

Начальный курс производства электроники.

Часть пятая. Гибко-жесткие печатные платы. Процессы изготовления

Аркадий Медведев

Двусторонние гибкие платы с металлизацией отверстий

Для монтажа компонентов со штыревыми выводами можно использовать неметаллизированные сквозные отверстия. Если отверстия нужны еще и для того, чтобы выполнить связь двух сторон платы,

их металлизуют. Технологии изготовления двусторонних и односторонних плат весьма схожи. Однако с металлизацией отверстий связаны некоторые новые производственные процессы либо изменена их последовательность. Схема процесса производства показана на рис. 1.

На рис. 2 показано формирование платы из следующих слоев:

- 25-мкм полиимидная пленка с нанесенной с обеих сторон медной фольгой толщиной 35 мкм при помощи 25-мкм слоев адгезива;
- два защитных покрытия из 25-мкм полиимидной пленки с нанесенным 25-мкм полукрестовленным адгезивом (в стадии В).

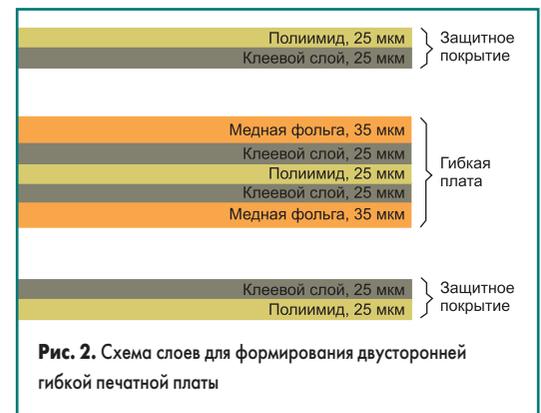
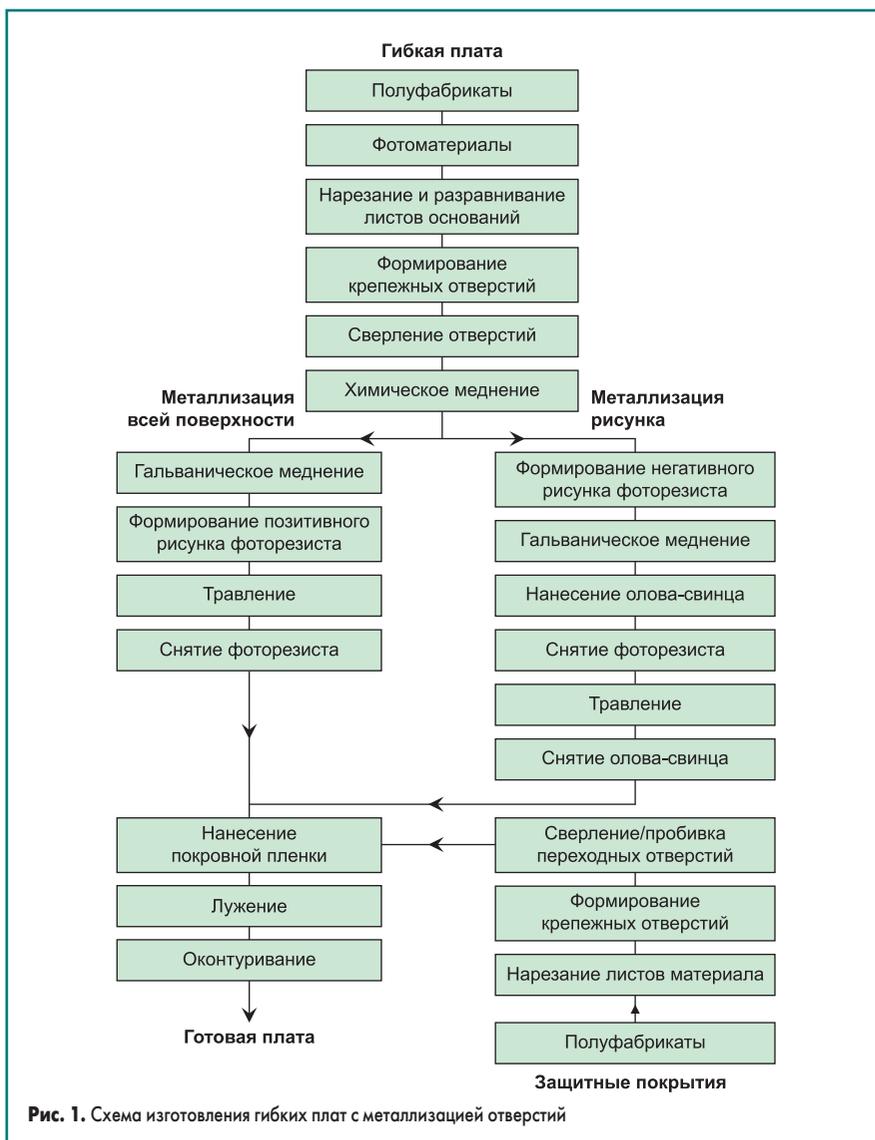


Рис. 2. Схема слоев для формирования двусторонней гибкой печатной платы

Фотоматериалы

На сгибаемых участках плат проводники следует размещать поочередно на обеих сторонах платы (рис. 3).

Если же гибкая плата предназначена для динамичного использования, то ее участки, подверженные изгибу, необходимо выполнять односторонними, с медным слоем на нейтральном уровне.

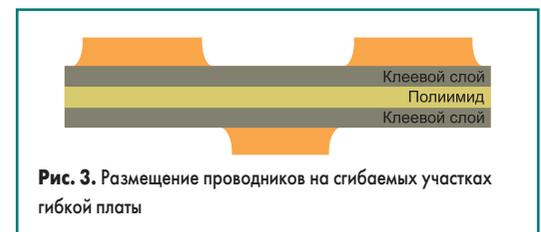


Рис. 3. Размещение проводников на сгибаемых участках гибкой платы

Тем более следует исключить применение сквозных металлизированных отверстий на данных участках.

Нарезание и разравнивание листов оснований проводить в соответствии с [1].

Формирование крепежных отверстий проводить в соответствии с [1].

Сверление переходных отверстий

Для того чтобы обеспечить гладкую поверхность стенок отверстий и, следовательно, их надежность, сверление нужно производить с высокой скоростью резания. Для этого предусмотрено оборудование с ЧПУ, позволяющее с учетом используемых материалов — меди, полиимид и акрилового адгезива — подобрать соответствующие параметры сверления. Во избежание образования заусенцев следует прибегнуть к помощи подкладочных и накладочных материалов. Чтобы ограничить тепловыделение и, как следствие, замазывание стенок отверстий оплавленным адгезивом, надо применять острые сверла.

Пробивку отверстий проводить не рекомендуется, так как при этом возникает риск отслоения медного покрытия с обратной стороны платы.

Химическое меднение

Для успешной металлизации сквозных отверстий предварительно следует удалить заусенцы и произвести очистку отверстий. Очистка отверстий при этом затрудняется возможностью повреждения полиимидного слоя и акрилового адгезива. Поэтому обычно предпочитают плазменную очистку отверстий — посредством ионизированных газов, создаваемых высокочастотным напряжением в камерах с кислородом и фреоном. Органический осадок (пепел), остающийся после плазменной очистки на стенках отверстий, удаляется промывкой плат в резервуаре со слабой щелочью.

Описание процесса химического меднения приведено в [2].

Металлизация всей поверхности

Для металлизации отверстий может быть проведена либо избирательная металлизация по рисунку (комбинированный позитивный метод), либо всей поверхности (тентинг-метод). Более простой способ представляет собой металлизация всей поверхности с последующим формированием рисунка. Для этого на всю поверхность платы, включая отверстия, электрохимически наносят медь.

При этом, однако, необходимо соблюдать отношение общей толщины медного покрытия (фольга и металлизация) и наименьшей ширины проводников, так как при формировании рисунка всегда возникает боковое подтравливание проводников, равное толщине медного покрытия. При коэффициенте подтравливания 1 и наиболее узких проводниках 0,25 мм будет удалено около 50% их ширины:

$$2 \times (35 \text{ мкм медной фольги} + 25 \text{ мкм металлизации}) = 0,12 \text{ мм.}$$

В таких случаях предпочтительна избирательная металлизация рисунка.

Гальваническое меднение

Технология гальванического меднения описана в [2].

Формирование рисунка

Процесс формирования рисунка при использовании тентинг-метода состоит в наслоении пленки фоторезиста на тех участках медного покрытия гибкой платы, которые затем будут проводниками и контактными площадками. Для защиты металлизации сквозных отверстий фоторезист должен образовать крышку на отверстиях, то есть закупорить их пленкой. Данная операция подразумевает использование сухого пленочного фоторезиста (СПФ). Процесс формирования рисунка тентинг-методом включает следующие этапы:

- нанесение пленки фоторезиста на ламинаторе;
- совмещение с фотошаблоном;
- экспонирование;

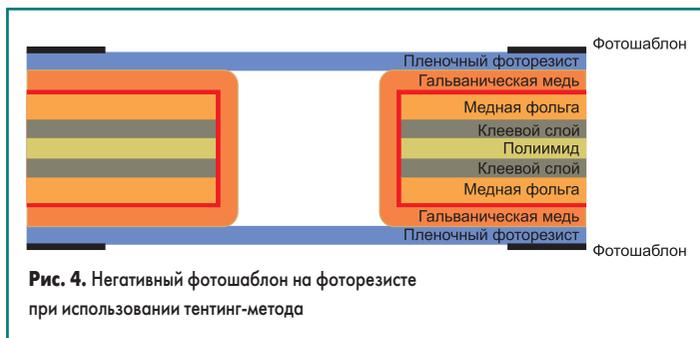


Рис. 4. Негативный фотошаблон на фоторезисте при использовании тентинг-метода

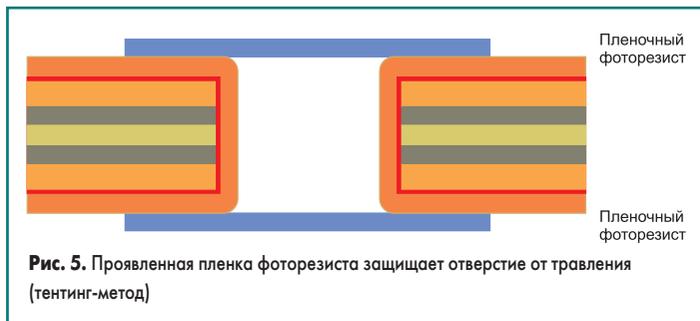


Рис. 5. Проявленная пленка фоторезиста защищает отверстие от травления (тентинг-метод)

- проявление фоторезиста;
- травление рисунка по фоторезисту;
- удаление фоторезиста с проводников.

По тентинг-методу используют негативный фотошаблон, поскольку СПФ негативно чувствителен и под действием УФ-излучения рисунок проводников полимеризуется и после проявления фоторезиста сохраняется на проводниках и отверстиях, защищая их от травления.

На рис. 4 показан фотошаблон, установленный поверх СПФ; на рис. 5 — проявленный рисунок фоторезиста, с обеих сторон защищающий контактные площадки и металлизацию сквозного отверстия.

Травление

Травление производится по технологии, описанной в [1]. Для уменьшения эффекта подтравливания необходимо сокращать время травления, так как после удаления медного слоя травлению будет подвергнут слой акрилового адгезива; к счастью, он устойчив ко многим травильным растворам (рис. 6).

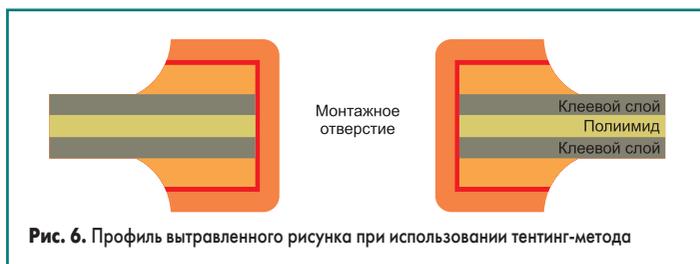


Рис. 6. Профиль вытравленного рисунка при использовании тентинг-метода

Снятие фоторезиста

Процесс снятия фоторезиста травления описан в [2].

Металлизация рисунка

Если изготавливаются прецизионные платы с шириной проводников менее 0,25 мм, то вместо металлизации всей поверхности выполняют металлизацию рисунка (комбинированный позитивный метод). Данный процесс усложняется необходимостью удаления гальванического сплава олова-свинца или олова, наносимых и используемых в качестве резиста травления.

Технология металлизации рисунка описана в [2]:

- сверление отверстий по фольге на станках с ЧПУ;
- химическая металлизация до 0,1–0,4 мкм;
- предварительная электрохимическая металлизация до толщины 4–6 мкм;

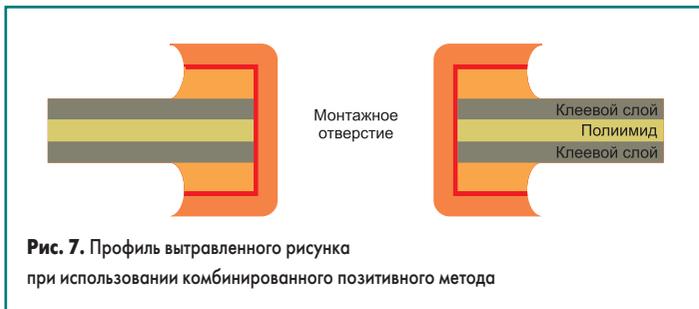


Рис. 7. Профиль вытравленного рисунка при использовании комбинированного позитивного метода

- формирование рисунка фоторезиста;
- электрохимическая металлизация до толщины 25–35 мкм;
- электрохимическое нанесение олова-свинца или олова до толщины 10–15 мкм;
- снятие фоторезиста с пробельных мест рисунка;
- травление пробельных мест;
- снятие металлорезиста (олова-свинца или олова);
- нанесение паяльной маски;
- осаждение финишных покрытий;
- маркировка платы;
- контроль.

Снятие металлорезиста на основе олова-свинца или олова необходимо для предотвращения его оплавления под защитным покрытием при волновой или инфракрасной пайке. Возникающие под маской полости из-за плавления удаленного олова-свинца способны привести к накоплению технологических загрязнений под защитным покрытием. На рис. 7 показана гибкая плата после травления и снятия олова-свинца, подготовленная к нанесению на нее защитного покрытия. По внешнему виду краев контактных площадок на рис. 6 и 7 видно различие двух методов изготовления.

Защитное покрытие

Получение листов защитного покрытия описано в [1]: листы нарезают, снабжают крепежными отверстиями, а затем делают сверление/пробивку отверстий под контактные площадки. С обеих сторон гибкой платы такие отверстия должны быть одинакового размера.

Нанесение защитных покрытий

Наслоение защитных покрытий происходит в ламинирующем прессе [1].

Лужение

Лужение контактных площадок под пайку производят по [1]. Оконтуривание выполняют в соответствии с описанием в [1].

Многослойные гибкие платы и гибко-жесткие платы

Производство гибких многослойных и гибко-жестких плат в основном состоит из уже рассмотренных в [1–4] процессов. По сути, оба этих типа плат представляют собой несколько двусторонних гибких плат с защитным покрытием, склеенных вместе.

Формирование многослойных гибких плат из слишком большого количества гибких плат не рекомендуется по ряду причин (см. далее).

Материалы

Обычно используют следующие материалы.

Диэлектрические основания

Полиимид толщиной 50 мкм. Проще обрабатывается и обладает лучшей прочностью, чем полиимид толщиной 25 мкм.

Медная фольга

35-мкм медная фольга, при условии соответствия ее толщины требуемой электрической нагрузке проектируемой платы.

Защитное покрытие

При использовании 35-мкм медной фольги необходим полиимид толщиной 25 мкм, так как он обеспечивает лучшую инкапсуляцию проводников, чем 50-мкм полиимид.

Для улучшения инкапсуляции и ламинирования платы используют 25-мкм акриловый адгезив. Избыточное его количество, однако, может привести к снижению надежности платы, проявляемому в образовании трещин металлизации стенок отверстий, медных фольг или слишком глубоком подтравливании диэлектрика.

Внешние слои

Внешние слои не следует снабжать проводниками с внутренней их стороны, поскольку велик риск образования под ними прослоек воздуха.

Внешние слои многослойных гибких плат обычно выполняют из 50-мкм полиимида; внешние слои гибко-жестких плат — из стекло-текстолита типа FR-4 или же из пропитанной полиимидом стеклоткани. Иногда также используют составной полиимид — полиимидную пленку со слоем адгезива на внутренней стороне, — в результате получаемая толщина платы обеспечивает требуемую для установки компонентов ее жесткость.

Соединительные материалы

С использованием в качестве внутренних слоев гибких плат с защитным покрытием их скрепление с жесткими частями достигается посредством листов адгезива.

Процессы

На рис. 8 показана упрощенная схема производственного процесса многослойных гибко-жестких печатных плат.



Рис. 8. Схема изготовления гибко-жестких печатных плат

Платы формируются путем наслоения и ламинирования внутренних двусторонних гибких слоев (без гальваники и отверстий) и жестких внешних слоев (для гибко-жестких плат). Учитывая, что в начале статьи мы уже рассмотрели следующие затем этапы (начиная со сверления и заканчивая оконтуриванием), ниже описаны лишь существенно отличающиеся процессы.

Гибкие внутренние слои

Внутренние слои образуются как одно-, так и двусторонними гибкими платами — путем формирования на них рисунка, травления и нанесения защитного покрытия, но без сверления отверстий и гальванической металлизации. Нанесение индивидуальных защитных покрытий на каждый слой усложняет технологию, однако при этом сокращается вероятность возникновения пузырькового эффекта.

При необходимости внутренние слои могут быть склеены между собой. Хотя это и упрощает процесс проектирования и уменьшает количество производственных процессов, получаемые платы будут недостаточно гибкими, то есть смогут выдержать не более 25 циклов сгиба.

Гибкие внутренние слои можно и не склеивать в областях их сгиба. Если плата состоит из большого количества слоев или если расстояние между ее жесткими частями достаточно мало, можно применить показанный на рис. 9 способ разделения слоев. Такая структура позволяет избежать выгибания отдельных слоев платы при ее монтаже, хотя и требует более сложного процесса производства.

Жесткие внешние слои

При изготовлении гибко-жестких печатных плат нарезают и в процессе прессования приклеивают к гибким слоям такие материалы, как FR-4. Возможно и производство гибко-жестких плат как временно полностью жестких — чтобы упростить их обработку во время изготовления, монтажа и пайки. Для этого над гибкой поверхностью плат устанавливают жесткие слои; чтобы предотвратить их склеивание с гибкой поверхностью платы, ее покрывают с обеих сторон разделительной пленкой. Затем все «вспомогательные» части жесткой поверхности отламываются. Для этого перед прессованием необходимо нанести на них зачекки (рис. 10).

Прессование

Прессование гибко-жестких многослойных печатных плат производится по описанной в [5] технологии.

Не рекомендуется объединять в многослойные гибкие или гибко-жесткие платы слишком много слоев.

Термическое расширение

Коэффициент термического расширения плат в направлении, перпендикулярном их поверхности, в общем случае оказывается чрезвычайно высоким (100–500 ppm/°C).

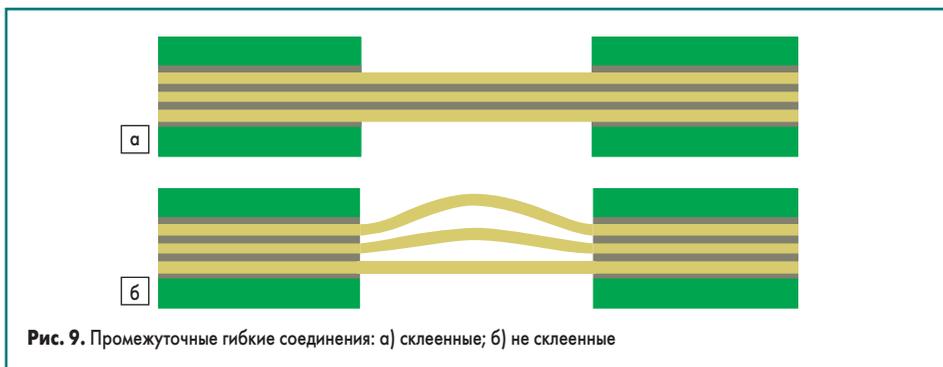


Рис. 9. Промежуточные гибкие соединения: а) склеенные; б) не склеенные

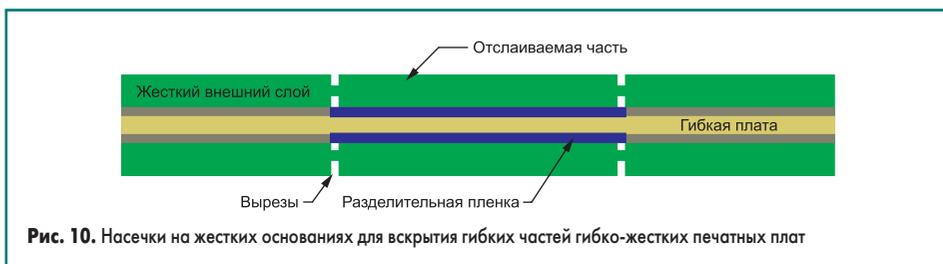


Рис. 10. Насечки на жестких основаниях для вскрытия гибких частей гибко-жестких печатных плат

Это приводит к возникновению в процессе производства и пайки гибких плат сильного внутреннего механического напряжения в сквозных отверстиях. В результате может потрескаться металлизация, отслоиться контактные площадки, а также расслоиться сама плата.

Влагопоглощение

Полиимид обладает высоким коэффициентом влагопоглощения — 1,3–3 до 5% при комнатной температуре. Поэтому если плата содержит много гибких слоев, выпарить влагу из центральных слоев становится проблематично. Во время пайки или проводимого с использованием высоких температур и давления прессования испарение поглощенной влаги может привести к расслоению платы.

Отверждение акрилового адгезива

Достижение полного отверждения акрилового адгезива между слоями платы способно вызвать проблемы, особенно при использовании толстых листов адгезива. А неполное отверждение адгезива приводит к серьезным трудностям в последующих процессах сверления, подтравливания диэлектрика и гальванической металлизации.

Сгиб

Одновременный сгиб нескольких слоев платы создает натяжение медных фольг с опасностью их разрушения.

Процесс прессования

Предварительно необходимо просушить платы в печи при +120 °C в течение 1 ч. Также для лучшего склеивания гладких полиимидных пленок необходимо при помощи плазменного травления или легким механическим натиранием создать на их поверхности шероховатость.

При прессовании гибко-жестких плат используется контактная система, немного отличающаяся от прессовочной, описанной для защитных покрытий, — так как в качестве

средств передачи давления могут быть использованы внешние жесткие слои.

Лучший результат прессования достигается при холодном старте со следующими параметрами:

- температура: +175...200 °C,
- давление: 15–60 кг/см²,
- продолжительность: 1–3 ч.

Во избежание возникновения проблем при сверлении отверстий, подтравливания диэлектрика и гальванической металлизации, после прессования необходимо провести полное отверждение платы. Чтобы в платах не возникло внутреннего механического напряжения, их охлаждение производится также под давлением.

Подтравливание диэлектрика (очистка отверстий)

Наиболее эффективное подтравливание диэлектрика достигается описанным в [5] плазменным травлением. Крайне важно затем удалить поглощенную полиимидом влагу, что при большой толщине платы может быть затруднительно. Рекомендуемая продолжительность сушки плат составляет 3–4 ч.

С большой аккуратностью следует избегать слишком глубокого травления диэлектрика, поскольку с возникновением механического напряжения металлизации отверстий толщина гальванического слоя может оказаться неравномерной, а также в слое металлизации могут образоваться углубления. Следует иметь в виду, что травление акрилового адгезива происходит быстрее травления остальных материалов, особенно при его толщине 50 мкм и более. Поэтому для всех слоев платы рекомендуется использовать 25-мкм акриловый адгезив.

Формирование рисунка

Так как внутренние слои после нанесения на них рисунка становятся неровными (рельефными), применение СПФ может

быть затруднено. Для достижения требуемой адгезии и совмещения следует с помощью вакуумного ламинатора наносить достаточно толстый СПФ (50 мкм).

Гальваническое меднение

В отличие от жестких многослойных плат с минимальной толщиной гальваники в отверстиях 25 мкм, минимальная толщина гальванического меднения гибких многослойных и гибко-жестких плат составляет 35 мкм (при большом количестве слоев — до 50 мкм). Это обусловлено высоким коэффициентом термического расширения гибких плат, из-за чего необходимо усиление стенок отверстий для предотвращения разрыва их металлизации.

Оконтурирование

В связи с небольшой толщиной многослойных гибких и гибко-жестких плат их оконтурирование производится на оборудовании с ЧПУ.

Литература

1. Медведев А., Сержантов А. Начальный курс производства электроники. Часть четвертая. Односторонние гибкие печатные платы. Процессы изготовления // Технологии в электронной промышленности. 2015. № 7.
2. Медведев А. Иллюстрированная технология печатных плат. Двусторонние печатные платы с металлизированными отверстиями //

Технологии в электронной промышленности. 2015. № 1.

3. Медведев А., Арсентьев С. Иллюстрированная технология печатных плат. Изготовление односторонних печатных плат. Часть 2 // Технологии в электронной промышленности. 2015. № 2.
4. Медведев А., Сержантов А. Начальный курс производства электроники. Часть третья-бис. Подробнее о многослойных печатных платах // Технологии в электронной промышленности. 2015. № 4.
5. Медведев А., Сержантов А. Начальный курс производства электроники. Часть третья-бис. Подробнее о многослойных печатных платах // Технологии в электронной промышленности. 2015. № 5.