процентному отношению толщины металлизации в глубине отверстия к толщине на входе и на поверхности ПП (хорошим показателем является распределение на уровне 80–85%).

Для реализации требований ГОСТ 23752 и РС А-600 по минимально допустимой величине металлизации (25 мкм), обеспечивающей надежность отверстия при эксплуатационных воздействиях, на входе в отверстие при обеспечении минимально допустимой толщины в середине будет 31–32 мкм меди.

При сверлении отверстия $\varnothing 0,15$ мм (при толщине платы 2,5–2,8 — $H/d = [16-18]:1$) в результате заравнивания на входе отверстия останется менее 100 мкм.

Для формирования HDI-структур, реализующих величины $H/d > 18$, используются специальные технологические приемы, например «двустороннее» сверление, послойное наращивание (SBU), структуры ALIUM (формирование микроотверстий в любом слое). К сожалению, рамки журнальной статьи не позволяют подробно описать эти варианты формирования структур HDI МПП.

Следует отметить, что из-за сложной технологической реализации процесса металлизации отверстий с высоким H/d и связанной с этим высокой вероятностью возникновения

трудно диагностируемых дефектов, влияющих на надежность МПП, из 46 изготовителей МПП в США, сертифицированных на соответствие требованиям стандарта MIL-PRF-31032, только три предприятия готовы изготавливать МПП с $H/d = 15:1$ (max) и всего две компании — с $H/d = 18:1$ (max). Фирмы, предлагающие соотношение выше указанных значений, в этом перечне отсутствуют.

С учетом всего вышесказанного представляется наиболее целесообразной для изготовления HDI МПП, соответствующих требованиям ГОСТ 53429 и ГОСТ 23752, такая последовательность технологических операций, основная идея которой заключается в использовании процесса прямого лазерного экспонирования для формирования рисунка травильного резиста и процесса прямого формирования рисунка паяльной маски и маркировки струйным принтером:

1. Заготовка слоев, склеивающих прокладок и обрезка технологических материалов.
2. Подготовка поверхности структурным микротравлением (специальная технологическая операция).
3. Ламинирование фоторезиста или нанесение жидкого фоторезиста (по традиционному техпроцессу изготовления МПП).
4. Прямое лазерное экспонирование (специальная технологическая операция).
5. Прецизионное травление (специальная технологическая операция).
6. Автоматическая оптическая инспекция — АОИ (по традиционному техпроцессу изготовления МПП).

Примечание. Вышеперечисленные этапы повторяются в соответствии с количеством внутренних слоев МПП.

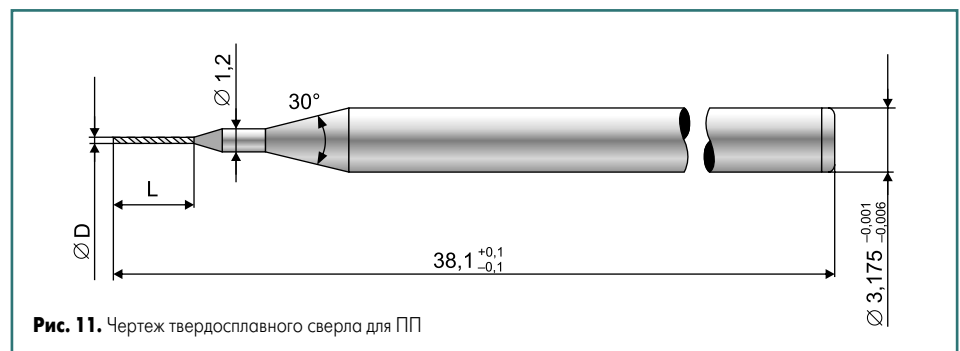


Рис. 11. Чертеж твердосплавного сверла для ПП

7. Формирование пакета МПП (по традиционному техпроцессу изготовления МПП).
 8. Прессование (по традиционному техпроцессу изготовления МПП).
 9. Сверление отверстий (механическое) (по традиционному техпроцессу изготовления МПП).
 10. Подготовка отверстий.
 11. Металлизация отверстий (с высоким H/d — до 20 и распределением не хуже 15%) (специальная технологическая операция).
 12. Подготовка поверхности (см. п. 2).
 13. Ламинирование фоторезиста (см. п. 3).
 14. Прямое лазерное экспонирование (см. п. 4).
 15. Прецизионное травление (см. п. 5).
 16. АОИ (см. п. 6).
Примечание. Приведен вариант «тендинг-процесса». Допустим также позитивный процесс с введением дополнительной операции нанесения металлорезиста и изменением порядка нанесения травильного фоторезиста.
 17. Прямое формирование рисунка паяльной маски струйным принтером (специальная технологическая операция).
 18. Прямое формирование рисунка маркировки струйным принтером (специальная технологическая операция).
 19. Нанесение финишного покрытия (HAL, иммерсионное золото и др.) (по традиционному техпроцессу изготовления МПП).
 20. Электроконтроль (по традиционному техпроцессу изготовления МПП).
 21. Обработка по контуру (фрезеровка) (по традиционному техпроцессу изготовления МПП).
 22. ПСИ (по традиционному техпроцессу изготовления МПП).
- Из указанного перечня исключена часть несущественных заготовительных, заключительных и вспомогательных операций техпроцесса. Максимальное применение техники прямого формирования целесообразно проводить на базе традиционного техпроцесса, так как имеется большое количество традиционных операций. Следует также организовывать его на базе центров компетенции, используя для реализации типовых операций их продвинутую технологическую базу. Такой подход позволил бы существенно сократить затраты на модернизацию и ускорить инновационные процессы на отечественных производственных предприятиях.