

Конструкции и принципы изготовления печатных плат

Печатные платы — основной носитель межсоединений в электронике. И от их совершенства зависят основные характеристики электронных устройств. Технологии печатных плат развиваются вслед за увеличением интеграции элементной базы так, чтобы использовать все ее преимущества в увеличении плотности компоновки электронных узлов и блоков.

**Аркадий Медведев,
д. т. н., профессор МАИ**

Введение

Электроника — наиболее быстро развивающаяся область науки и техники, одно поколение сменяет другое каждые три-пять лет. Меняются и технологии печатных плат, сборки и монтажа компонентов, составляющих основу печатного монтажа. Базовые технологии печатных плат обрастают новыми приемами и операциями, расширяются их возможности за счет использования прецизионного оборудования, более качественных материалов. Международными сообществами (IPC, IEC, EIPC, ISO) создан новый уровень стандартизации, закрепляющий последние достижения техники печатного монтажа, регулярно организуются международные конференции и симпозиумы, издаются тематические журналы и книги.

К определенному моменту объемы производства электронной аппаратуры выросли настолько, что в первую очередь возникла потребность в увеличении производительности технологий межсоединений электронных компонентов, объемы производства которых растут гигантскими темпами. Для удовлетворения этой потребности заимствовали технологию печати из полиграфической промышленности, изделия которой (газеты, книги) за короткое время выпускаются миллионными тиражами. Точность позиционирования знаков в полиграфической многоцветной продукции тоже соответствовала требованиям прецизионности совмещения элементов монтажа в многослойных структурах межсоединений.

Использование печатных плат стало основой высокопроизводительного, экономичного, поддающегося полной автоматизации, массового производства электронной аппаратуры.

Плоское основание печатных плат позволяет:

- использовать процессы полиграфии для формирования токопроводящего рисунка в массовом производстве;
- использовать координатные столы для автоматической установки электронных компонентов;
- использовать высокопроизводительные методы групповой пайки;
- использовать монтажное основание — печатную плату в качестве конструкционного основания электронных узлов и блоков.

Методы полиграфии позволяют:

- реализовать высокопроизводительные методы воспроизводства межсоединений;
- реализовать высокую точность позиционирования элементов печатного рисунка, необходимую для автоматизации сборки и монтажа компонентов;
- обеспечить автоматизацию контроля монтажа за счет большой точности совпадения позиционного положения инструмента контроля (контактов, оптического прицеливания и т. п.) с положением элементов присоединения на печатных платах.

История

Печатные платы имеют гораздо более раннее происхождение, чем полагают обычно. Так, в английском патенте, выданном в 1903 году на имя Хенсона, описывается технология переноса ленточных проводников на диэлектрическое основание [1]. Можно увидеть, что с 1923 по 1939 г. было выдано много патентов, определивших современный облик технологий и конструкций печатных плат [1–3]. Посудите сами, уже тогда были описаны основы технологий печатных плат: штамповка металлической фольги, заполнение металлом рельефа в диэлектрическом основании, полученном различными способами, в том числе и литьем, гальваническое осаждение металла и последующее травление рисунка. Наиболее далеко продвинулась технология травления фольги для изготовления электрических нагревателей. За счет использования технологии печати в США в 1946 году выпускали в смену 5000 миниатюрных бесконтактных взрывателей для снарядов окопных минометов. Приблизительно в то же время в Англии начали изготовление радиоприемников на основе технологии прессования рельефа печатных схем с циклом выпуска 20 с. Но в те годы методы печати схем еще не были востребованы промышленностью.

Несколько позже из-за потребности в массовой электронизации оружия была продвинута в промышленность технология, основанная на использовании избирательного травления фольгированных диэлектрических оснований. Этим был сделан первый шаг к действительно новой технике монтажа: от соединений проводами (от точки к точке) к групповым методам. Из всех перепробованных вариантов изготовления монтажных оснований (различные методы избирательной металлизации, методы переноса, штамповки, чеканки,

прессования и т. п.) именно этот метод субтрактивного травления фольги нашел наибольшее распространение вплоть до наших дней. В российских стандартах этот метод получил официальное название — «химический», в среде технологов его называют «негативным» по виду используемых для этого метода фотошаблонов-негативов.

Уместно упомянуть успехи гитлеровской Германии в производстве радиоприемников на основе печатного монтажа. Автору в студенческие годы приходилось ремонтировать немецкую радиоаппаратуру, так что он знает это не понаслышке. Видимо, для распространения геббельсовской пропаганды нужно было бросить в массы много радиоприемников. И эта массовость обеспечивалась печатными платами.

Существует много альтернативных методов изготовления печатных плат. Все они находят свое применение наряду с традиционными конструкциями плат и процессами их изготовления.

Классификация печатных плат

Печатные платы можно классифицировать разными способами в соответствии с их различными атрибутами. Одна из основных конструкций печатной платы, общая для всех, — это разводка электрических проводников, которые соединяют все устанавливаемые на ней компоненты между собой.

Основная классификация печатных плат

Для формирования проводков существует два основных способа:

- **Субтрактивный.** В субтрактивном процессе ненужная часть медной фольги на подложке вытравливается, при этом нужный рисунок схемных межсоединений остается на своем месте. То есть происходит процесс вычитания (вытравливания лишнего), отсюда происходит название (от англ. subtractive — отнимающий, лишающий).
- **Аддитивный.** В аддитивном процессе формирование рисунка схемы межсоединений выполняется добавлением меди на голую (без медной фольги) подложку нужного рисунка и в нужном месте. Это можно сделать гальваническим покрытием медью, трафаретным нанесением проводящей пасты или укладкой провода с изоляцией на подложку по предварительно определенным трассам (от англ. additive — прибавление).

Классификация печатных плат, приведенная на рис. 1, учитывает все эти факторы, то есть процессы изготовления плат и материалы, применяемые для изготовления оснований. Пользоваться этим рисунком можно следующим образом:

- Столбец 1 показывает классификацию печатных плат по материалу основания.
- Столбец 2 показывает классификацию печатных плат по форме проводящего рисунка.
- Столбец 3 показывает классификацию печатных плат по жесткости их оснований.

- Столбец 4 показывает классификацию печатных плат по методу формирования проводящего рисунка.
- Столбец 5 показывает классификацию печатных плат по числу проводящих слоев.
- Столбец 6 показывает классификацию печатных плат по наличию или отсутствию металлизированных сквозных отверстий.
- Столбец 7 показывает классификацию печатных плат по методу их изготовления.

Диэлектрические основания

Одной из крупных проблем, которые возникают с непрерывным ростом частоты и функциональности компонентов, используемых в компьютерах и средствах связи, является доступность материалов для изготовления диэлектрических оснований печатных плат, которые соответствовали бы предъявляемым требованиям к этой продукции и к этим процессам. Эти требования определяются величиной термомеханических напряжений, создаваемых большим и длительным воздействием температур пайки в процессе монтажа, а также необходимостью согласования коэффициента температурного расширения компонентов и подложки.

В результате исследований были найдены новые органические материалы, а также материалы неорганического происхождения. Подробные сведения об этих материалах приводятся в [1, гл. 6–11], а здесь дается только описание характера двух типов оснований.

Органические основания

Органические основания плат в основном состоят из слоев бумаги, пропитанной фенольной смолой, или слоев тканой или нетканой стеклоткани, пропитанной эпоксидной смолой, полиимидом, эфиром цианистой кислоты, смолой ВТ и т. п. Использование этих подложек обуславливается требованиями к физическим характеристикам печатных плат, таким как рабочая температура, частота или механическая прочность.

Неорганические основания

Неорганические основания плат состоят в основном из керамических и металлических оснований, таких как алюминий, мягкое железо и инвар, с двух сторон покрытых медью. Использование таких подложек обычно продиктовано необходимостью эффективного рассеивания тепла, за исключением случая использования магнитного железа, которое обеспечивает путь магнитному потоку для двигателя привода, например гибкого магнитного диска.

Печатные платы и платы с дискретными проводниками

Печатные платы также можно классифицировать, разделив на две основные категории, исходя из способа их изготовления:

- печатные;
- платы с дискретными проводниками.

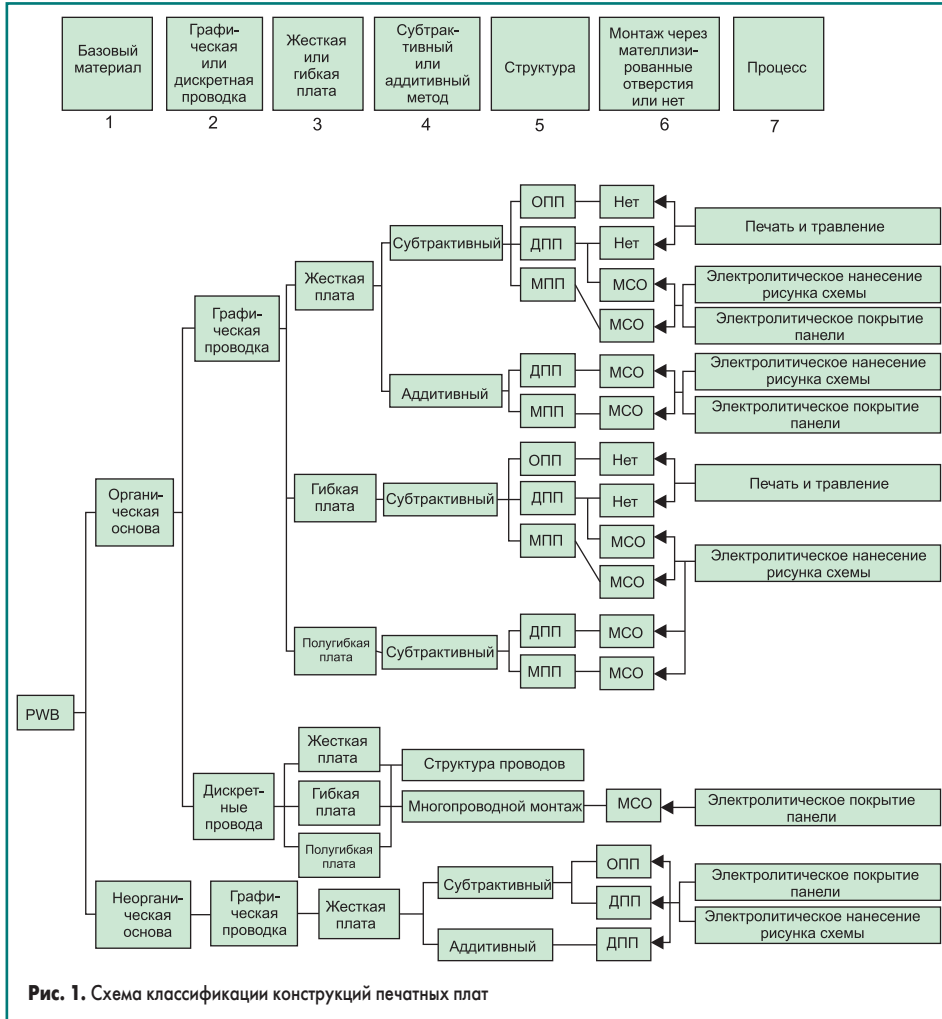


Рис. 1. Схема классификации конструкций печатных плат

Печатные платы

Платы с печатными проводниками являются стандартным вариантом и типом ППП, который всегда представляют себе, когда речь заходит о печатной плате. В этом случае изображение фотооригинала рисунка схемы формируется фотографически на фоточувствительном материале на специально подготовленной стеклянной пластине или полимерной пленке. Затем изображение переносится на печатную плату методом трафаретной печати или фотопечати, которая получается из фотооригинала рисунка схемы. Благодаря скорости и экономии за счет получения фотооригинала с помощью лазерных плоттеров, этот оригинал также может служить рабочим фотошаблоном.

Сегодня можно получать изображение лазером непосредственно на фоторезисте (Laser Direct Imaging, LDI), нанесенном на печатную плату. В этом случае изображение рисунка проводников выполняется лазерным плоттером на фоторезистивном материале без промежуточного этапа изготовления фотошаблона. Это оказывается несколько медленней, чем при использовании фотошаблона, и не применимо к массовой продукции. Но работа в этом направлении продолжается: идет поиск более чувствительных фоторезистов, а также создание более производительных установок фотолитографии. И этот метод, без сомнения, будет совершенствоваться [2].

Платы с дискретными проводниками

Платы с дискретными проводниками (рис. 2) не требуют получения изображения для формирования рисунка проводников. Вместо этого проводники формируются непосредственно на печатной плате с использованием изолированных медных проводов. Наиболее известными технологиями дискретных межсоединений являются Wire-wrap и Multiwire. Один слой такой разводки, с учетом возможности ее пересечений, в состоянии конкурировать с печатной платой, состоящей из многих проводящих слоев, тем самым обеспечивается очень высокая плотность межсоединений. Однако процесс дискретной электропроводки по своей природе является последовательным и не применим для массового производства. Несмотря на этот недостаток, платы с дискретными проводниками используются для некоторых модулей с высокой плотностью монтажа. На рис. 2 представлен пример платы с дискретными проводниками.

Жесткие и гибкие платы

Другой класс печатных плат образуется из жестких и гибких печатных плат. В то время как печатные платы изготавливаются из различных материалов, гибкие платы обычно делаются на полиэфирной и полиимидной основе. Гибко-жесткие платы, являющиеся комбинацией жестких и гибких плат, обычно скрепленных вместе, нашли широкое применение в компоновке электронных схем (рис. 3). Большинство гибко-жестких плат — это трехмерные структуры, которые имеют гибкие части, соединяющие жесткие платы,

на которых обычно монтируют компоненты; такая компоновка эффективна при распределении межсоединений по объему.

Печатные платы

Большинство производимых во всем мире плат изготавливаются с использованием методов печати. Существует три типа печатных плат, отличающихся по количеству уровней разводки проводников:

- односторонние платы;
- двусторонние платы;
- многослойные платы.

Односторонние платы (ОПП)

Односторонние платы имеют проводники только на одной стороне платы, стойкий к травлению защитный слой обычно печатается с помощью технологии трафаретной печати, а рисунок проводников затем формируется травлением ненужной и потому не защищенной от травления медной фольги.

Типичные материалы для односторонних плат

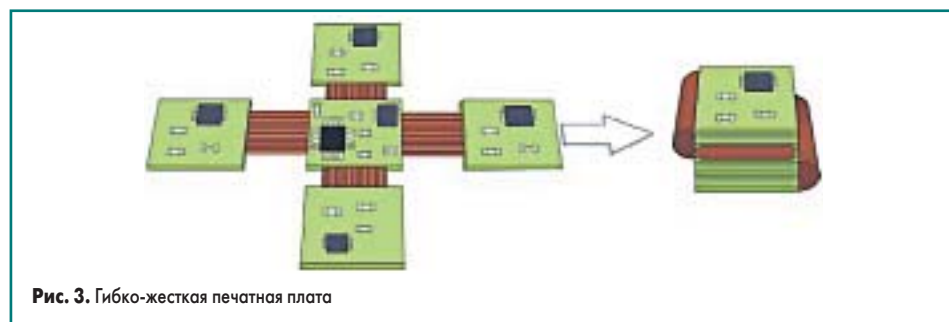
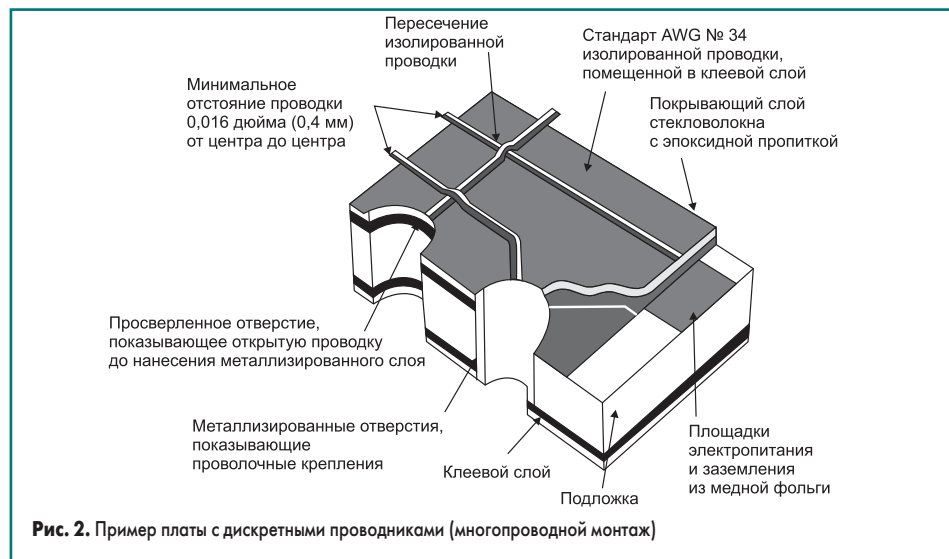
Этот метод изготовления плат обычно используется для недорогих, крупносерийных и относительно низкофункциональных плат. Большинство односторонних плат для меньшей себестоимости изготавливают на бумажной основе (гетинаксе), а наиболее популярной маркой гетинакса является ХРС-FR (Япония), использующий пламегасящий фенольный материал, который легко перфорируется. В Европе наиболее популярной маркой гетинакса является

FR-2, используемый для односторонних печатных плат, потому что он выделяет меньше запаха по сравнению с ХРС-FR при работе при высоком напряжении и в высокотемпературной среде, такой как внутри корпуса телевизора. В США наиболее популярным для односторонних плат является материал СЕМ-1, состоящий из бумаги и стекла, пропитанных эпоксидной смолой. Не такой дешевый, как ХРС-FR или FR-2, СЕМ-1 получил популярность благодаря своей механической прочности. Его применяют и когда использование гетинаксов не вполне допустимо.

Процесс изготовления односторонних печатных плат

При существующем акценте на себестоимость и низкий уровень сложности односторонние платы обычно изготавливаются на высокоавтоматизированных конвейерных линиях печати и травления, используя следующие основные технологические операции:

- Шаг 1. Раскрой листа на заготовки соответствующего размера выштамповкой или нарезкой.
- Шаг 2. Помещение пакета заготовок на погрузчик, который подает их на вход линии.
- Шаг 3. Механическая дезоксидация (зачистка) заготовок.
- Шаг 4. Трафаретная печать стойких к травлению и отверждаемых под воздействием УФ-излучения красок.
- Шаг 5. Отверждение стойкого к травлению рисунка из красок.
- Шаг 6. Травление открытой медной фольги.
- Шаг 7. Снятие защитного слоя красок.



- Шаг 8. Нанесение паяльной маски.
- Шаг 9. Нанесение маркировки трафаретной печатью.
- Шаг 10. Формирование отверстий сверлением или штамповкой.
- Шаг 11. Тестирование на наличие короткого замыкания и обрывов.

Скорость конвейера автоматизированных линий печати и травления — от 10 до 15 м/мин. Некоторые линии оборудованы оперативной оптической проверкой, которая позволяет исключить электрическое тестирование на наличие короткого замыкания и обрывов.

После создания рисунка проводников на линии печати и травления на заготовке формируются отверстия для вставки выводов компонентов — либо групповыми наборными штампами, если заготовка изготовлена из гетинакса, либо сверлением, если заготовка изготовлена из стеклоэпоксидной подложки.

Дополнительные процессы

В некоторых случаях поверхность проводников печатных плат покрывают изолирующим слоем, оставляя открытыми только контактные площадки. А затем трафаретной печатью наносится проводящая паста для формирования дополнительных проводников, тем самым формируется второй проводящий слой на этой же стороне.

Большинство печатных плат с металлической сердцевиной, предназначенных для широкого потребления, изготавливаются на алюминиевом основании, которое поступает в производство в виде фольгированного медью материала. Печатные платы на металлическом основании не могут иметь сквозных отверстий, а все компоненты обычно монтируются на них по технологии поверхностного монтажа. Эти схемы часто формуруются в трехмерные структуры.

Двусторонние платы (ДПП)

По определению, двусторонние платы имеют схемы, расположенные на двух сторонах печатных плат. Существует две категории ДПП:

- без металлизации сквозных отверстий;
- с металлизацией сквозных отверстий.

Категория со сквозными металлизированными отверстиями может быть разбита на два типа:

- металлизированные сквозные отверстия;
- сквозные отверстия, заполненные токопроводящей пастой (с серебром).

Технология металлизации сквозных отверстий

Металлизация отверстий осаждением меди практикуется с середины 1950-х годов. Поскольку основание печатной платы является изолирующим материалом и поэтому непроводящее, то отверстия должны покрываться проводящим слоем до того, как будет выполняться электрохимическое осаждение меди. Обычно процесс предварительной металлизации состоит в катализации отверстий палладием с последующим химическим осаждением тонкого слоя меди. Затем выполняется толстое гальваниче-

ское осаждение меди. Альтернативным методом является металлизация до требуемой толщины с использованием толстослойного химического осаждения меди, которое называют аддитивным осаждением.

Самым крупным изменением процесса производства двусторонних плат с металлизированными отверстиями, а также многослойных плат стало применение технологии прямой металлизации [3]. Проще говоря, это устраняет необходимость процесса химического осаждения меди. Стенка отверстия становится проводящей за счет осаждения палладиевого катализатора, углерода или полимерной проводящей пленки, после чего слой меди нужной толщины осаждается гальванически. Устранение химического меднения, в свою очередь, позволяет избавиться от использования вредных для окружающей среды химикатов, таких как формальдегид и EDTA — двух основных компонентов раствора химического меднения.

Технология серебрения сквозного отверстия

Платы с посеребренными отверстиями обычно изготавливаются из гетинаксов или из композиции — пропитанной эпоксидной смолой бумаги и стекломатов, такой как CE-1 или CE-3. После того как фольгированные с двух сторон диэлектрики протравлены для формирования токопроводящего рисунка на обеих сторонах, просверливаются отверстия. Затем на заготовку трафаретной печатью наносится проводящая паста с серебряным наполнителем. Вместо серебряной можно использовать медную пасту, что явно хуже.

Поскольку платы с серебрением имеют относительно высокое электрическое сопротивление по сравнению с металлизацией сквозных отверстий, то область применения плат с серебрением отверстий ограничена. Однако благодаря их экономическим преимуществам (стоимость плат с серебрением обычно составляет от одной до двух третей функционально эквивалентных им плат с металлизацией сквозных отверстий) их использование распространилось на мелкосерийные, недорогие изделия, такие как макеты плат для проверки проектных решений, для аппаратуры, не имеющей массового применения, и т. п.

Многослойные платы (МПП)

По определению МПП имеют три или более слоев проводников (рис. 4). Основное использование многослойных плат ограничивается сложной промышленной электронной продукцией. Теперь, однако, они являются господствующими во всех электронных устройствах, включая товары широкого потребления, такие как портативные видеокамеры, сотовые телефоны, проигрыватели аудиодисков и др.

Число слоев

По мере того как персональные компьютеры и рабочие станции становятся все более мощными, многопользовательские компьютеры и суперкомпьютеры заменяются для многих

приложений этими небольшими машинами. В результате использования шинного обмена информацией применение очень сложных МПП, содержащих свыше 70 слоев, резко снижается. На другой стороне спектра МПП находятся тонкие многослойные платы с высокой плотностью межсоединений и числом слоев от 4 до 8. Тенденции к снижению слойности и созданию более тонких МПП будут развиваться. Это стало возможным благодаря прогрессу в области материалов и оборудования для обработки тонких материалов.

Переходные отверстия и их технологии

Поскольку, обсуждая выпуск печатных плат, мы не можем не затрагивать проблемы более высокой производительности и плотности монтажа и появления компонентов поверхностного монтажа, которые размещают на обеих сторонах платы, то вынуждены признать, что потребность в увеличении плотности межсоединений между слоями резко возросла. В то же время пространство, доступное для сквозных отверстий, уменьшилось, что привело к использованию все более тонких отверстий, большего их числа и к уменьшению сквозных отверстий из-за напрасной траты пространства на всех слоях. В результате применение внутренних и глухих отверстий стало стандартной частью технологии изготовления многослойных плат, обусловленной потребностью повышения плотности монтажа (рис. 4).

Одной из безотлагательных проблем, возникающих согласно этим тенденциям, является проблема сверления и связанная с ней стоимость этого шага производства. Печатные платы, которые когда-то можно было сверлить в пакете из трех заготовок, теперь должны сверлиться только по отдельности, а количество отверстий на плате возросло. Это создает серьезную проблему для производителей, которые обнаружили, что недостаток средств для сверления отверстий создает большую потребность в фондах для приобретения дополнительных станков, тогда как стоимость сверления продолжает резко возрастать. По этой причине разрабатываются альтернативные методы создания сквозных отверстий. Эта тенденция развивается, а поэтому процесс, описанный здесь, или некоторый его эквивалент, без сомнения, будет приобретать все более важное значение по мере продолжения миниатюризации, а сверление отдельных отверстий становится все менее практичным.

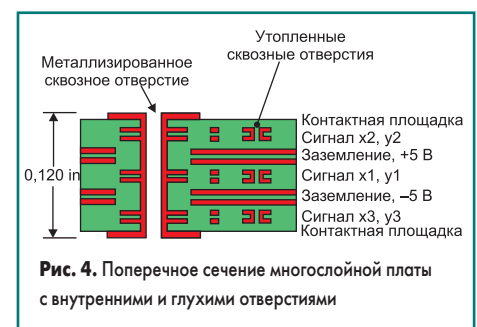


Рис. 4. Поперечное сечение многослойной платы с внутренними и глухими отверстиями

Платы со слоями послойного наращивания

Самая известная технология МПП, развитая для формирования переходных отверстий в поверхностных слоях, выполняется без операций прессования. Процесс изготовления плат с поверхностными слоями состоит в следующем (рис. 5):

1. Изготавливается основание с внутренними слоями «земли» и питания.
2. Заготовка подвергается обработке для улучшения адгезии — оксидации.
3. Заготовка покрывается изоляционным слоем фоточувствительного полимера на установке трафаретной печати или занавесом.
4. Отверстия формируются методами фотолитографии.
5. Заготовка металлизруется обычным методом активации и химического осаждения или прямым процессом металлизации.
6. Затем осаждается более толстый слой меди, что является продолжением химического меднения методом гальванической металлизации.
7. Рисунок схемы формируется с использованием тентинг-процесса.

Процесс DYCOstrate

Оригинальный процесс выполнения тонких отверстий был использован фирмой Dусonex AG из Швейцарии. По этому процессу после того, как изготовлено основание со слоями «земли» и питания, заготовка оксидируется и покрывается фольгированным полиимидом. Далее выполняются отверстия в медной фольге: полиимид вытравливается с помощью плазмы. Печатные платы, сделанные таким способом, называют DYCOstrate.

В другой, подобной технологии используются различные диэлектрические материалы с травлением в крепких щелочах. Остальная часть процесса подобна предыдущему процессу, то есть заготовка с отверстиями металлизруется и рисунок схемы выполняется тентинг-методом (рис. 5).

Сверление глухих отверстий

Как в послойном наращивании, так и в процессе DYCOstrate, сквозные отверстия могут быть выполнены традиционным сверлением с последующим нанесением металлических покрытий.

Сравнение стоимости

Стоимость производства плат с послойным наращиванием не обязательно меньше, чем обычная технология МПП, при которой проводится еще одна операция — прессования. Однако, так как стоимость создания стандартных отверстий в плате может достигать до 30% от полной стоимости производства, а создание отверстий в этих процессах сравнительно недорого, то суммарные затраты могут быть меньше при аналогичной функциональности

плат. Кроме того, тонкие линии в этом процессе воспроизводятся гораздо лучше. Например, обычные восемь слоев МПП могут уложиться в структуру с четырьмя слоями, что уменьшает общую стоимость платы с той же плотностью межсоединений.

Рельефные конструкции межсоединений

Технология трехмерных схем вызывает огромный интерес с начала 1980-х годов. Странники использования этой технологии, однако, осознают ошибочность попыток сделать ее прямым конкурентом традиционным плоским схемам и подготовили нишу, в которой такая подложка обеспечивает другие функциональные области применения, такие как опорная конструкция изделия.

Изготовители трехмерных схем предпочитают называть их формованными устройствами межсоединений (molded interconnection devices, MED). Во многих областях применения MED число соединяемых компонентов может быть уменьшено, что приводит к снижению суммарной стоимости сборки и повышению надежности конструкции.

В России эта разновидность печатных плат получила название «рельефные». Хорошая наполненность рельефа металлом создала им преимущество в обеспечении кондуктивного теплоотвода. Тем не менее они не получили широкого применения из-за сложности формирования рельефа методом фрезерования и трудностей в формализации технологии, что делает ее искусством «левши».

Технологии металлизации сквозных отверстий (МСО)

В 1953 г. корпорация Motorola разработала оригинальный процесс соединений с внутренними слоями МПП через металлизацию сквозных отверстий. Поверхность диэлектрика и стенки отверстий, не имеющие проводящих покрытий, сенсбилизируются с помощью SnCl_2 и металлизуются распылением серебра из двухсплового распылителя. Затем на заготовку трафаретной печатью наносится рисунок, являющийся негативом по отношению к схеме межсоединений; используют для этого стойкие к травлению краски, оставляя

будущие дорожки проводника незакрашенными. Затем на заготовку методом гальванического осаждения наносится медь. В завершение стойкую к травлению краску и серебряный подслои удаляют и получают печатную плату с металлизированными отверстиями. Одна из проблем, связанная с использованием серебра, — это миграция остатков серебра между медными проводниками. Этот метод металлизации плат был предвестником полуаддитивного процесса.

Затем стали приобретать популярность фольгированные диэлектрики. Производители печатных плат использовали этот двухэтапный каталитический процесс для металлизации сквозных отверстий с помощью фольгированных диэлектриков. Этот процесс, однако, оказался несовместимым с медной поверхностью. Множество черных частиц палладия, разбросанные при катализации, осаждаются между фольгой и гальванической медью, что приводит к плохой адгезии между ними. Все эти частицы палладия и химически осажденную медь необходимо отчистить с помощью абразивных материалов, перед тем как начинать выполнение второго процесса — гальванического осаждения. Для преодоления проблемы, вызванной палладиевыми частицами, примерно с 1960 г. исследователи стали разрабатывать улучшенный каталитический процесс; результатом их исследования стали предшественники современного каталитического метода на основе палладия [3].

Субтрактивный и аддитивный процессы

Корпорация Photocircuits была одной из компаний, которые занимались в 1950-х годах разработкой химикатов для процесса металлизации плат. Фольгированные диэлектрики были дорогостоящими изделиями, а большая часть дорогой медной фольги должна вытравливаться (субтрактироваться) для формирования нужного рисунка межсоединений. Инженеры корпорации Photocircuits посвятили себя исследованию осаждения меди (аддитивного процесса) там, где это требовалось, на нефольгированный материал, руководствуясь соображениями экономии материала. Их усилия окупились. Они добились успеха не только в разработке

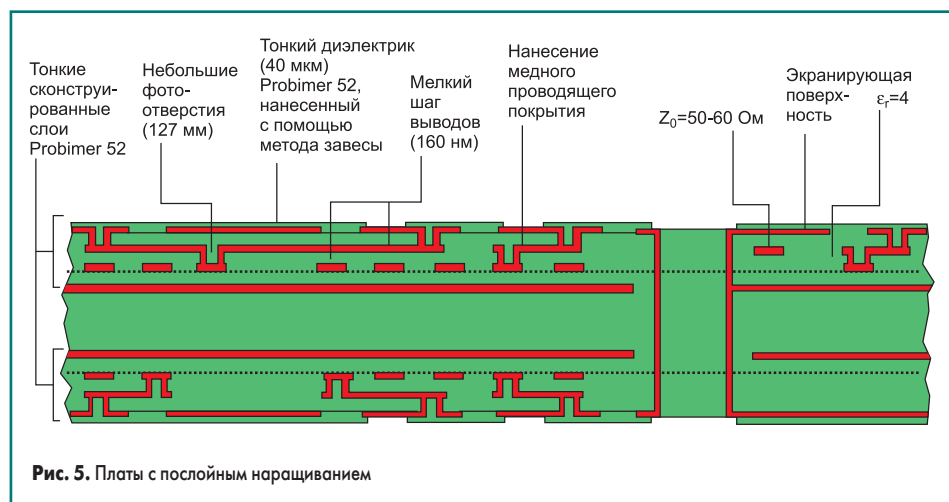


Рис. 5. Платы с послойным наращиванием

важных химикатов для надежного процесса металлизации, но и полностью аддитивной технологии производства печатных плат, известной как процесс СС-4*. Однако попытки освоения этой технологии в России (в частности, на предприятии ОКБ «Алмаз») не увенчались успехом из-за больших трудностей в управлении процессом по многочисленным параметрам и в связи с серьезными требованиями к стабильности свойств и качеству химикатов.

Современный процесс металлизации с помещенным катализатором SnCl₂-PdCl₂ и раствором химического меднения на основе EDTA был разработан в 1960-е годы. Процесс металлизации стенок отверстий с применением этих химикатов для последующего формирования сквозных металлизированных отверстий обычно называют процессом восстановления меди. В субтрактивном методе, который начинается с фольгированного диэлектрика, гальваническая металлизация рисунка или всей поверхности заготовки — два наиболее широко практикуемых пути изготовления плат с металлизацией сквозных отверстий.

Комбинированный позитивный метод (Pattern Plating)

В методе металлизации рисунка проводников сразу после процесса химического осаждения меди выполняется процесс нанесения металлорезиста на рисунок, являющийся негативом по отношению к рисунку проводников. Рисунок наносится трафаретной печатью стойкой к травлению краской с обеих сторон заготовки. В большинстве плат с узкими проводниками вместо краски используется фоточувствительная сухая пленка. В методе гальванической металлизации рисунка проводников существуют небольшие вариации (рис. 6):

1. Катализация (подготовка непроводящей поверхности для стимулирования химического восстановления меди из раствора).
2. Тонкое химическое осаждение меди толщиной 0,25 мкм, за которым следует гальваническая затяжка медью или среднетолщинное химическое меднение толщиной 2,5 мкм.
3. Формирование рисунка проводников (использование фоторезиста в негативе по отношению к требуемой законченной схеме).
4. Окончательное электролитическое осаждение меди толщиной 25 мкм.
5. Осаждение гальванического припоя (в качестве стойкого к травлению металлорезиста) толщиной 5 или 15 мкм.
6. Удаление фоторезиста.
7. Травление меди фольги (+ гальванической затяжки).
8. Удаление припоя травлением для толщины 5 мкм или оплавление металлорезиста для толщины 15 мкм.
9. Нанесение паяльной маски, за которой следует горячее лужение погружением в припой с выравниванием припоя горячими воздушными ножами, если до этого использовался процесс удаления припоя.
10. Заключительные операции и тестирование.

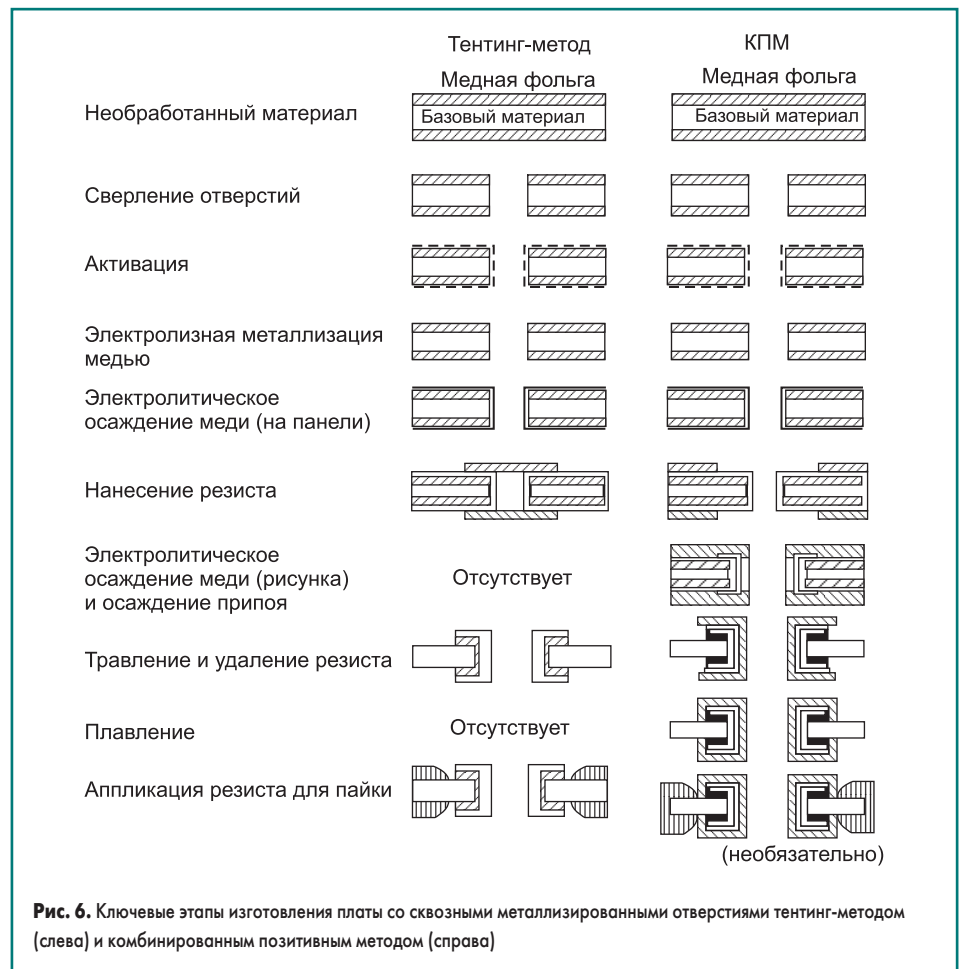
Большинство производителей двусторонних плат с относительно широкими про-

водниками используют толстослойное химическое меднение. Однако тонкая химическая металлизация с последующей гальванической затяжкой предпочтительна для плат, имеющих тонкие проводники, потому что значительная часть поверхности механически зачищается для лучшей адгезии сухого пленочного фоторезиста. Это обеспечивает более высокий уровень надежности плат. Платам, изготавливаемым с оплавлением гальванического припоя, отдавали предпочтение многие потребители, особенно для военного применения и использования в телекоммуникационных устройствах, пока не появилось оборудование для нанесения ровного слоя припоя с выравниванием горячим воздухом. Хотя проводники с припоем поверх меди защищают медь от окисления, платы, изготовленные с оплавлением припоя, имеют некоторые ограничения в использовании. Паяльную маску тяжело накладывать на оплавленный припой, и она может морщиться и отделяться в некоторых местах в тот момент, когда на плату припаивают компоненты. Более серьезной проблемой является образование при пайке перемычек, что происходит, когда ширина проводников и промежуток между ними становятся очень малыми.

На 9-м шаге поверхность полностью, за исключением контактных площадок, покрывается паяльной маской, а затем плата погружается в расплавленный припой и вынимается из него с выравниванием расплавленного припоя на плате струями горячего воздуха, что приводит к ровному покрытию припоем контактных

площадок и стенок отверстий. Сама операция облуживания кажется несложной, но требует постоянной тонкой настройки и обслуживания установки облуживания; в противном случае некоторые отверстия могут оказаться сильно забитыми припоем и потом не смогут быть использованы для установки выводов компонентов.

Одно из преимуществ комбинированного позитивного метода (металлизация рисунка) перед тентинг-методом (общая металлизация) состоит в толщине травления. При металлизации рисунка необходимо травить только медь фольги. Использование ультратонкой медной фольги, которая обычно имеет толщину 4 или 8 мкм, создает большие преимущества. Однако пока используется электролитическая (гальваническая) металлизация, метод металлизации рисунка не может избежать проблемы распределения тока по заготовке, независимо от толщины фольги. Метод общей металлизации поверхности заготовки страдает от той же проблемы, но в меньшей степени. Добиться хорошего распределения тока очень трудно, когда платы не одного размера или типа, а особенно если некоторые из них имеют большие металлические площади на внешней лицевой поверхности, на которой выполняется электроосаждение. Когда плата имеет несколько отверстий в изолированной области, удаленной от основного массива схем, появляется тенденция к переосаждению, что делает вставку выводов компонентов в отверстия затруднительной. Для минимизации этой проблемы распределения тока практикуются различные



контрмеры, такие как специальное положение анода, маскирование анода, агитация раствора (барботаж, покачивание катодов) и экраны. Но ни одна из них не предлагает окончательного решения проблемы распределения тока, и все они чрезвычайно затруднительны для гибкого и эффективного использования в высокопроизводительном производстве, когда в процессе изготовления находится большой ассортимент продукции.

Другое преимущество метода металлизации рисунка состоит в его способности металлизировать микроотверстия без контактных площадок диаметром 0,3–0,4 мм. Микроотверстия позволяют лучше использовать каналы трасс, тем самым увеличиваются возможности для улучшения трассировочной способности плат.

Тентинг-метод (Panel Plating — металлизация заготовки)

В методе общей металлизации заготовки существует две возможности для обработки платы после металлизации до требуемой толщины. При закупоривании отверстий они заполняются щелочной, не поддающейся травлению краской, чтобы защитить стенки отверстий от травления; этот метод используется совместно с трафаретным нанесением краски, защищающей рисунок от травления. В другом методе, названном «накрыть и травить» (или просто тентинг-метод), медь в отверстиях защищается от травления покрытием или завешиванием отверстий сухой пленкой, которая также используется в качестве защитного от травления покрытия для проводников на поверхности заготовки. Упрощенный ряд последовательных операций изготовления плат тентинг-методом приводится ниже (рис. 6):

1. Активация.
2. Тонкое химическое осаждение меди толщиной 0,25 мкм.
3. Гальванопокрытие медью толщиной 25–30 мкм.
4. Закупорка отверстий кислотостойкой краской или сухой резистивной пленкой (фото-резистом).
5. Трафаретная печать защитного покрытия от травления (рисунок межсоединений) или фотолитография заготовки с формированием защитного рельефа фоторезиста для защиты рисунка от травления.
6. Травление меди.
7. Снятие защитного слоя.
8. Нанесение паяльной маски.
9. Горячее облуживание с выравниванием припоя.
10. Заключительные операции и тестирование.

Тентинг-метод идеально подходит для медной, ничем не покрытой платы. Однако этим способом достаточно трудно выполнить глухие отверстия без контактных площадок, которые становятся все более популярными. В общем случае ширина проводника, воспроизводимая этим методом, составляет 0,1 мм, что считается минимально реализуемым для массового производства.

Несмотря на то, что применение тентинг-метода в США и Западной Европе ограничено, примерно 60% плат в Японии производятся именно так.

Аддитивный метод

Металлизированные сквозные отверстия могут формироваться с помощью аддитивного (химического) осаждения меди. Существует три основных способа: полностью аддитивный, полуаддитивный и частично аддитив-

ный. Первый из них предполагает гальванопокрытие рисунка и отверстий по очень тонкому поверхностному слою меди, а два других используют толстослойное химическое осаждение меди. Аддитивный процесс имеет различные преимущества над субтрактивным процессом в формировании тонких проводников и металлизации сквозных отверстий с высоким коэффициентом отношения толщины платы к глубине отверстий.

Заключение

Современная компоновка электроники стала очень сложной. Межсоединения добавляют дополнительные проблемы в нижние уровни компоновки. Выбор того, какую из технологий компоновки использовать, диктуется многими факторами: стоимостью, требованиями к электрическим параметрам, температурному режиму и плотности межсоединений. Материалы также играют очень важную роль. С учетом всех рассмотренных факторов печатные платы все еще имеют особое значение в компоновке электроники.

Литература

1. Печатные платы: Справочник / Под ред. К. Ф. Кумбза. Пер. с англ. Под ред. А. Медведева. В 2-х кн. Книга 1. М.: Техносфера, 2011.
2. Цифровая фотопечать для печатных плат. Печатные платы и покрытия / Информационный бюллетень № 2. М.: ЗАО Предприятие Остек. Март 2011.
3. Лундквист Дж., Медведев А., Салтыкова В. Печатные платы. Системы прямой металлизации // Компоненты и технологии. 2003. № 3.