

# Технологии изготовления печатных плат

Вопрос о том, как можно дешево изготавливать печатные платы в домашних условиях, волнует радиолюбителей всего мира, наверное, с самого момента изобретения печатных плат. И если несколько лет назад выбор технологий был не так уж велик, то сегодня благодаря развитию современной техники радиолюбители получают возможность быстро и качественно изготавливать печатные платы без применения какого-либо дорогостоящего оборудования. Данная статья является попыткой обобщения всей известной информации о процессе изготовления печатных плат в домашних условиях. Из всего множества существующих технологий были выбраны только те, которые не требуют значительных материальных затрат и достаточно просты в осуществлении.

Собственно, весь процесс изготовления печатной платы можно условно разделить на пять основных этапов:

- предварительная подготовка заготовки (очистка поверхности, обезжиривание);
- нанесение тем или иным способом защитного покрытия;
- удаление лишней меди с поверхности платы (травление);
- очистка заготовки от защитного покрытия;
- сверловка отверстий, покрытие платы флюсом, лужение.

Мы рассматриваем только наиболее распространенную «классическую» технологию, при которой лишние участки меди с поверхности платы удаляются путем химического травления. Помимо этого, возможно, например, удаление меди путем фрезерования или с использованием электроискровой установки. Однако эти способы не получили широкого распространения ни в радиолюбительской среде, ни в промышленности (хотя изготовление плат фрезерованием иногда применяется в тех случаях, когда необходимо

очень быстро изготовить несложные печатные платы в единичных количествах).

Особенно хотелось бы отметить, что при изготовлении печатных плат в домашних условиях следует стремиться при разработке схемы использовать как можно больше компонентов для поверхностного монтажа, что в некоторых случаях позволяет развести практически всю схему на одной стороне платы. Связано это с тем, что до сих пор не изобретено никакой реально осуществимой в домашних условиях технологии металлизации переходных отверстий. Поэтому в случае, если разводку платы не удается выполнить на одной стороне, следует выполнять разводку на второй стороне с использованием в качестве межслойных переходов выводов различных компонентов, установленных на плате, которые в этом случае придется пропаивать с двух сторон платы. Конечно, существуют различные способы замены металлизации отверстий (использование тонкого проводника, вставленного в отверстие и припаянного к дорожкам с обеих сторон платы; использование специальных пистонов), однако все они имеют существенные недостатки и неудобны в использовании. В идеальном случае плата должна разводиться только на одной стороне с использованием минимального количества перемычек.

Остановимся теперь подробнее на каждом из этапов изготовления печатной платы.

## Предварительная подготовка заготовки

Данный этап является начальным и заключается в подготовке поверхности будущей печатной платы к нанесению на нее защитного покрытия. В целом за продолжительный промежуток времени технология очистки поверхности не претерпела сколько-нибудь значительных изменений. Весь процесс сводится

к удалению окислов и загрязнений с поверхности платы с использованием различных абразивных средств и последующему обезжириванию.

Для удаления сильных загрязнений можно использовать мелкозернистую наждачную бумагу («нулевку»), мелко-дисперсный абразивный порошок или любое другое средство, не оставляющее на поверхности платы глубоких царапин. Иногда можно просто вымыть поверхность печатной платы жесткой мочалкой для мытья посуды с моющим средством или порошком (для этих целей удобно использовать абразивную мочалку для мытья посуды, которая похожа на войлок с мелкими вкраплениями какого-то вещества; часто такая мочалка бывает наклеена на кусок поролона). Кроме того, при достаточно чистой поверхности печатной платы можно вообще пропустить этап абразивной обработки и сразу перейти к обезжириванию.

В случае наличия на печатной плате только толстой оксидной пленки ее можно легко удалить путем обработки печатной платы в течение 3–5 секунд раствором хлорного железа с последующим промыванием в холодной проточной воде. Следует, однако, отметить, что желательно либо производить данную операцию непосредственно перед нанесением защитного покрытия, либо после ее проведения хранить заготовку в темном месте, поскольку на свету медь быстро окисляется.

Заключительный этап подготовки поверхности заключается в обезжиривании. Для этого можно использовать кусочки мягкой ткани, не оставляющей волокон, смоченный спиртом, бензином или ацетоном. Здесь следует обратить внимание на чистоту поверхности платы после обезжиривания, поскольку в последнее время стали попадаться ацетон и спирт со значительным количеством примесей, которые оставляют на плате после высыхания беловатые разводы. Если это так, то стоит поискать другой обезжиривающий состав. После обезжиривания плату следует промыть в проточной холодной воде. Качество очистки можно контролировать, наблюдая за степенью смачива-

ния водой поверхности меди. Полностью смоченная водой поверхность, без образования на ней капель и разрывов пленки воды, является показателем нормального уровня очистки. Нарушения в этой пленке воды указывают, что поверхность очищена недостаточно.

### Нанесение защитного покрытия

Нанесение защитного покрытия является самым важным этапом в процессе изготовления печатных плат, и именно им на 90 % определяется качество изготовленной платы. В настоящее время в радиолюбительской среде наиболее популярными являются три способа нанесения защитного покрытия. Мы их рассмотрим в порядке возрастания качества получаемых при их использовании плат.

1. Ручное нанесение защитного покрытия. При этом способе чертеж печатной платы переносится на стеклотекстолит вручную при помощи какого-либо пишущего приспособления. В последнее время в продаже появилось множество маркеров, красителей которых не смывается водой и дает достаточно прочный защитный слой. Кроме того, для ручного рисования можно использовать рейсфедер или какое-либо другое приспособление, заправленное красителем. Так, например, удобно использовать для рисования шприц с тонкой иглой (лучше всего для этих целей подходят инсулиновые шприцы с диаметром иглы 0,3-0,6 мм), обрезанной до длины 5-8 мм. При этом шток в шприц вставлять не следует — краситель должен поступать свободно под действием капиллярного эффекта. Также вместо шприца можно использовать тонкую стеклянную или пластмассовую трубку, вытянутую над огнем для достижения нужного диаметра. Особое внимание следует обратить на качество обработки края трубки или иглы: при рисовании они не должны царапать плату, в противном случае можно повредить уже покрашенные участки. В качестве красителя при работе с такими приспособлениями можно использовать разбавленный растворитель битумный или какой-либо другой лак, цапонлак или даже раствор канифоли в спирте. При этом необходимо подобрать консистенцию красителя таким образом, чтобы он свободно поступал при рисовании, но в то же время не вытекал и не образовывал капель на конце иглы или трубки. Стоит отметить, что ручной процесс нанесения защитного покрытия достаточно трудоемок и годится только в тех случаях, когда необходимо очень быстро изготовить небольшую плату. Минимальная ширина дорожки, которой можно добиться при рисовании вручную, составляет порядка 0,5 мм.

2. Использование «технологии лазерного принтера и утюга». Данная технология появилась сравнительно недавно, однако сразу получила широчайшее распространение в силу своей простоты и высокого качества получаемых плат. Основу технологии составляет перенос тонера (порошка, используемого при печати в лазерных принтерах) с какой-либо под-

ложки на печатную плату. При этом возможны два варианта: либо используемая подложка отделяется от платы перед травлением, либо, если в качестве подложки используется алюминиевая фольга, она стравливается вместе с медью. Первый этап использования данной технологии заключается в печати зеркального изображения рисунка печатной платы на подложке. Параметры печати принтера при этом должны быть установлены на максимальное качество печати (поскольку в этом случае происходит нанесение слоя тонера наибольшей толщины). В качестве подложки можно использовать тонкую мелованную бумагу (обложки от различных журналов), бумагу для факсов, алюминиевую фольгу, пленку для лазерных принтеров, основу от самоклеящейся пленки Oracal или какие-нибудь другие материалы. При использовании слишком тонкой бумаги или фольги может потребоваться приклеить их по периметру на лист плотной бумаги. В идеальном случае принтер должен иметь тракт для прохождения бумаги без перегибов, что предотвращает смятие подобного бутерброда внутри принтера. Большое значение это имеет и при печати на фольге или основе от пленки Oracal, поскольку тонер на них держится очень слабо, и в случае перегиба бумаги внутри принтера существует большая вероятность, что придется потратить несколько неприятных минут на очистку печки принтера от налипших остатков тонера. Лучше всего, если принтер может пропускать бумагу через себя горизонтально, печатая при этом на верхней стороне (как, например, HP LJ2100 — один из лучших принтеров для применения при изготовлении печатных плат). Хочется сразу предупредить владельцев принтеров типа HP LJ 5L, 6L, 1100, чтобы они не пытались печатать на фольге или основе от Oracal — обычно подобные эксперименты заканчиваются плачевно. Также помимо принтера можно использовать и копировальный аппарат, применение которого иногда дает даже лучшие по сравнению с принтерами результаты за счет нанесения толстого слоя тонера. Основное требование, которое предъявляется к подложке, — легкость ее отделения от тонера. Кроме того, в случае использования бумаги она не должна оставаться в тонере ворсинки. При этом возможны два варианта: либо подложка после перенесения тонера на плату просто снимается (в случае пленки для лазерных принтеров или основы от Oracal), либо предварительно размачивается в воде и потом постепенно отделяется (мелованная бумага). Перенос тонера на плату заключается в прикладывании подложки с тонером к предварительно очищенной плате с последующим нагревом до температуры, немного превышающей температуру плавления тонера. Возможно огромное количество вариантов как это сделать, однако наиболее простым является прижим подложки к плате горячим утюгом. При этом для равномерного распределения давления утюга на подложку рекомендуется проложить между ни-

ми несколько слоев плотной бумаги. Очень важным вопросом является температура утюга и время выдержки. Эти параметры варьируются в каждом конкретном случае, поэтому, возможно, придется поставить не один эксперимент, прежде чем вы получите качественные результаты. Критерий тут один: тонер должен успеть достаточно расплавиться, чтобы прилипнуть к поверхности платы, и в то же время должен успеть дойти до полужидкого состояния, чтобы края дорожек не расплющились. После «приварки» тонера к плате необходимо отделить подложку (кроме случая использования в качестве подложки алюминиевой фольги: ее отделять не следует, поскольку она растворяется практически во всех травильных растворах). Пленка для лазерных принтеров и основа от Oracal просто аккуратно снимаются, в то время как обычная бумага требует предварительного размачивания в горячей воде. Стоит отметить, что в силу особенностей печати лазерных принтеров слой тонера в середине больших сплошных полигонов достаточно мал, поэтому следует по мере возможности избегать использования таких областей на плате, либо после снятия подложки придется подретушировать плату вручную. В целом использование данной технологии после некоторой тренировки позволяет добиться ширины дорожек и зазоров между ними вплоть до 0,3 мм.

3. Применение фоторезистов. Фоторезистом называется чувствительное к свету вещество, которое под воздействием освещения изменяет свои свойства. В последнее время на российском рынке появилось несколько видов импортных фоторезистов в аэрозольной упаковке, которые особенно удобны для использования в домашних условиях. Сущность применения фоторезиста заключается в следующем: на плату с нанесенным на нее слоем фоторезиста накладывается фотошаблон и производится ее засветка, после чего засвеченные (или незасвеченные) участки фоторезиста смываются специальным растворителем, в качестве которого обычно выступает едкий натр (NaOH). Все фоторезисты делятся на две категории: позитивные и негативные. Для позитивных фоторезистов дорожки на плате соответствуют черным участкам на фотошаблоне, а для негативных, соответственно, прозрачный. Наибольшее распространение получили позитивные фоторезисты как наиболее удобные в применении. Остановимся более подробно на использовании позитивных фоторезистов в аэрозольной упаковке.

Первым этапом является подготовка фотошаблона. В домашних условиях его можно получить, напечатав рисунок платы на лазерном принтере на пленке. При этом необходимо особое внимание уделить плотности черного цвета на фотошаблоне, для чего необходимо отключить в настройках принтера все режимы экономии тонера и улучшения качества печати. Кроме того, некоторые фирмы предлагают вывод фотошаблона на фотоплоттере — при этом вам гарантирован качественный результат.

На втором этапе на предварительно подготовленную и очищенную поверхность платы наносится тонкая пленка фоторезиста. Делается это путем распыления его с расстояния порядка 20 см. При этом следует стремиться к максимальной равномерности получаемого покрытия. Кроме того, очень важно обеспечить отсутствие пыли в процессе распыления — каждая попавшая в фоторезист пылинка неминуемо оставит свой след на плате.

После нанесения слоя фоторезиста необходимо высушить получившуюся пленку. Делать это рекомендуется при температуре 70 °С–80 °С, причем сначала нужно подсушить поверхность при небольшой температуре и лишь затем постепенно довести температуру до нужного значения. Время сушки при указанной температуре составляет порядка 20–30 мин. В крайнем случае допускается сушка платы при комнатной температуре в течение 24 часов. Платы с нанесенным фоторезистом должны храниться в темном прохладном месте.

Следующим после нанесения фоторезиста этапом является экспонирование. При этом на плату накладывается фотошаблон (желательно стороной печати к плате: это способствует увеличению четкости при экспонировании), который прижимается тонким стеклом или куском флексигласа. При достаточно небольших размерах плат для прижима можно использовать крышку от коробки компакт-диска либо отмытую от эмульсии фотопластинку. Поскольку область максимума спектральной чувствительности большинства современных фоторезистов приходится на ультрафиолетовый диапазон, для засветки желательно использовать лампу с большой долей УФ-излучения в спектре (ДРШ, ДРТ и др.). В крайнем случае, можно использовать мощную ксенонную лампу. Время экспонирования зависит от многих причин (тип и мощность лампы, расстояние от лампы до платы, толщина слоя фоторезиста, материал прижимного покрытия и др.) и подбирается экспериментально. Однако в целом время экспонирования составляет обычно не более 10 минут даже при экспонировании под прямыми солнечными лучами.

Проявление большинства фоторезистов осуществляется раствором едкого натра (NaOH) — 7 граммов на литр воды. Лучше всего использовать свежеприготовленный раствор, имеющий температуру 20 °С–25 °С. Время проявления зависит от толщины пленки фоторезиста и находится в пределах от 30 секунд до 2 минут. После проявления плату можно подвергать травлению в обычных растворах, поскольку фоторезист устойчив к воздействию кислот. При использовании качественных фотошаблонов применение фоторезиста позволяет получить дорожки шириной вплоть до 0,15–0,2 мм.

### Травление

Известно много составов для химического травления меди. Все они отличаются скоростью протекания реакции, составом выделяющихся в результате реакции веществ, а также доступностью необходимых для приготовления раствора химических реактивов. Ниже приведена информация о наиболее популярных растворах для травления.

1. Хлорное железо ( $\text{FeCl}_3$ ) — пожалуй, самый известный и популярный реактив. Сухое хлорное железо растворяется в воде до тех пор, пока не будет получен насыщенный раствор золотисто-желтого цвета (для этого потребуется порядка двух столовых ложек на стакан воды). Процесс травления в этом растворе может занять от 10 до 60 минут. Время зависит от концентрации раствора, температуры и перемешивания. Перемешивание значительно ускоряет протекание реакции. В этих целях удобно использовать компрессор для аквариумов, который обеспечивает перемешивание раствора пузырьками воздуха. Также реакция ускоряется при подогревании раствора. По окончании травления плату необходимо промыть большим количеством воды, желательно с мылом (для нейтрализации остатков кислоты). К недостаткам данного раствора следует отнести образование в процессе реакции отходов, которые оседают на плате и препятствуют нормальному протеканию процесса травления, а также сравнительно низкую скорость реакции.

2. Персульфат аммония ( $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ ) — светлое кристаллическое вещество, растворяется в воде исходя из соотношения 35 г вещества на 65 г воды. Процесс травления в этом растворе занимает порядка 10 минут и зависит от площади медного покрытия, подвергающегося травлению. Для обеспечения оптимальных условий протекания реакции раствор должен иметь температуру порядка 40 °С и постоянно перемешиваться. По окончании травления плату необходимо промыть в проточной воде. К недостаткам этого раствора относится необходимость поддержания требуемого температурного режима и перемешивания.

3. Раствор соляной кислоты (HCl) и перекиси водорода ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ). Для приготовления этого раствора необходимо к 770 мл воды добавить 200 мл 35 % соляной кислоты и 30 мл 30 % перекиси водорода. Готовый раствор должен храниться в темной бутылке, не закрытой герметически, так как при разложении перекиси водорода выделяется газ. Внимание: при использовании данного раствора необходимо соблюдать все меры предосторожности при работе с едкими химическими веществами. Все работы необходимо производить только на свежем воздухе или под вытяжкой. При попадании раствора на кожу ее необходимо немедленно промыть большим количеством воды. Время травления сильно зависит от перемешивания и температуры раствора и составляет порядка 5–10 минут для хорошо перемешиваемого свежего раствора при комнатной температуре. Не следует нагревать раствор выше 50 °С. После травления плату необходимо промыть проточной водой. Данный раствор после травления можно восстанавливать добавлением  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Оценка требуемого количества перекиси водорода осуществляется визуально: погруженная в раствор медная плата должна перекрашиваться из красного в темно-коричневый цвет. Образование пузырей в растворе свидетельствует об избытке перекиси водорода, что ведет к за-

медлению реакции травления. Недостатком данного раствора является необходимость строгого соблюдения при работе с ним всех мер предосторожности.

### Очистка заготовки, сверловка, нанесение флюса, лужение

После завершения травления и промывки платы необходимо очистить ее поверхность от защитного покрытия. Сделать это можно каким-либо органическим растворителем, например, ацетоном.

Далее необходимо просверлить все отверстия. Делать это нужно остро заточенным сверлом при максимальных оборотах электродвигателя. В случае, если при нанесении защитного покрытия в центрах контактных площадок не было оставлено пустого места, необходимо предварительно наметить отверстия (сделать это можно, например, шилом). Прижимное усилие в процессе сверления не должно быть слишком большим, чтобы на обратной стороне платы не образовывались бугорки вокруг отверстий. Обычные электродрели практически не подходят для сверления плат, поскольку, во-первых, имеют низкие обороты, а во-вторых, обладают достаточно большой массой, что затрудняет регулирование прижимного усилия. Удобнее всего для сверления плат использовать электродвигатели типа ДПМ-35Н и им подобные с насаженным на их вал небольшим цанговым патроном. После сверловки нужно обработать отверстия: удалить все заусеницы и заусенцы. Сделать это можно наждачной бумагой.

Следующим этапом является покрытие платы флюсом с последующим лужением. Можно использовать специальные флюсы промышленного изготовления (лучше всего смываемые водой) либо просто покрыть плату слабым раствором канифоли в спирте. Лужение можно производить двумя способами: погружением в расплав припой либо при помощи паяльника и металлической оплетки, пропитанной припоем. В первом случае необходимо изготовить железную ванночку и заполнить ее небольшим количеством сплава Розе или Вуда. Расплав должен быть полностью покрыт сверху слоем глицерина во избежание окисления припоя. Для нагревания ванночки можно использовать перевернутый утюг или электроплитку. Плата погружается в расплав, а затем вынимается с одновременным удалением излишков припоя ракемем из твердой резины.

### Заключение

В данной статье мы постарались осветить все наиболее удобные для применения в домашних условиях технологии изготовления печатных плат. Использование современных фоторезистов или технологии лазерного принтера и утюга позволяет получить достаточно хорошие результаты. Таким образом, у радиолюбителей появляется возможность изготовления печатных плат с минимальной шириной проводника порядка 0,2–0,3 мм, что еще десять лет назад было практически недостижимым даже при серийном производстве.

**Алексей Сигаев,  
Москва**