Начальный курс производства электроники.

Часть четвертая. Односторонние гибкие печатные платы. Процессы изготовления

Одну и ту же гибкую плату можно изготовить несколькими способами. Исходя из этого, приведенное ниже описание следует считать ознакомительным. В отдельных случаях рассматриваемые процессы аналогичны процессам производства жестких плат, в остальных же — отличны от них из-за расходящихся требований дизайна, материалов и технологии.

Аркадий Медведев
Аркадий Сержантов

Поскольку материал оснований гибких плат тонок и нестабилен по сравнению с основаниями жестких плат, для него устанавливаются допуски на все элементы конструкций шире принятых по ГОСТ 23751. Используемые в массовом производстве тонкие материалы, поставляемые в рулонах, способны сжиматься и/или растягиваться во время процесса, что влечет за собой возникновение специфичных трудностей. Поэтому для более ясного представления о процессах изготовления гибких плат наше описание будет основано на использовании листовых материалов (не рулонных), более простых в обработке. Они обычно предназначены для выпуска небольших партий или если требуется высокое качество плат. По ходу изложения делаются ссылки на уже рассмотренные ранее процессы.

Ниже приведено описание производства следующих видов гибких плат:

- односторонние;
- односторонние со сквозными отверстиями;
- двусторонние;
- многослойные;
- твердо-гибкие.

Самый простой вид гибких плат — односторонние без металлизации. Однако и при их производстве необходимо следить, чтобы не произошло разрыва или деформации тонких материалов. На рис. 1 представлена схема процесса изготовления односторонних гибких плат.

В одном из вариантов будет использован следующий материал (рис. 2):

- полиимидная пленка 50 мкм, покрытая с одной стороны медной фольгой толщиной 35 мкм при помощи 25-мкм акрилового клея;
- защитное покрытие, состоящее из полиимидной пленки 50 мкм и адгезива толщиной 25 мкм в стадии В.

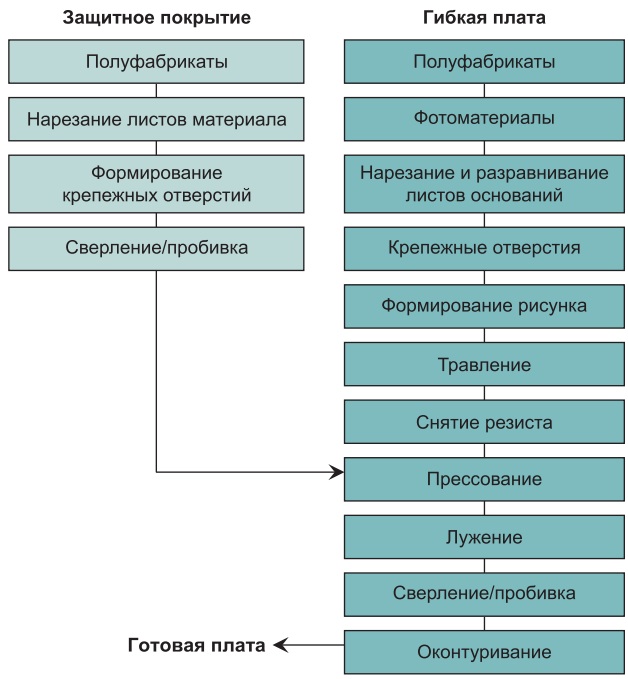

Рис. 1. Схема изготовления односторонней гибкой платы

Рис. 2. Структура материала для изготовления односторонних гибких плат

Фотошаблоны

В связи с высокой стоимостью полиимидной пленки следует располагать в заготовке рисунки гибких плат так, чтобы максимально использовать поверхность ее листа.

Нужно иметь в виду, что полиимидные пленки больше сжимаются в направлении их полива. С учетом этого на листе полиимида необходимо располагать гибкие платы таким образом, чтобы в длину они лежали перпендикулярно направлению полива, как показано на рис. 3.

Нарезание и разравнивание листов оснований

Раскрой полиимидного листа должен быть выполнен таким образом, чтобы каждая гибкая плата обеспечивалась технологическими полями. Более того, технологические поля должны быть защищены от травления, чтобы сохранить их медное покрытие. Получаемые по контуру плат медные «рамки» улучшают прочность и размерную устойчивость пленки и снижают риск ее разрыва в процессе изготовления плат.

При роликовом нанесении и припрессовывании медной фольги полиимидная пленка оказывается под давлением, в результате чего происходит ее выравнивание. Заготовки плат обрабатываются в прессе под температурой и давлением в течение одного часа, затем, не снимая давления, их охлаждают. Когда температура в прессе становится равной комнатной температуре, заготовки вынимают из пресса.

Базовые отверстия

Базовые (фиксирующие) отверстия служат для установки плат и позиционирования защитного покрытия. Для достижения лучшей точности их всегда следует размещать на технологических полях плат.

Формирование рисунка

При формировании рисунка, перед тем как наносить фоторезист, следует тщательно очистить медную поверхность платы. В отличие от жестких плат гибкие платы не подвергаются механической зачистке в конвейерном оборудовании, так как может быть поврежден их тонкий материал.

В небольшом производстве обычно используют ручную чистку пемзой; также возможна химическая очистка, слабо действующая на гибкий материал.

Выбор между сухим пленочным фоторезистом (СПФ) и трафаретной печатью производится в соответствии с рекомендациями, указанными для односторонних плат [1]. Чаще используют СПФ, поскольку его проще обрабатывать. Наслоение фоторезиста, совмещение фотошаблона, экспонирование и проявление рисунка выполняются по технологии, описанной в [2]. Проявление, однако, затруднено тем, что гибкий материал может быть «намотан» на барабаны конвейера, во избежание чего по краям листовой заготовки устанавливают длинные жесткие основания, закрепляющие материал. Точно так же поступают при травлении заготовки и снятии с нее фоторезиста.

После проявления фоторезиста получается позитивный рисунок платы, то есть слой резиста травления полимеризуется в местах будущих дорожек и контактов.

Травление

В целом процесс травления ненужных участков медного покрытия происходит по технологии, описанной в [1]. При этом во избежание повреждения тонкого материала основания не следует устанавливать большой напор струи.

Снятие фоторезиста

Снятие фоторезиста описано в [2]. Во избежание размягчения адгезива в щелочной среде необходимо сокращать время процесса и не устанавливать слишком большой напор струи.

Защитное покрытие

Обычно для финишного покрытия используют полиимидную пленку, на одну из сторон которой нанесен адгезив в стадии В. Для обеспечения герметичности покрытия рисунка защитное покрытие наносят под действием давления и температуры. Открытыми остаются лишь контактные площадки — для них делают специальные перфорации в защитном покрытии.

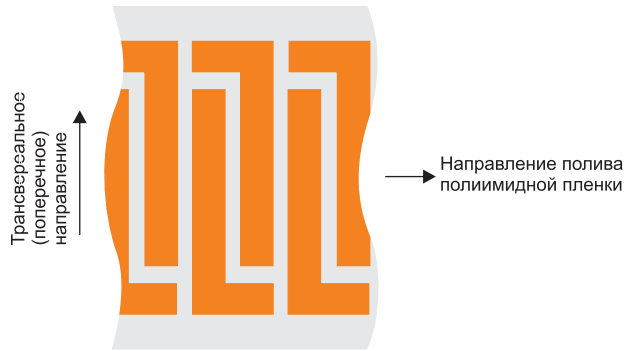

Рис. 3. Пример выполнения рисунка заготовки гибких плат

Необходимо, чтобы листы защитных покрытий по размеру были чуть меньше заготовок плат, так как при преждевременном покрытии краев плат оказавшиеся под защитным слоем пузырьки воздуха уже не смогут быть удалены.

Поставляемые листы защитных покрытий снабжены фиксирующими отверстиями, расположенными в соответствии с базовыми отверстиями заготовок гибких плат. Отверстия же под контактные площадки нужно перфорировать сверлением. При большом объеме производства их выгоднее пробивать в штампах.

Сверление отверстий в защитном покрытии выполняется так же, как и сверление жестких плат, — то есть одновременно сверлят стопку в 5–10 слоев. Однако для этого требуются несколько иные параметры сверления, так как в отличие от жестких плат гибкие платы представляют собой полиимидные основания без медных слоев, способных отводить тепло.

Если производится сверление больших листов защитного покрытия, необходимо учитывать возникающую погрешность совмещения заготовок плат. В некоторых случаях погрешность совмещения может достигать 0,2%.

Наслоение защитного покрытия

Предварительно нужно провести очистку медной поверхности протравленных заготовок гибких плат. Для уменьшения механического воздействия на заготовки обычно выбирают химическую очистку. Так как во время нее полиимид набирает в себя влагу, заготовки затем необходимо высушивать в печи при температуре +120 °С в течение 30 мин., иначе может произойти расслоение плат.

Затем листы защитного покрытия совмещают с заготовками плат. Возможно визуальное совмещение или же совмещение по фиксирующим отверстиям и штырям. Полученные заготовки сплавляют по углам паяльником.

Наслоение горячим прокатом

Наиболее выгодно проводить наслоение, пропуская платы с прикрепленным защитным покрытием между двумя горячими прессующими барабанами. Для этого необходимо, чтобы адгезив был термопластиком с низкой температурой плавления, например полиэфир. С учетом того, что наслаиваемые слои могут немного разойтись, часто нарушается точность их совмещения. Поэтому перфорации в защитном покрытии необходимо делать значительно больше требуемых размеров, чтобы компенсировать возникающую погрешность и обеспечить доступ к контактным площадкам.

Наслоение в прессовом оборудовании

Более дорогим методом является наслоение под действием давления и температуры в прессе. При этом достигается лучшее совмещение и герметичность слоев, а также становится возможным использование адгезивов на основе термореактивных полимеров — таких как эпоксидный и акриловый адгезив.

Прессование слоев платы между двух стальных плит пресса производится по технологии, описанной в [3]. Однако при прессовании гибких плат, для компенсации неровностей стальных плит и для более равномерного распределения давления на поверхность платы, необходимо ис-

пользовать выравнивающие прокладки. Те же прокладки служат для более плотного заполнения защитного покрытия между дорожек и вокруг контактных площадок.

В состав прокладок входит эквалайзер, выравнивающий давление (например, лист силиконовой резины на стеклополотне), средство передачи давления (лист тефлонового стеклополотна) и соответствующий разделительный материал (в частности, пленка политетрафторэтилена — фторопласта).

Для более эффективного использования производительности пресса одновременно прессуют несколько гибких плат. Для этого необходимо, чтобы каждая из них имела свои прокладки с разделительной стальной пластиной и чтобы все платы были выровнены относительно друг друга.

Следует использовать строго определенное количество адгезива, чтобы путем смачивания и заполнения им рисунка проводников обеспечить монолит — без пузырьков воздуха и без растекания избыточного адгезива на открытые контактные площадки. При толщине акрилового адгезива 25 мкм допускается растекание величиной 50–100 мкм, что нужно учитывать при проектировании и технологической подготовке проекта гибких плат.

На рис. 4 показан участок гибкой платы с контактной площадкой (в центре) и двумя проводниками рядом. Здесь используются полиимидные пленки толщиной 25 мкм (основание гибкой платы и защитное покрытие).

Отверждение адгезива в стадии B производят при температуре +175…+200 °C и давлении 15–25 кг/см^2 (213–355 psi) в течение одного часа. Затем, во избежание возникновения в платах внутреннего напряжения, нагретую стопку следует в течение 20 мин охлаждать, не снимая давления. После этого в течение двух часов производят окончательное термоотверждение плат в специальной печи при температуре +120 °C.

Трафаретные защитные покрытия

Наиболее простое и дешевое защитное покрытие — наносимая трафаретной печатью эпоксидная краска, отверждение которой достигается воздействием ультрафиолетовых лучей. По своим электрическим свойствам такое покрытие хуже полиимидной пленки; использовать его для динамичных (подвижных) гибких плат не рекомендуется, так как оно значительно ухудшает их гибкие свойства.

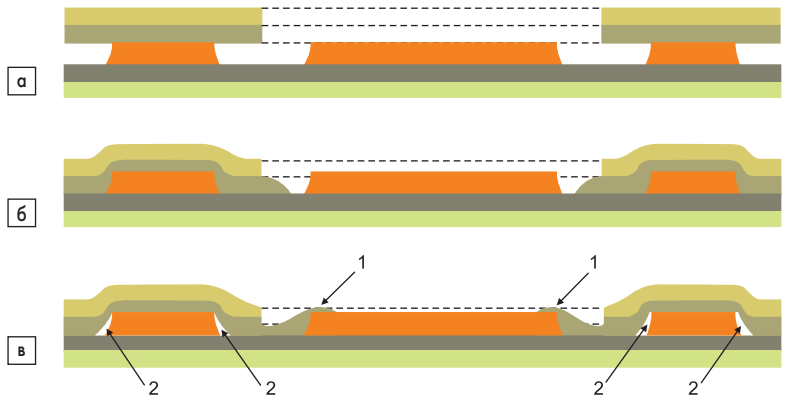

Рис. 4. Примеры наслоения защитной пленки:
а) перфорированная защитная пленка на заготовке в исходном состоянии. Хорошо видно, что отверстие в защитном слое просверлено больших размеров, чем контактная площадка;
б) хорошо выполненное наслоение защитной пленки;
в) плохо выполненное наслоение защитной пленки: 1 — пленка наплыла на контактную площадку; 2 — неплотности (пузырьки) по периметру профиля проводника

Лужение

После нанесения защитного покрытия и прессования гибкой платы производят лужение контактных площадок (монтажных поверхностей). В целом лужение происходит так же, как и лужение жестких плат, за исключением особых требований в связи с тем, что материалы оснований тонкие и гибкие. Для закрепления гибких плат, например при пропускании их между воздушных ножей, требуются специальные инструменты.

Поскольку во время очистки плат полиимид набирает в себя влагу, перед лужением необходимо производить сушку плат в печи при температуре +200 °C в течение одного часа. Иначе плата может расслоиться.

Сверление/пробивка отверстий

Сверление отверстий в контактах производится на станке с ЧПУ. При большом объеме производства отверстия пробивают в наборных штампах.

Процесс сверления аналогичен сверлению жестких плат, за исключением того, что для разных типов применяемого полиимида и адгезива необходимо устанавливать соответствующие параметры сверления — скорость вращения и подачи сверла.

Оконтуривание

На последнем этапе производится оконтуривание гибких плат. Для небольших объемов производства (менее 2500–5000 плат в месяц) используется так называемая мягкая технология. Она заключается в применении системы стальных ножей, закрепленных в листе фанеры и острых с одной стороны. Нужные прорези в фанере либо выпиливают, либо выполняют с помощью лазера. В совокупности все лезвия образуют контур платы; также возможно формировать и внутренние элементы контура (рис. 5).

Для оконтуривания заготовку платы устанавливают поверх стальных лезвий посредством системы фиксирующих штырей и собственных базовых отверстий платы. Под действием давления на установленную поверх платы пластиковую пластину (например, винипласт) выполняется оконтуривание.

Из-за погрешностей используемых стальных лезвий погрешность оконтуривания получается более ±0,5 мм. Особенно проблематично выдерживаются допуски радиусов скруглений краев плат. Поэтому всегда следует устанавливать радиус скруглений большим и увеличивать допуск их значений. Срок службы установки, показанной на рис. 4, составляет 5000 операций.

При меньших допусках на конфигурацию контура и/или больших объемах производства применяют так называемое жесткое оконтуривание. В этой технологии для пробивки внешнего и внутреннего контуров используют пуансон и матрицу из более твердой стали (рис. 6). Подобная установка часто конструируется таким образом, чтобы за один такт помимо оконтуривания пробивать и все отверстия контактных площадок. При неизменности контура платы срок службы такого

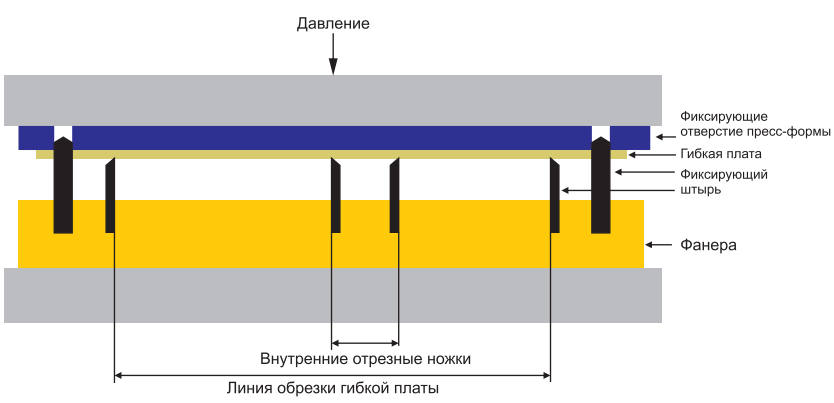

Рис. 5. Технологическое приспособление для обрезки гибких плат по контуру

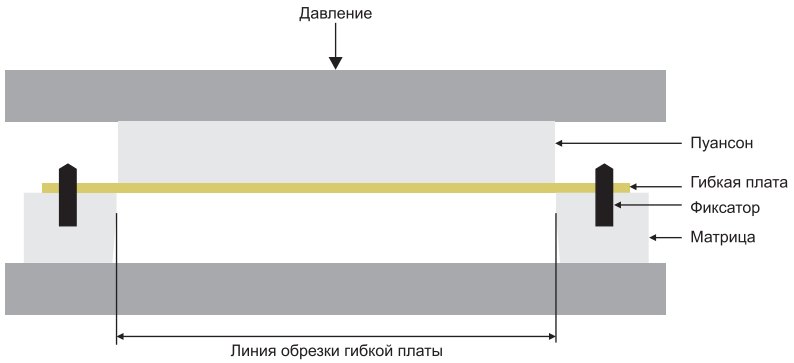

Рис. 6. Оконтуривание гибких плат в жестком штампе

штампа ограничивается лишь продолжительностью производства изделия. Погрешность всех измерений — линий внешних и внутренних контуров и положений отверстий — обеспечивается в пределах ±(0,1–0,2) мм.

Если изготовляемая гибкая плата предназначена для динамичного использования, необходимо, чтобы ее края были абсолютно ровными, поскольку малейший заусенец или надрыв способен привести к усталостному разрыву полиимидной пленки. Во избежание этого требуется при проектировании установки жесткого оконтуривания обеспечить плотный контакт пуансона и матрицы. Другим преимуществом жесткого оконтуривания является предотвращение формирования частичек полиимида по контуру гибкой платы, как при мягком оконтуривании. В частности, в компьютерах такие частички способны нарушить работу жестких дисков, загрязнив их рабочее пространство.

Литература

1. Медведев А., Арсентьев С. Иллюстрированная технология изготовления односторонних печатных плат. Часть 2 // Технологии в электронной промышленности. 2015. № 2.
2. Медведев А. Иллюстрированная технология печатных плат. Двусторонние печатные платы с металлизированными отверстиями // Технологии в электронной промышленности. 2015. № 1.
3. Медведев А., Сержантов А. Начальный курс производства электроники. Часть третья. Многослойные печатные платы // Технологии в электронной промышленности. 2015. № 3.