

Окончание. Начало в № 6 `2008

Производство гибких и гибко-жестких печатных плат.

Часть 4. Изготовление гибких и гибко-жестких многослойных плат

Аркадий Медведев,
д. т. н., профессор МАИ
Геннадий Мылов
Валентина Люлина
Юрий Набатов
Петр Семенов
Аркадий Сержантов

Набор пресс-пакета

Обращение с материалом

Как покровную пленку, так и многослойные платы необходимо укладывать в условиях чистой комнаты, что уменьшает вероятность включения загрязнений в готовое изделие. При работе с внутренними слоями и покровной пленкой следует пользоваться легкими резиновыми перчатками, поскольку и хлопчатобумажные, и нейлоновые перчатки пропускают выделения с пальцев на изделие.

Если слои с нанесенной на них покровной пленкой загрязнены отпечатками пальцев и т. п., их необходимо очистить изопропиловым спиртом и не ворсистой тканью. Перед укладкой материала изопропиловый спирт должен полностью испариться.

При использовании листового адгезива для склеивания внутренних слоев следует проявлять осторожность, чтобы не загрязнить клеящий слой. Лис-

товой адгезив, будучи в рулоне, имеет защитный слой только на одной стороне. Другая же сторона представляет собой открытый неотвержденный адгезив. Поэтому при работе с листовым адгезивом всегда нужно пользоваться легкими резиновыми перчатками, чтобы не загрязнить материал жировыми отпечатками пальцев. Протирать адгезив каким-либо растворителем перед укладкой в пресс-пакет не рекомендуется, поскольку неотвержденный адгезив расплывется под воздействием растворителей. Как листовой адгезив, так и склеивающие материалы имеют защитную пленку (майлар) только с одной стороны. При работе со склеивающими слоями следует принимать меры предосторожности, как и при работе с листовым адгезивом.

Если при наборе пакета на поверхности листов обнаружались незначительные загрязнения, их следует удалять антистатической кисточкой. Слои со значительными загрязнениями лучше выбросить, с ними плата неизбежно уйдет в брак.

Совмещение

Совмещение элементов межсоединений в многослойных структурах зависит от множества факторов, связанных с точностью позиционирования оборудования (фотоплоттеров, сверлильных станков, системы базирования) и деформацией основы слоев. Полиимидные пленки особенно сильно подвержены линейным деформациям, зачастую неопределенного размера на различных участках. Особенно большая разница в деформациях возникает между направлениями вдоль и поперек ширины пленки (рис. 6). Большой разброс в деформациях пленочных основ затрудняет использование масштабных коэффициентов для компенсации деформаций. Поэтому допуски при конструировании гибких схем отличаются от допусков, принимаемых для толстых композиционных материалов, армированных стеклотканью.

Размерная устойчивость материалов

Если полиимидную пленку после раскроя выдерживать в свободном состоянии при температуре 150 °С в течение 30 минут, внутренние напряжения снимаются, и произойдет усадка пленки. Величина такой тепловой усадки будет в два раза больше в поперечном направлении, чем в продольном (машинном)

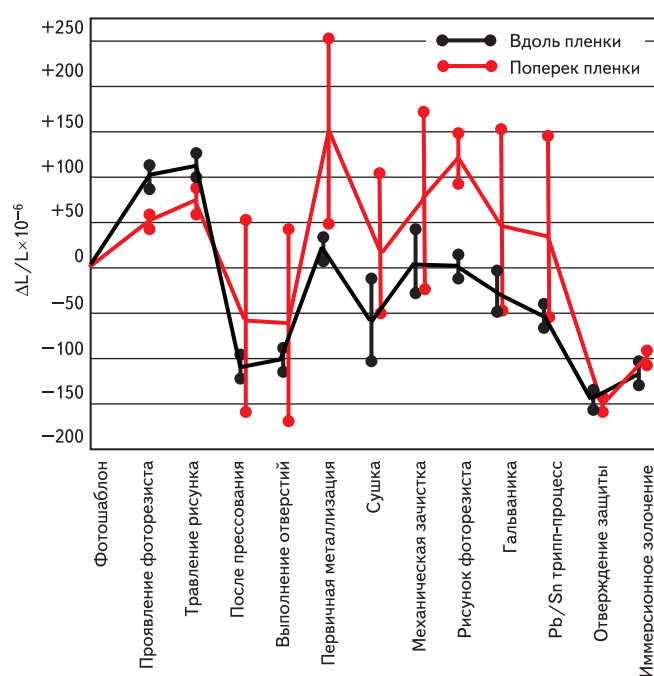


Рис. 6. Реально измеренные смещения элементов из-за деформации основы на различных этапах обработки

направлении. Потом при намотке пленки, например, при нанесении адгезива, нужно проявлять осторожность, чтобы не растянуть материал.

Фольгированные композиционные материалы типа «Пиралюкс» выпускают в листах. Листовые фольгированные диэлектрики имеют большую размерную стабильность по сравнению с рулонными, поскольку при наложении меди на покрытый адгезивом листовый полиимид в материал вносится меньше напряжений. При испытаниях ламинированных полиимидных композитов с полным травлением меди и с сушкой при 80 °С в течение 30 минут в гибких полиимидных композитах наблюдают меньше изменений, чем в пленочном полиимиде. Спецификации задают стабильность размеров порядка 0,2% максимум, в то время как типичные величины для армированного полиимида типа «Пиралюкс» составляют 0,1% и менее (см. следующие публикации).

Двусторонние полиимидные основания имеют лучшую размерную стабильность, чем односторонние. Фольгирование медью 70 мкм дает несколько большую стабильность, чем медью 35 мкм. Наименьшую стабильность можно наблюдать у полиимидных оснований 25 микрон, с фольгой только на одной стороне. Полиимидные пленки толщиной 50, 75 и 125 мкм ведут себя почти одинаково после снятия меди. Как правило, изменения происходят чаще в поперечном направлении, чем в продольном (рис. 6).

Влияние подготовительных операций

Одна из операций, которая может отрицательно повлиять на стабильность размеров, — это механическая очистка фольгированных ламинатов на пленочной основе перед нанесением сухого пленочного фоторезиста. Щетки, отрегулированные на создание хорошей, механически очищенной абразивом поверхности, усиливают вероятность растяжения и деформирования ламинатов, особенно на полиимидной пленке толщиной 25 мкм с фольгой на одной стороне. Поэтому применять механическую машинную очистку для гибких ламинатов не рекомендуется.

На размер полиимидной пленки влияют изменения относительной влажности. При поглощении влаги полиимидные пленки расширяются. При удалении влаги происходит усадка пленки. Эти изменения обычно не учитывают, они малы по величине и имеют обратимый характер. Значительную постоянную усадку вызывает тепловое воздействие, а не изменение влажности.

Заметим также, что полиэфирная пленка — основа фотошаблонов — тоже расширяется и получает усадку при изменениях температуры и влажности. Поэтому участки хранения фотошаблонов и экспонирования должны иметь контролируемые параметры среды (21 ± 1 °С и 50 ± 5% относительной влажности), чтобы не допустить изменения размеров фотошаблонов при перемещении.

Первое значительное изменение размеров происходит после травления меди. Обыч-

но происходит усадка, но отмечались и случаи увеличения размеров. Изменения усиливаются при большем снятии меди.

Один из методов снижения размерных изменений — это сохранение медной окантовки по кромке заготовки. Ширина границы обычно составляет порядка 20–30 мм. Широкие границы при изготовлении внутренних слоев увеличивают толщину по кромке и затрудняют выход воздуха при прессовании многослойной платы, поэтому в меди приходится предусматривать специальные каналы, которые создают путь для газовых включений из пакета через медное окаймление к наружным кромкам для их удаления. Применяют различные конструкции каналов, самое главное здесь — сохранить достаточно меди для поддержания размерной стабильности и дать воздуху путь наружу из прессуемой платы.

Некоторые производители уменьшают степень изменения размеров односторонних и двусторонних плат на полиимидных основаниях толщиной 25 и 50 мкм, используя двусторонний фольгированный диэлектрик. Рисунок схемы вытравливается на одной стороне, а на другой вся медь сохраняется (эту поверхность заранее защищают от травления). В присутствии стабилизирующей медной подложки изменения размеров при травлении рисунка и снятии резиста снижаются. Затем вытравленный рисунок покрывают защитным слоем, а медь со стороны, не имеющей схемы, стравливают. Такая технология обеспечивает улучшенную размерную стабильность. Хотя этот метод и позволяет лучше стабилизировать размеры, он требует дополнительных операций и затрат. Кроме того, на обратной стороне платы (на стороне без схемы) остается открытая адгезивная поверхность (кроме участков с медью на технологическом поле заготовки), что может привести к склеиванию, особенно под воздействием высоких температур.

Если после удаления фоторезиста изделие подвергают термообработке для удаления поглощенной влаги, его размеры обычно изменяются несильно. Некоторые производители на этой стадии работы вносят компенсирующую поправку в фотошаблоны. Однако пока произошли еще только минимальные изменения размеров. Тем не менее, хорошая отправная точка — увеличить размеры исходного фотошаблона на 0,05%, чтобы ввести компенсацию на ожидаемую усадку. Можно скорректировать этот коэффициент (увеличить или уменьшить), если не получен нужный результат. Размеры основы меняются особенно интенсивно во время травления и еще раз, зачастую тоже весьма значительно, при нанесении покровного слоя.

Влияние операции нанесения покровной пленки

Адгезив в стадии В (отверждения) защищен полиэфирной пленкой, плотно, но не прочно прихваченной к его поверхности. При снятии защитной пленки покровный слой слегка увеличивается в размерах, хотя в ряде случаев про-

исходит и усадка. Это явление может создать проблемы в основном с тонкими полиимидными пленками толщиной 25 мкм и только в платах с очень жесткими допусками, поскольку увеличение размеров обычно составляет менее 0,05%.

Если такое увеличение размеров вызывает нарушение совмещения, уменьшить его можно, вернув отделенную защитную пленку на поверхность покровного слоя. Силы электростатического притяжения будут удерживать защитную пленку на покровном слое, а релаксация напряжения произойдет приблизительно за 15–30 минут. Затем можно приступать к сверлению или вырубке отверстий в покровной пленке.

Наиболее значительные изменения размеров происходят во время напрессовывания покровного слоя. Разобраться в происходящих изменениях здесь гораздо труднее, поскольку нужно учитывать одновременное изменение размеров заготовки и покровного слоя. Например, заготовку в свободном состоянии подвесили в сушильном шкафу и выдержали 30 минут при 190 °С. Изменения были незначительны по сравнению с изменениями после травления и удаления фоторезиста и составили всего лишь 0,2 мкм на мм.

Изменения, полученные после напрессовки покровного слоя, составили от 0,4 до 1,0 мм/мм, что говорит о существенном влиянии покровного слоя и давления прессования, а также материалов прессовых подушек на стабильность линейных размеров оснований гибких плат.

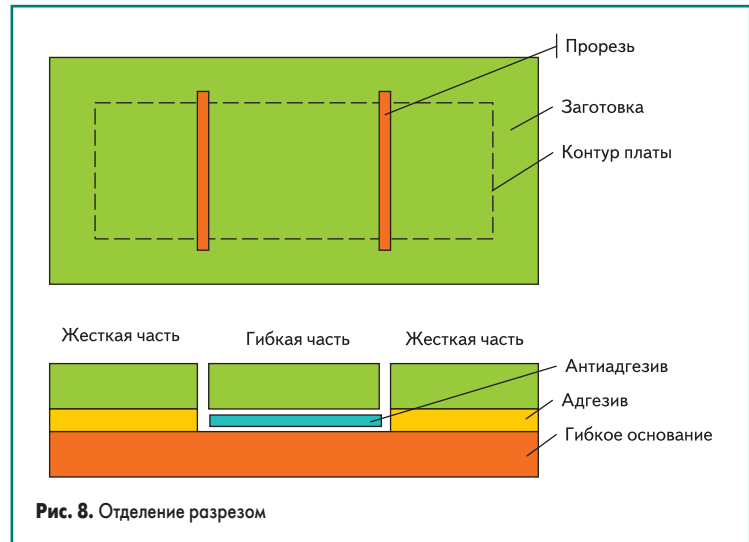
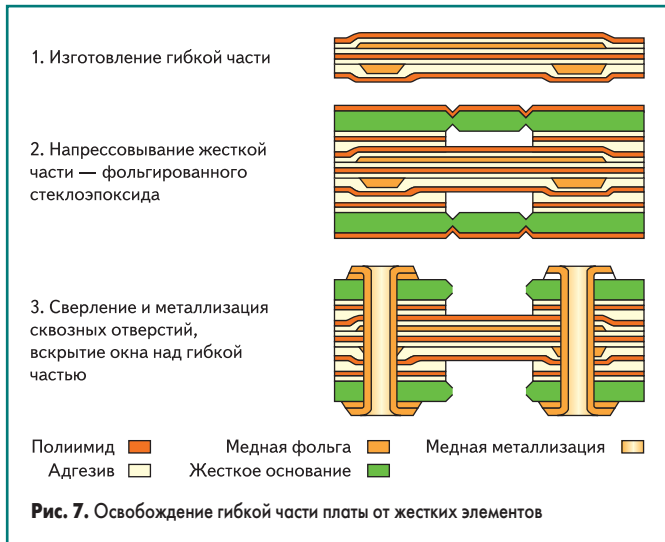
На изменение размеров очень сильное влияние оказывали используемые подушки для прессования. При низких давлениях прессования обычные системы мягких подушек приводили к приращению размеров, а типичные жесткие системы подушек давали усадку. Это можно объяснить тем, что жесткая система позволяет схеме скользить по прессовой подушке, что дает возможность реализоваться внутренней тенденции пленки к усадке при высоких температурах. Мягкие системы из-за своей большей степени обтекания рельефа рисунка не допускают такого проскальзывания. Вместе с тем, мягкие подушки под давлением как бы выжимаются и увеличиваются, увлекая вместе с собой и заготовку. Это явление наблюдалось при использовании, например, подушек из неармированной силиконовой резины.

Влияние давления прессования

Величина давления тоже вызывает изменение размеров. Например, в одном из опытов плата с высотой медного рисунка в 75 мкм была покрыта покровным слоем 75 мкм. Прессовали в жестких и мягких подушках при трех различных значениях давления.

При использовании мягких подушек изменение размеров при напрессовке покровного слоя в зависимости от давления было следующим:

Давление, кПа	Изменение размеров, мкм/мм
1400	+0,5
2000	+0,8
4500	+3,0



На жестких подушках были получены следующие результаты:

Давление, кПа	Изменение размеров, мкм/мм
1400	-0,5
2000	-0,2
4500	+0,5

Изменение размеров внутренних слоев

Высокое давление при прессовании многослойных плат вызывает большие линейные деформации внутренних слоев. Само по себе большое давление прессования обусловлено необходимостью полного заполнения адгезивом рельефа проводников внутренних слоев и удаления газовых включений. При прессовании многослойных плат совмещение зависит от системы технологической оснастки и давления прессования. При возникновении проблем с совмещением может оказаться необходимым изменить систему технологической оснастки, чтобы обеспечить большую стабильность в критически важных местах, либо снизить давление прессования. При снижении давления прессования необходимо следить за тем, чтобы текучесть адгезива не упала бы так низко, что в плате могли остаться не выдавленными газовые включения.

Искажения линейных размеров, а вместе с тем и коробление, можно уменьшить, если соблюдать принципы симметрирования рисунка, особенно при ортогональной системе разводки. На рис. 6 показано различное поведение пленки вдоль и поперек ленты. В листовых материалах тоже наблюдаются явления анизотропии, которые приходится учитывать при раскрое материалов на заготовки.

В конечном итоге размерная нестабильность материалов приводит к плохому совмещению контактных площадок с высверленными отверстиями. Чтобы все-таки обеспечить это совмещение с гарантийным пояском вокруг отверстий по ГОСТ 23751, приходится увеличивать размер контактных площадок за счет трассировочного пространства между ними. Это, как правило, приводит к увеличению слоев для размещения всех заданных межсоединений.

Пресс-пакет

Прессование гибких многослойных плат всегда ведут по одной плате. Изредка, при прессовании плат с небольшим количеством слоев (менее шести), можно прессовать одновременно два пакета. Причина состоит в необходимости обеспечить равномерное распределение давления и удовлетворительное совмещение слоев.

При изготовлении гибко-жестких плат с использованием листового адгезива типа «Пиралюкс» для склеивания композита предпочтительно на первой стадии прессовать пакет гибких слоев, а верхние упрочняющие жесткие слои припрессовывать на последующей, отдельной стадии. Такой двухступенчатый процесс имеет ряд преимуществ:

- хорошее выравнивание давления при прессовании гибкой части;
- стабильное течение адгезива;
- можно использовать разные режимы прессования для гибкой и для жесткой упрочняющей части.

Кроме того, после первого цикла прессования изготовитель получает возможность проверить заготовку на отсутствие газовых включений. Если бы верхний жесткий слой прессовался сразу вместе с гибкой частью, такой возможности своевременно увидеть дефекты прессования не было бы. Эта своевременность различия дефектов позволяет или вовремя забраковать изделие, или поправить дефекты при припрессовке жесткой части. Обычно именно жесткие части используются для монтажа компонентов и подвергаются нагреву, потому и газовые включения здесь противопоказаны.

Окна над гибкой частью

Окно — это участок платы, где нужно обеспечить гибкость шлейфа и где нет никакого жесткого покровного материала (рис. 7). Наличие такого участка позволяет сгибать готовую плату в нужное для сборки положение. Не склеенные части гибких слоев называют корешком (по типу переплета книги) или шарнирами.

Окна выполняют тремя основными методами. Обычный метод — полная вырезка окна в жестком материале перед прессованием.

Если на гибкий материал в окне во время прессования не передается давление, то материал свободен к расширению и деформации. Слишком большая деформация может привести к обрыву или ослаблению медных проводников. Чтобы предотвратить деформацию при заключительном прессовании, в окна закладывают вставки. В каждое окно надо установить вставку так, чтобы общая толщина в окне была бы лишь на 70–120 мкм меньше толщины пакета в жесткой части платы. Обычно сохраняют «выфрезерованный» из окна кусочек жесткого материала и вставляют его в окно при прессовании, поскольку его толщина соответствует толщине жесткого внешнего слоя. Толщину вырезанных слоев адгезива тоже нужно скомпенсировать вставкой из антиадгезивных материалов. Обычно для этого используют импортные фторопластовые пленки, Teflon FEP или Teflon/Glass. Вставки должны иметь те же размеры, что и вырезанные окна, чтобы сохранить равномерность распределения давления по кромке окна. Материал вставки остается в плате вплоть до операции заключительного фрезерования.

После того как из окон извлечены вырезанные жесткие участки, все следующие операции необходимо проводить с особой осторожностью. Как правило, вырезанное окно после прессования полностью закрывают пленкой, чтобы предотвратить поглощение химикатов в ходе последующих операций очистки, металлизации и травления. Если допустить химическое осаждение меди на открытую поверхность внутреннего слоя, то она, будучи непрочно связанной с полиимидом, отделится и отравит гальваническую и прочие химические ванны.

Второй метод выполнения окна заключается в том, что перед прессованием жесткая подложка надрезается канавкой с нижней стороны — со стороны, обращенной к гибкой части. Обычно этот метод называют методом «выломки». После того как плата полностью обработана, окно прорезают до ранее надрезанной канавки, что позволяет с легкостью удалить из него жесткий материал. Достоинство этого метода — то, что при его использовании не нужно маскировать окно пленкой. Основной недостаток этого способа — опас-

ность прорезать или повредить гибкую часть при выполнении надреза по контуру окна.

И последний метод заключается в нарезании узких пазов в жестком слое по границе раздела гибкой и жесткой части до укладки пакета (рис. 8). Паза должны быть несколько длиннее ширины платы. При обрезке платы по контуру жесткая часть, покрывающая гибкое окно, освободится (вывалится). Чтобы она не прилипла к гладкой части, в адгезионной пленке делают соответствующий окну вырез и в него вкладывают антиадгезионную пленку по формату окна. После прессования вырезанные паза заклеивают липкой лентой, чтобы защитить изделие от воздействия химикатов в ходе дальнейшей обработки. Вероятность проникновения химического состава при методе паза гораздо меньше, чем при надрезе всего окна.

Конструкции корешков переплета

Переплетные конструкции используются, когда гибкая часть толста и изгибается по малому радиусу. Для этого приходится предусматривать изменение длины гибких шлейфов, соединяющих жесткие части. На наружной стороне изгиба длина гибких слоев должна быть больше, чем на внутренней стороне радиуса изгиба. Такая конструкция обеспечивает более низкие механические напряжения при изгибе и предотвращает складки шлейфа при установке платы по месту.

«Переплетный» метод требует ряда сложных ручных операций для его воспроизведения. Для него необходимо применение специальной оснастки для удержания на месте промежуточных слоев во время прессования. В большинстве случаев в материале прессовой подушки предусматривают углубления для приподнятых внутренних слоев так, чтобы они не были смяты или деформированы при прессовании. При этом приходится разрабатывать и сложные системы защиты окна переплета, исключающей проникновение химикатов в ходе химических обработок после прессования.

Системы прессовых подушек

Выбрать систему прессовых подушек для прессования многослойных материалов гораздо легче, чем при прессовании покровных пленок. В первом случае нет особой необходимости иметь сильно облегчающие прессовые подушки. Идеальная прессовая подушка должна вызывать хорошее течение адгезива, сохранять плоскостность поверхности, обеспечивать хорошую размерную стабильность. Очевидный выбор остается за высококачественными жесткими прессовыми подушками.

Жесткие системы прессовых подушек, которые следует применить в этом случае, аналогичны тем, которые используются для прессования покровной пленки. При прессовании многослойных плат нужно выбирать высококачественные материалы для выравнивания давления. Для выбора имеются армированная красная резина, ISOLAM, PACOFORM. Стеклонаполненный фторопласт дает хорошую гладкую поверхность и обеспечивает минимальный сдвиг по осям X–Y.

Срок службы материалов прессовых подушек такой же, как и при прессовании покровной пленки. Разделительную пленку из полиимида (тефлон FEP и ISOLAM) используют только один раз, а стеклонаполненный фторопласт и армированную красную резину — многократно.

Для прессования некоторых гибких и гибко-жестких плат, когда разницу толщины в разных местах платы нельзя компенсировать с помощью вкладышей, приходится применять мягкие системы прессовых подушек. В таких случаях лучше всего подходит система Rasothane. Эта система хорошо выравнивает давление и обладает достаточной мягкостью, которую ей придает разделительный материал «Пакотан-плюс». Повторному использованию такие подушки не подлежат.

Прессование

Цикл прессования

Прессование многослойных плат проводят как с горячим, так и с холодным стартом. Однако холодный старт (<70 °С) более предпочтителен, поскольку он позволяет лучше управлять подъемом температуры. При работе с вакуумом откачку воздуха необходимо проводить на холодном прессе. После создания вакуума подают полное давление и начинают поднимать температуру. Если вакуумом не пользуются, то полное давление подается сразу же. По окончании отверждения заготовку охлаждают под полным давлением, чтобы уменьшить вероятность ее коробления.

Вакуум

Чтобы обеспечить полное удаление воздуха, рекомендуется проводить откачку в течение 30–120 минут. Как и при прессовании покровных пленок, применение вакуума позволяет снизить давление прессования приблизительно на 335 кПа.

Давление

Эффективное давление прессования для склеивания акрилового адгезива типа «Пиралюкс» составляет 2000–3500 кПа. Более высокие давления применяют в тех случаях, когда имеются трудности с удалением газовых включений из прессуемого пакета. Вместе с тем, при более высоких давлениях возрастает опасность сдвига внутренних слоев и нарушения согласованного расположения отверстий.

Температура

Скорость нагрева

Как и при прессовании покровной пленки, печатные платы должны прогреваться до 190 °С не ранее, чем за 20–30 минут. Оптимальная скорость прогрева составляет порядка 5–6 градусов в минуту, максимальная скорость не должна превышать порядка 15–20 градусов в минуту.

Отверждение

Рекомендуется выдерживать изделие при температуре 190 ± 8 °С в течение 90 минут. Для должного отверждения заготовка должна

быть прогрета и выдержана при предписанных температурах. Температуру заготовки контролируют термопарами, укладываемыми между слоями заготовки. Температура не должна превышать 200 °С, поскольку это приведет к потемнению и, возможно, к деградации акрилового адгезива. В свою очередь, недоотверждение адгезива из-за низкой температуры прессования или из-за слишком короткого времени прессования может привести к развитию дефектов при сверлении и дефектам основания при пайке.

Проверка совмещения

Перед дальнейшей обработкой целесообразно прибегнуть к рентгенографическому анализу для проверки совмещения соответствующих контактных площадок. При наличии отклонений в совмещении нужно скорректировать программу сверления.

При нарушении совмещения внутренних слоев причина обычно заключается в плохой технологической оснастке, слишком высоком давлении прессования или в конструктивных решениях (например, в применении склеивающего слоя вместо покровной герметизирующей пленки).

Сверление

Исследования процессов сверления 10-слойной гибко-жесткой конструкции платы показали, что отверстия с оптимальными качествами можно получить при условиях, указанных в таблице 1.

Таблица 1. Оптимальные условия сверления 10-слойной гибко-жесткой конструкции

Диаметр сверла, мм	0,7	0,9	1,1
Подача на один оборот, мкм	63	63	63
Скорость резания, м/мин	152	152	152
Скорость вращения, тыс. об/мин	68	54	40
Подача, мм/мин	4300	3300	2600
Кол-во заготовок в стопке	1	1	1

Приведенные в таблице параметры определены при использовании алюминиевого композита толщиной 0,35 мм на входе сверла и толщиной 2,35 мм в качестве подложки. Для плат в шесть и более слоев высота набора составляет одну заготовку, при количестве слоев менее шести можно одновременно сверлить две заготовки.

В материале Ryalux FR используется более мягкий адгезив, поэтому его можно сверлить с подачей 50 мкм на оборот и со скоростью резания 100 м/мин.

Для работы следует использовать новые карбидные сверла, которые дают возможность качественно просверлить до 1000–2000 отверстий. Нужно избегать применения переточенных сверл, поскольку они имеют тенденцию к наволакиванию материала, так как генерируют слишком много тепла в зоне резания. Переточенные сверла можно использовать для работы с менее требовательными материалами, например с односторонними и двусторонними.

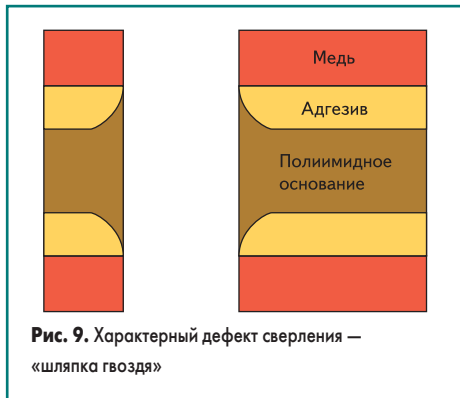


Рис. 9. Характерный дефект сверления — «шляпка гвоздя»

Как уже отмечалось, исследования проводились на 10-слойной гибко-жесткой плате чисто акриловой конструкции и могут служить отправной точкой для определения конкретных параметров для оптимизации производства, которые зависят как от конкретной конструкции платы, так и от применяемых связующих материалов. Вполне очевидно, что разные гибридные конструкции потребуют и разных параметров сверления.

Нарушение параметров сверления ведет к появлению трех основных дефектов: деформации материала по форме шляпки гвоздя, вырыванию адгезива и его размазыванию. «Шляпка гвоздя» — деформация и утолщение полиимидной пленки, похожее на шляпку гвоздя (рис. 9). При такой деформации пленка смещает в сторону расположенный рядом адгезив, что может нарушить механическую целостность металлизированного отверстия. Вырывание адгезива ведет к возникновению аналогичных проблем, поскольку в этом случае затрудняется химическое осаждение металла. Размазывание адгезива — это загрязнение стенок отверстия. Хотя незначительное размазывание — это явление нормальное и приемлемое, чрезмерное размазывание адгезива может привести к проблемам при плазменной обработке и неравномерности травления диэлектрика при очистке отверстий.

При сверлении многослойных гибко-жестких плат нужно создать вентиляционные отверстия для выхода воздуха при вакуумировании для обработки заготовки плазмой, необходимой также для горячей обработки. Отверстия предпочтительно располагать в нефункциональных частях платы.

Снятие заусенцев и удаление стружки

Для снятия заусенцев обычно применяют ручную абразивную обработку, обработку орбитальными шлифовальными машинками, ручную обработку порошком пемзы и конвейерную мокрую обработку струями суспензии пемзы. Обработку щетками в конвейерных установках можно употреблять только в тех случаях, когда щетки должным образом отрегулированы и не возникает вероятности повреждения гибкой части платы.

Отходы сверления состоят из мелкой стружки и пыли, для удаления которых обычно достаточно прибегнуть к продувке воздухом, промывке струей воды или воспользоваться

пылесосом. Следует остерегаться применения сильных растворителей или сильных моющих средств для очистки отверстий.

Удаление наволакивания или подтравливание адгезива

Химические методы очистки, обычные в производстве жестких печатных плат, на основе растворов перманганатов мало пригодны для гибких многослойных изделий, выполненных с помощью акриловых адгезивов и полиимидов. Эти химикаты сильно воздействуют на адгезив и вызывают его разбухание, что, в свою очередь, приводит к проблемам при металлизации и снижает надежность металлизированных отверстий. Единственный метод, пригодный для акриловых адгезивов, — плазменное травление платы.

Подтравливание

Плазменная обработка — самый чистый, самый быстрый и наиболее надежный метод очистки (или подтравливания) отверстий.

Различные материалы, присутствующие в многослойной конструкции, вытравливаются плазмой с различной скоростью. Акриловый адгезив обычно вытравливается быстрее всех других материалов. Подтравливание — это то расстояние, на которое акриловый адгезив подтравливается по сравнению с другими материалами. В идеале, подтравливание должно составлять 3–10 мкм. Такое подтравливание одновременно создает и дополнительную площадь для сцепления металлизации отверстия с торцами контактных площадок внутренних слоев, где выполняется электрическое соединение. Чрезмерное подтравливание может вызвать ряд проблем при металлизации, привести к грубой форме отверстий и снизить надежность металлизации отверстий.

Информацию о теории и принципах плазменной обработки можно получить у производителей такого оборудования.

Параметры плазменной обработки

Для удаления поглощенной влаги перед плазменной обработкой заготовки плат необходимо просушить при температуре 120 °C в течение от 30 минут до 6 часов, что зависит от толщины и количества слоев.

Во избежание повторного набора влаги платы следует перенести в плазменную камеру в горячем состоянии. Присутствие влаги в плате может привести к расслоению при нагреве в ходе плазменной обработки.

На удаление или подтравливание адгезива влияют следующие параметры:

- время нахождения в камере;
- мощность высокочастотного поля;
- состав газовой смеси;
- скорость подачи газовой смеси (освежение среды травления);
- давление;
- температура.

Продолжительность процесса зависит от типа применяемой установки и конструкции платы. Теоретически, можно рассчитать открытую площадь адгезива и глубину травле-

ния адгезива, нужную для качественной очистки отверстия, и вывести соответствующие соотношения длительности и глубины обработки. Однако, в силу наличия целого ряда других факторов, таких как температура изделия, экранирование, конвекция газа, ориентация изделия, конструкция блока подвода мощности и т. д., параметры цикла обработки приходится разрабатывать конкретно под разные конструкции изделий и под разные объемы загрузки камеры.

В результате специально проведенных исследований получены параметры обработки 10-слойной гибко-жесткой платы по IPC-843, изготовленной из полиимидных материалов с акриловым адгезивом (табл. 2).

Таблица 2. Параметры плазменного травления 10-слойной гибко-жесткой платы по IPC-843

Параметры	Значение
Температура, °C	110
Давление, мм рт. ст.	0,3–0,4
Мощность, Вт	1500
Газовая смесь O ₂ /CF ₄ , %	80/20
Расход газовой смеси O ₂ /CF ₄ , см ³ /мин	1120/280
Время обработки, мин	15

По завершении указанного процесса обычно проводят короткий цикл кислородного обжига для удаления всех следов фтора, приставшего к стенкам отверстия. Имеется в виду обработка 100%-ным кислородом с подачей 1120 куб/см в течение 10 минут.

Для повышения эффективности плазменной обработки можно использовать алюминиевые экраны на наружных поверхностях каждой платы, поскольку, в отличие от открытой меди, алюминий не дезактивирует плазменные газы. Такие экраны приходится изготавливать конкретно под каждую плату, так как их отверстия должны располагаться точно над сквозными отверстиями платы. Отверстия в экранах, обеспечивающие доступ плазмы к сквозным отверстиям платы, должны быть в два раза больше по размеру, чем отверстия в плате. Метод позволяет как бы сфокусировать подачу плазменного газа в сквозные отверстия и сократить тем самым продолжительность обработки. Дополнительным достоинством алюминиевых экранов является то, что они работают как теплоприемники, что позволяет снизить температуру нагрева заготовки платы.

Вентиляционные отверстия, просверленные в плате для отвода воздуха при плазменной обработке, после такой обработки нужно запечатать, чтобы исключить натекание химикатов в процессе металлизации и формирования изображения. Это обычно делают нанесением капли эпоксидного компаунда с выдержкой около часа для отверждения при комнатной температуре.

Дефект «шляпки гвоздя»

Эффективность плазменной обработки зависит от качества высверленного отверстия. При сильной деформации полиимидной пленки и/или меди проводников адгезив будет в некоторой степени экранирован от воздействия

плазмы. При серьезных деформациях материала требуется большая длительность плазменной обработки.

Заключительная обработка

Для механического удаления любых обуглившихся низкомолекулярных органических остатков и пепла, образовавшихся при плазменной обработке, обычно прибегают к жидкому или паровому хонингованию. Но это приходится делать только в некоторых плазменных установках старого образца.

Химическое меднение

Для обеспечения электрического соединения внешних слоев с внутренними слоями платы проводят металлизацию стенок сквозного отверстия. На первом этапе осуществляют химическое меднение, чтобы получить тонкий проводящий слой на стенках отверстия для последующей электрохимической металлизации.

Нужно принимать во внимание, что система полиимид-акрилат, используемая в качестве основы гибких слоев, обладает повышенной чувствительностью к горячим крепким щелочным растворам. При химическом меднении высокая щелочность может присутствовать в ванне очистки/кондиционирования и в ванне металлизации. Высокое значение pH и высокая температура раствора очистки и кондиционирования может вызвать сильное разбухание акрилового адгезива. Обычно медь достаточно хорошо осаждается на разбухший адгезив, но при действии на плату высоких температур в ходе последующих операций может происходить растрескивание медной гильзы, усадка адгезива под прилегающие слои и расслоение изделия. Кроме того, горячие сильные щелочные растворы могут повредить и поверхность полиимидной пленки, что затруднит получение хорошего сцепления осаждаемой меди с полиимидной поверхностью.

Для очистки поверхности под металлизацию идеально подходит среднещелочной раствор (pH порядка 9–11) с температурой около 50...60 °С. Он не столь крепок, чтобы вызвать разбухание адгезива, но достаточно активен, чтобы активировать поверхность пленки.

На рынке имеется богатый выбор составов химического меднения со среднещелочными растворами для очистки. Хорошая металли-

зация получается при параметрах процесса, показанных в таблице 3.

Процесс ведут при концентрациях растворов, рекомендованных поставщиком. Противоокислительная обработка нужна только в том случае, если не предусмотрена сразу следующая за ней гальваническая затыжка. Толщина затыжки должна быть порядка 6–8 мкм. Гальваническую затыжку делают при работе по комбинированному позитивному методу, когда осаждению основной меди предшествует нанесение, экспонирование и проявление фоторезиста. За время проведения этих операций тонкая химически осажденная медь окислилась бы без возможности восстановления. В этих случаях лучше применить гальваническую затыжку, чем наращивание толстой химической меди. При осаждении толстой химической меди в ней создаются внутренние напряжения, которые могут оторвать медь от стенки отверстия, особенно на границе с полиимидом.

Осаждать химическую медь на большие поверхности довольно трудно. Если при перемешивании состава в гальванической ванне чешуйки химически осажденной меди начнут отлетать, то ванна будет испорчена. По этой причине большие поверхности полиимида, например, покровные пленки промежуточных слоев, должны быть закрыты, чтобы предотвратить осаждение на них меди. При использовании метода, требующего применения маскирующей ленты, необходимо обратить внимание на надежность приклейки, чтобы исключить возможность протечек.

Формирование рисунка схемы

Очистка меди перед нанесением фоторезиста

Методы очистки внешних слоев при формировании изображения аналогичны операциям, применяемым для внутренних слоев. Очистку внешних слоев, особенно механическую, следует вести очень осторожно, чтобы не повредить медь в металлизированных отверстиях.

Нанесение фоторезиста и формирование изображения

Для предотвращения заметного окисления меди фоторезист нужно наносить не позже 4 часов после очистки поверхности. Хранить очищенные заготовки необходимо в сухом шкафу до начала работы с ними.

Гибкие многослойные платы часто имеют неровную поверхность, что затрудняет нанесение фоторезиста. Для компенсации неровностей можно пользоваться более толстым резистом (например, 50 мкм) и более высокими давлениями ламинирования (300 кПа). При высоких давлениях рекомендуется применять утяжеленные валки. Можно воспользоваться вакуумным ламинатором, который предназначен для нанесения пленочной паяльной маски. Вакуумная техника обеспечивает более плотное прилегание фоторезиста к неровной поверхности.

Экспонирование и проявление фоторезиста следует вести по рекомендациям изготовителя резиста.

Металлизация медью и металлорезистом

Для наращивания проводящего слоя в сквозном отверстии, как правило, используют кислые серноокислые электролиты. В них можно получить хорошие характеристики осадков: пластичность 15–20% и прочность на разрыв 275–400 МПа. Тонкий слой или слой с плохими реологическими характеристиками может привести к трещинообразованию в металлизации отверстий.

Толщина металлизации определяется конструкцией или спецификацией, но обычно для гибко-жестких многослойных плат она составляет порядка 25 мкм.

Гальванический сплав олово-свинец или чистое олово осаждаются по меди и служат металлорезистом при травлении.

Удаление фоторезиста

Рельефный рисунок фоторезиста, использованный как маска при электрохимическом наращивании проводников, должен быть удален. Для этого используют растворы, рекомендованные для данного типа фоторезиста.

Наиболее частая проблема с осаждением металлорезиста — отрыв пленки фоторезиста, что ведет к осаждению под ним металла (образование так называемых «призраков»). Этот дефект обычно вызывает плохая очистка поверхности перед нанесением фоторезиста. Этот же дефект может быть обусловлен высокой концентрацией фтороборной кислоты в гальванической ванне осаждения гальванического сплава олово-свинец или низкой концентрацией борной кислоты. Низкая концентрация борной кислоты препятствует активизации фторводородистой кислоты.

Травление

Для травления меди обычно прибегают к щелочным растворам (например, аммиачный комплекс хлорной меди), которые не столь сильно действуют на металлорезист олово-свинец, как хлорная медь или хлорное железо.

При управлении процессом травления приходится опасаться как недотравливания, так и перетравливания.

Термообработка

Перед высокотемпературными ударами, связанными с пайкой, многослойные платы необходимо просушить. Как правило, с учетом толщины и конструкции платы, их выдерживают при 120 °С от 2 до 10 часов, чтобы удалить всю влагу, набранную из атмосферы и при химической обработке. Полиимидные пленки поглощают влагу очень быстро, поэтому пайку необходимо производить не позже чем через 30 минут после сушки. Если это невозможно, то изделия следует хранить в сухом шкафу (3–10% относительной влажност-

Таблица 3. Параметры процесса химического меднения полиимида

Операция	Температура, °С	Время, мин
1 Очистка и кондиционирование (Cleaner-Conditioner 230)	60	5
2 Микротравление H ² O ² /H ² SO ⁴	27	1
3 Декапир в 10% H ₂ SO ₄	нормальная	3
4 Предварительный катализатор 404	38	3
5 Катализатор 44	38	5
6 Химическое меднение 3350	46	30
7 Декапир в 10% H ₂ SO ₄	нормальная	2
8 Антиокислитель Cu56	нормальная	1

ти) или в запечатанных пластиковых пакетах с осушителем (например, силикагелем).

Для сублимационной сушки используют вакуумные шкафы. Тогда температуру сушки можно уменьшить до 65–80 °С. Вакуумная сушка при низких температурах значительно уменьшает окисление открытых медных поверхностей.

Если гибкие платы на основе полиимида с акрилатным адгезивом перед ручной пайкой, пайкой волной припоя, инфракрасной пайкой или пайкой в паровой фазе хранились в неопределенных условиях, их нужно еще раз подвергнуть сушке при температуре 120 °С в течение 2–10 часов в зависимости от толщины и конструкции платы.

Финишные покрытия под пайку

В главе 2 приведены характеристики различных покрытий под пайку. Они не требуют комментариев, кроме горячего облуживания с выравниванием припоя горячими воздушными ножами, то есть HASL-процесса (рис. 10). Облуживание гибких и гибко-жестких плат затруднено именно из-за их гибкости, мешающей погружению в расплавленный припой. Поэтому, если решено их облуживать горячим способом, то это нужно делать, пока платы находятся в состоянии заготовок с неснятыми жесткими крышками над гибкой частью, то есть когда жесткую заготовку можно погрузить в горячий припой. Конечно, можно облудить и готовую гибкую плату, но для этого необходимо спроектировать и изготовить специальное приспособление для размещения гибкой платы в жестком каркасе, позволяющем погрузить плату в припой и облудить ее упругими горячими струями воздушных ножей.

Типичными дефектами при нарушении параметров процесса или непригодной для этого конструкции являются пористость, расслоение, капиллярное подтекание припоя и трещины в металлизации отверстий.

Не рекомендуется для гибких плат использовать для тех или других целей инфракрасный нагрев, который обычно применяют в производстве жестких печатных плат. Желтый цвет полиимидной пленки способствует интенсивному поглощению ИК-энергии, что развивает высокие температуры в объеме материала, и это может привести к расслоению плат.

При появлении капиллярного подтекания припоя необходимо принять меры для сведения к минимуму времени обработки и темпе-

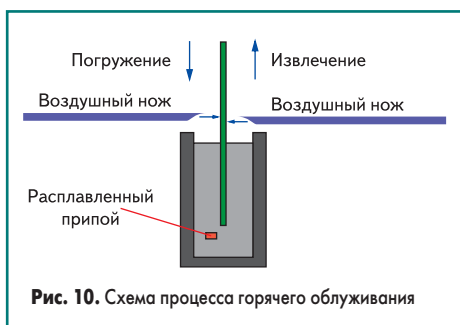


Рис. 10. Схема процесса горячего облуживания

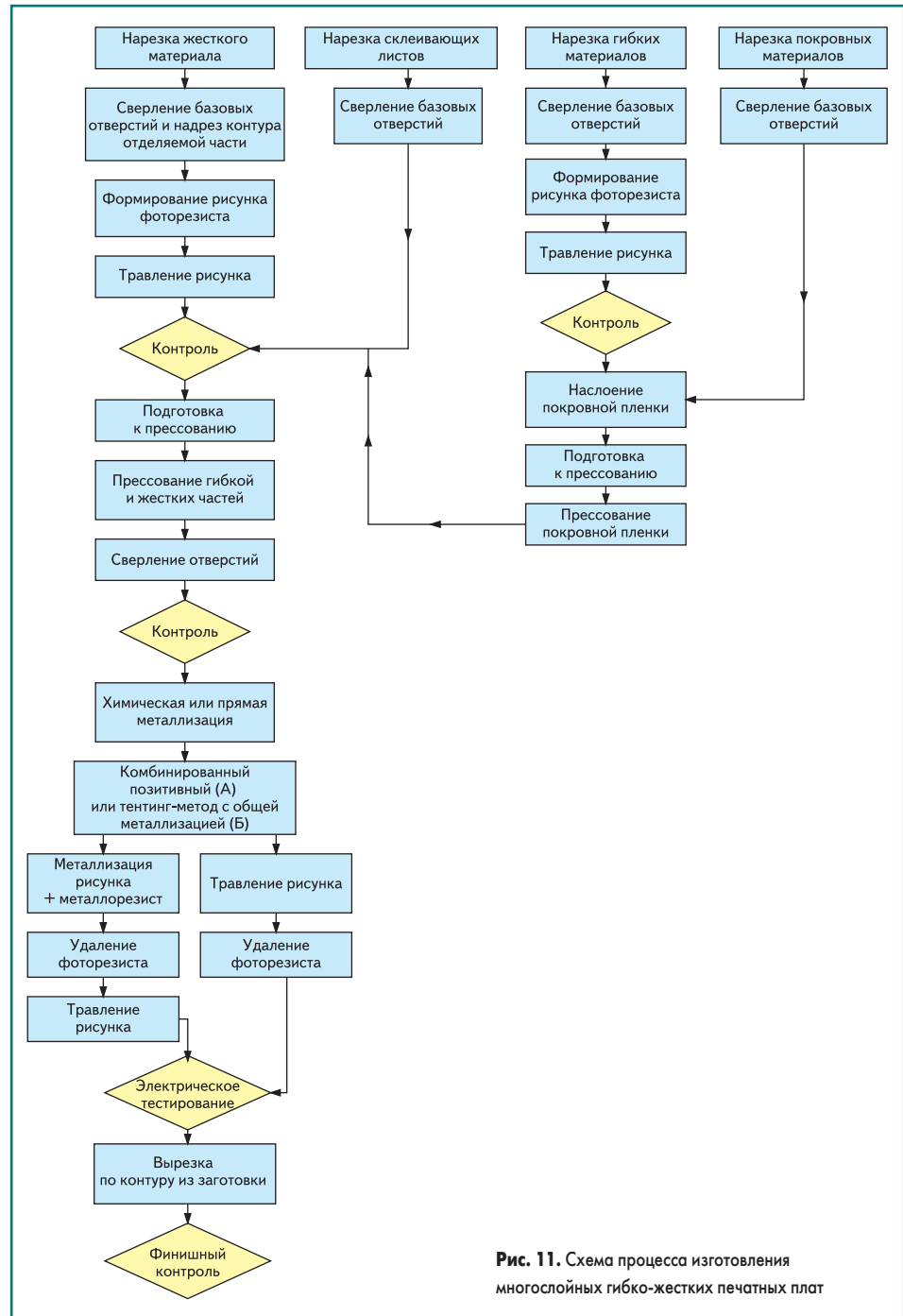


Рис. 11. Схема процесса изготовления многослойных гибко-жестких печатных плат

ратуры облуживания. Помогает справиться с этой проблемой сушка материала при 180 °С в течение 1 часа. Если такая сушка не действует, то проблема, видимо, связана с некачественным прессованием или плохой очисткой поверхностей на предыдущих стадиях производства.

Обработка по контуру

Вырезание контура многослойных печатных плат из заготовки, как правило, осуществляют фрезерованием, поскольку этот метод доступен на любом производстве. Особое внимание при фрезеровании контура следует обратить на предотвращение разрывов пленки в сужениях.

Основания многослойных плат обычно слишком толсты, чтобы их можно было высекать или обрубать стальными штампами или высечками. Когда контур платы имеет слож-

ную конфигурацию, изготовление штампа вообще становится нерентабельным.

В последнее время все чаще используют лазер для оформления контура плат. Его преимущества состоят в высокой производительности, отсутствии травмирования края и благоприятном оплавлении кромки контура, способствующем увеличению прочности на надрыв.

В местах соединения жесткой и гибкой частей платы обычно наносят буферный эластичный компаунд, чтобы снизить и более равномерно распределить напряжения в этом стыке при изгибах.

Схема изготовления

Схематическое представление о взаимосвязанности и последовательности операций изготовления многослойных гибких и гибко-жестких плат дано на рис. 11.

Заключение

Процесс изготовления многослойных гибких и гибко-жестких печатных плат значительно отличается от производства жестких многослойных плат. В первую очередь, это совершенно другие материалы на полиимидной основе. Их характерные особенности: более высокая температура прессования, усложнение процедур очистки отверстий, а также меньшая размерная устойчивость, что затрудняет совмещение элементов межсоединений в многослойных структурах. Прежде чем производство гибких и гибко-жестких многослойных печатных плат будет поставлено на поток, освоение их технологий будет сопряжено с большими издержками, связанными с обучением персонала, выбором гарантированных поставщиков базовых и химических матери-

алов и инструмента, эксплуатацией нового технологического оборудования.

Рынок гибких и гибко-жестких печатных плат растет, поэтому усилия на освоение их производства будут оправданны.

Литература

1. Медведев А., Люлина В., Мылов Г., Набатов Ю., Семенов П., Сержантов А. Производство гибких и гибко-жестких печатных плат. Часть 1. Производство гибких плат без металлизированных отверстий // Технологии в электронной промышленности. 2008. № 3.
2. Медведев А., Люлина В., Мылов Г., Набатов Ю., Семенов П., Сержантов А., Шкундина С. Производство гибких и гибко-жестких печатных плат. Часть 2. Производство гибких плат с металлизированными
3. Медведев А., Люлина В., Мылов Г., Набатов Ю., Семенов П., Сержантов А. Производство гибких и гибко-жестких печатных плат. Нанесение покровного слоя // Технологии в электронной промышленности. 2008. № 5.
4. Технологии в производстве электроники / Под ред. П. В. Семенова. Справочник по производству печатных плат. Часть II. Совместный проект ООО «Электрон-Сервис-Технология» и Гильдии профессиональных технологов приборостроения. М.: Группа ИДТ, 2007.
5. Технологии в производстве электроники. Часть III. Гибкие печатные платы / Под общ. ред. А. М. Медведева и Г. В. Мылова. М.: Группа ИДТ, 2008.