

Современный способ изготовления двусторонних печатных плат с высоким разрешением своими силами. Часть 1

Алексей Кузьминов

В статье приводится описание технологии изготовления печатных плат с высоким разрешением своими силами. Показано, что получение высококачественного фотошаблона с помощью лазерного принтера и использование новых светочувствительных материалов и новых источников ультрафиолетового излучения взамен традиционных существенно экономит время и материальные средства при изготовлении печатных плат. Описанная технология позволит разработчикам электронных устройств на современной элементной базе кардинально снизить время разработки и её стоимость благодаря оперативности и существенному удешевлению изготовления печатных плат.

Введение

Размеры компонентов, предназначенных для поверхностного монтажа (резисторы, конденсаторы, индуктивности, транзисторы и диоды, микросхемы и т.п.), в современных условиях имеют тенденцию к постоянному уменьшению. Так, например, если до последнего времени на платах традиционно использовались резисторы и конденсаторы размера 0603 (1,6×0,8 мм), то сейчас эти компоненты выпускаются уже размером 0402 (1,0×0,5 мм), 0201 (0,6×0,3 мм) и даже 01005 (0,4×0,2 мм). Расстояние между выводами современных микросхем доходит до 0,4 мм, а размер контактной площадки – до 0,25 мм.

Промышленное изготовление печатных плат с таким высоким разрешением, которое позволяет использовать подобные компоненты для поверхностного монтажа, в настоящее время не представляет абсолютно никакой проблемы. Но что делать разработчику, которому требуется сделать небольшую плату или даже всего лишь какую-либо плату-переходник, для того чтобы смонтировать то или иное устройство с использованием современных компонент для поверхностного монтажа? Один из вариантов – обращение в организации, которые могут профессионально изготовить подобные платы с необходимым разрешением. Однако этот путь достаточно затратен, а главное, относительно дорог. Второй вари-

ант – изготовить плату с высоким разрешением своими силами. Этот путь, на взгляд автора, достаточно оперативен и недорог, однако высокое разрешение печатной платы, которую необходимо изготовить, предъявляет повышенные требования к разводке такой платы, к изготовлению для неё фотошаблона с высоким разрешением, а также к изготовлению самой платы.

Если проблем с разводкой подобных плат в настоящее время нет (существует масса программ, позволяющих развести платы с необходимым разрешением, одна из которых, например, Sprint LayOut 6.0, используемая автором, позволяет это сделать достаточно просто и оперативно – отсюда и её название), то с изготовлением фотошаблона и самой платы дело обстоит не так просто.

Автором опубликовано несколько статей на эту тему (см. список литературы), однако к настоящему времени многое из опубликованного безнадежно устарело. Кроме того, сейчас появилось много новшеств, которые в статьях автора отсутствуют. И наконец, опубликованные сведения во многом отрывчаты и неполны.

В настоящей статье автором сделана попытка объединения всех сведений об изготовлении печатных плат своими силами, для того чтобы читатель получил наиболее полную информацию.

В статье также приведены сведения о том, как выпаять микросхемы для

поверхностного монтажа с платы, не повредив их, для повторного использования.

Изготовление фотошаблонов

Для изготовления фотошаблона для печатной платы подойдёт любой бюджетный лазерный принтер или МФУ (автор использовал МФУ hp LaserJet 3015). Печатать следует на специализированной прозрачной плёнке, которая в своём большинстве выпускается в формате А4 (297×210 мм, или приблизительно 30×21 см). Если плата небольшая, т.е. по длине не превышает 10 см, то для экономии плёнки имеет смысл разрезать её на три равные части шириной по 10 см и длиной 21 см. Такой формат имеет так называемый конверт Monarch. Для разводки платы автор использует хорошо известную программу Sprint LayOut 6.0. Печатать фотошаблон следует обязательно в двух экземплярах, из которых впоследствии выбрать наилучший, поскольку иногда случается, что на фотошаблон могут попасть мелкие частицы пыли или волоски, которые приводят к браку. Если длина разведённой платы не превышает 5 см, то по горизонтали на плёнку формата конверт Monarch поместится два изображения, которые следует отделить друг от друга на расстоянии 4–5 мм (рис. 1). В противном случае изображения следует печатать одно под другим на расстоянии 15–20 мм.

Перед печатью в настройках принтера (рис. 2) следует выбрать формат (Monarch), наибольшее разрешение печати (Высококачественная) и наибольшую плотность тонера (Тёмный). В других принтерах эти опции, как правило, имеются, но называются по-другому.

Выбор марки прозрачной плёнки также имеет особое значение. Автор экспериментировал с различными прозрачными плёнками, предназначенными для печати лазерными и струйными принтерами. Плёнки для лазерных принтеров, как правило, очень глад-

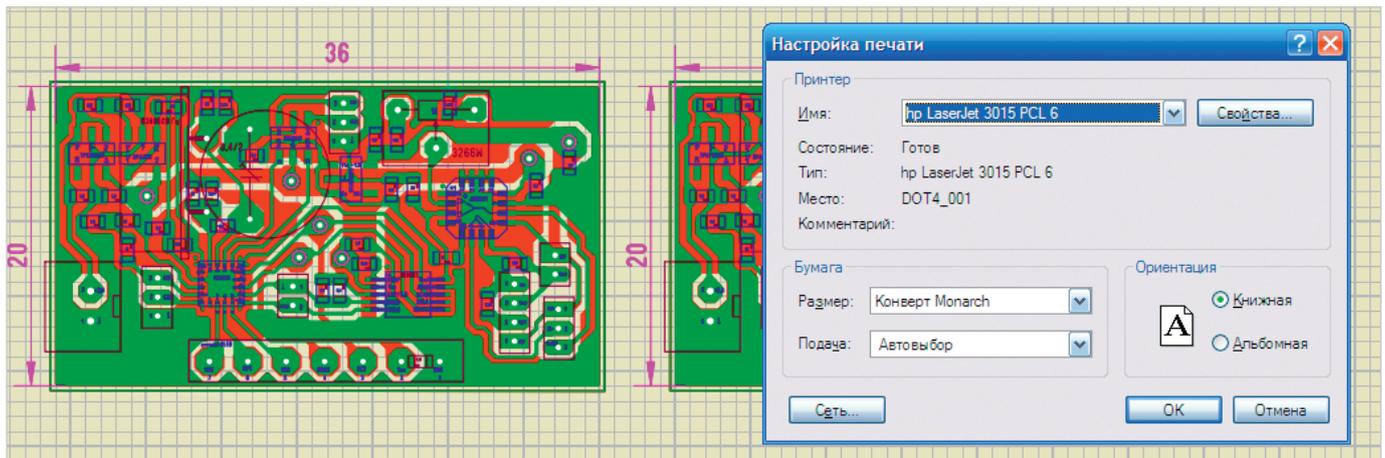


Рис. 1. Подготовка файла разведённой платы к печати

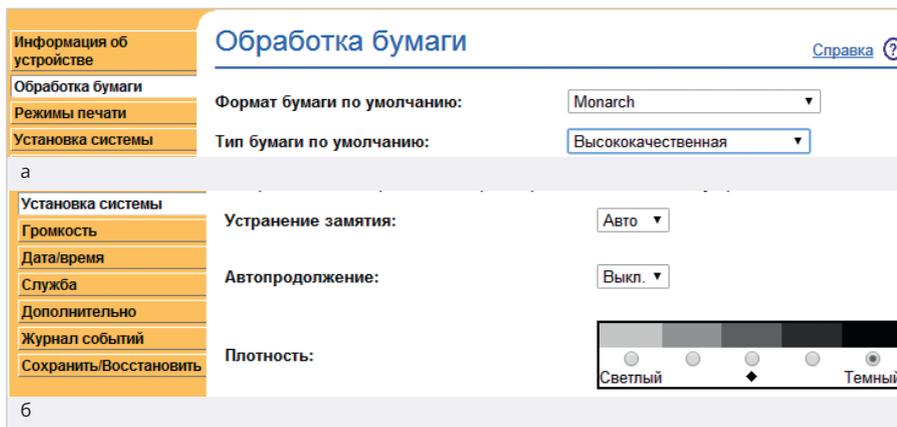


Рис. 2. Выбор опций принтера перед печатью: а – обработка бумаги, б – плотность тонера

кие, почти глянцевые, и их использование при печати бюджетным лазерным принтером приводит к двум неприятным эффектам. Во-первых, к таким плёнкам из-за их гладкости плохо прилипает тонер, поскольку печка, спекающая тонер, в таких принтерах предназначена для печати на бумаге, а при печати на плёнке интенсивность нагрева тонера недостаточна, и на изображении неизбежно появляются непропечатываемые прогалины (особенно на контактных площадках или полигонах), что приводит к браку. Во-вторых, усилие прижима плёнки к валкам, протаскивающим плёнку при печати, в бюджетных принтерах также небольшое и предназначено в основном для бумаги, которая не такая гладкая, как плёнка для лазерных принтеров. В связи с этим плёнка может немного проскальзывать, что также приводит к браку. Наилучшей плёнкой, по опыту автора, является универсальная прозрачная плёнка, предназначенная для печати лазерными и струйными принтерами Lomond 0710421 (рис. 3). Одна сторона этой плёнки, предназначен-

ная для печати на струйных принтерах, покрыта желатином и на ощупь достаточно шершавая, как, например, мелкая наждачная бумага. В связи с этим при печати даже при небольшом прижиме к валкам принтера такая плёнка не проскальзывает, и её строгое позиционирование позволяет получить высокое качество изображения. Вторая сторона этой плёнки не такая гладкая, как у плёнок для лазерных принтеров, и на ощупь скорее напоминает кальку. В связи с этим к такой плёнке тонер (даже при небольшом нагреве печки) прилипает идеально, и на изображении никаких прогалин не наблюдается.

Разумеется, при печати на профессиональных принтерах и достаточно сильный прижим плёнки к валкам, и существенно повышенный нагрев печки позволяет использовать любые прозрачные плёнки для печати на лазерных принтерах, и оба вышеописанных негативных эффекта отсутствуют (автор это проверял).

Сторону платы с расположением SMD-компонентов (слой M2) следует печатать в масштабе 1:1 с опциями «зеркально» и «чёрно-белый», а от верхнего края

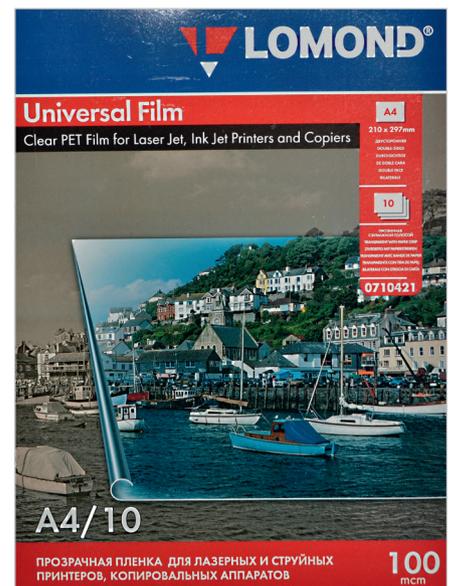


Рис. 3. Прозрачная плёнка Lomond 0710421 для печати на струйных и лазерных принтерах

плёнки следует отступить на 13–15 мм (рис. 4а). Обратную сторону шаблона (слой M1) следует печатать также в масштабе 1:1, «не зеркально» и «чёрно-белый», а от верхнего края плёнки следует также отступить на 13–15 мм (рис. 4б).

После того как обе стороны шаблона напечатаны, следует ножницами вырезать эти изображения, оставив сверху и снизу по 13–15 мм.

Далее необходимо максимально усилить плотность тонера. Для этого потребуются обзавестись герметичным контейнером (например, для бутербродов), мыльницей и решёткой для кухонной раковины, из которой (решётки) вырезать кусок соответствующего размера (рис. 5). Все эти приспособления должны быть исключительно из полипропилена или полиэтилена, чтобы они не растворились в атмосфере вещества, предназначенного для расплавления тонера и усиления

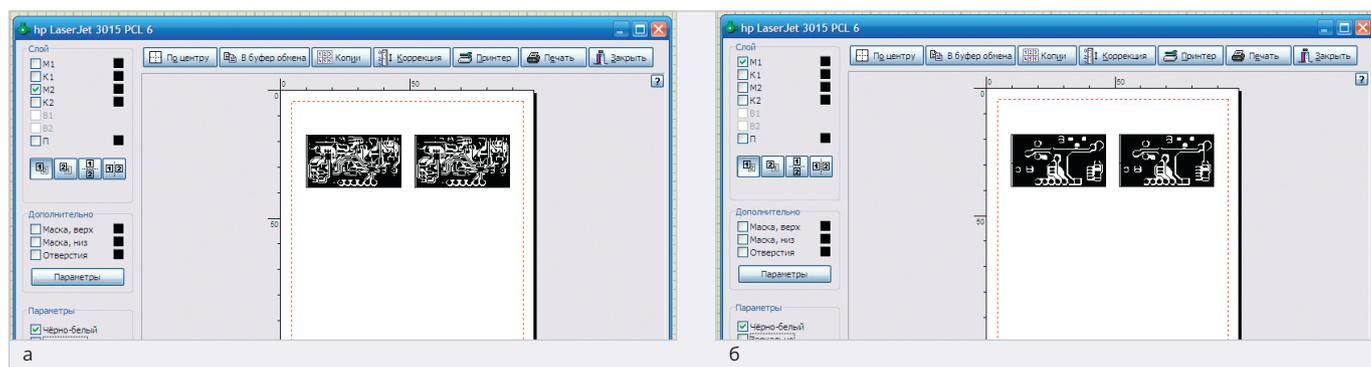


Рис. 4. Выбор опций для принтера в программе Sprint LayOut 6.0 для печати шаблона на стороне расположения SMD компонентов (а – слой M2), и обратной стороне (б – слой M1)



Рис. 5. Контейнер, мывальница и решётка

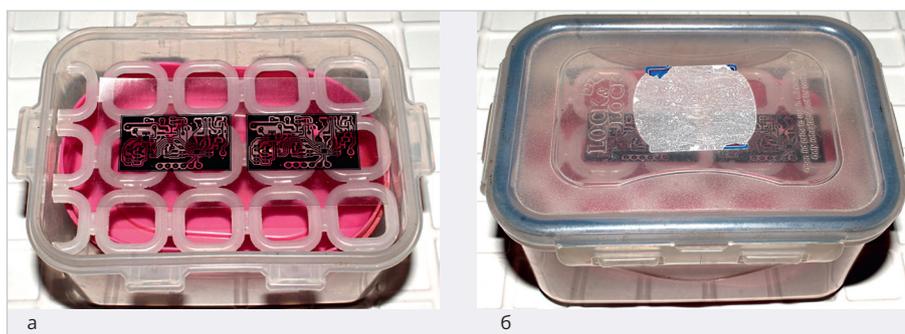


Рис. 7. Помещение фотошаблонов в атмосферу дихлорметана: а – контейнер открыт, б – контейнер закрыт

этим его плотности. Наилучшим растворителем для подобной задачи, по опыту автора, является дихлорметан (хлористый метилен, метиленхлорид) – рис. 6. Это вещество очень летучее, т.е. быстро испаряется, создавая необходимую атмосферу в контейнере. Оно нетоксично, имеет слабый ацетоновый запах, используется в пищевой промышленности для приготовления растворимого кофе, экстракта хмеля и даже в косметической промышленности для приготовления духов. По своей растворяющей способности дихлорметан существенно превосходит дихлорэтан, более распространённое и довольно токсичное вещество, имеющее резкий запах и использующееся в качестве растворителя для оргстекла и других пластмасс. Так, например, час выдержки напеча-

танного на плёнке изображения в дихлорметане соответствует примерно 3–4 часам выдержки в дихлорэтано. Кроме того, стоимость дихлорметана (примерно 300 руб. за 0,5 л) в полтора раза дешевле дихлорэтана (более 450 руб. за тот же объём).

После того как на плёнке напечатаны по два экземпляра фотошаблона для каждой стороны, потребуется их вырезать. Далее в мывальницу налить дихлорметан на глубину 5–7 мм, сверху положить решётку, на которую поместить плёнку с напечатанным изображением (рис. 7а), после чего плотно закрыть крышку и защёлкнуть её в предназначенных для этого пазах (рис. 7б). Выдержать контейнер при комнатной температуре около часа,



Рис. 6. Дихлорметан

после чего аккуратно открыть контейнер, чтобы не расплескать дихлорметан, взять пинцетом плёнку за край, не касаясь изображения, положить плёнку на ровную поверхность, прижать её с двух сторон какими-нибудь тяжёлыми предметами, чтобы она не скручивалась (рис. 8), и выдержать при комнатной температуре не менее часа. Аналогичную процедуру произвести со второй стороной фотошаблона.

Далее из двух экземпляров каждой стороны фотошаблона необходимо выбрать наилучший, внимательно просмотрев каждый из них с помощью лупы $\times 10$, и вырезать его ножницами. Также потребуются запастись несколькими инструментами: канцелярскими зажимами, медицинским

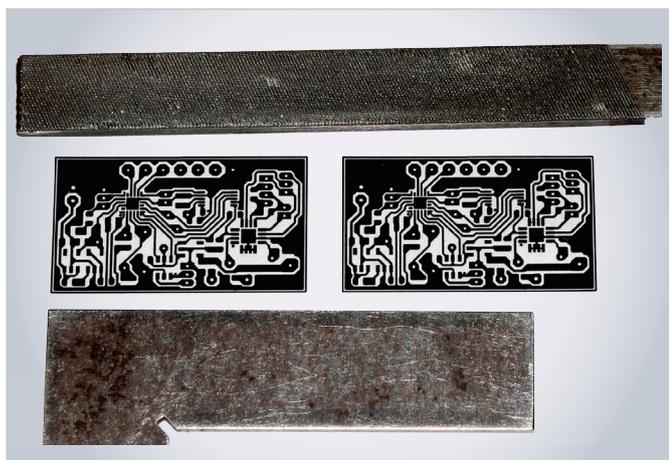


Рис. 8. Фотошаблон после дихлорметана под прессом



Рис. 9. Инструменты и приспособления для получения двустороннего фотошаблона



Рис. 10. Паяльные очки БЛ-2,5х

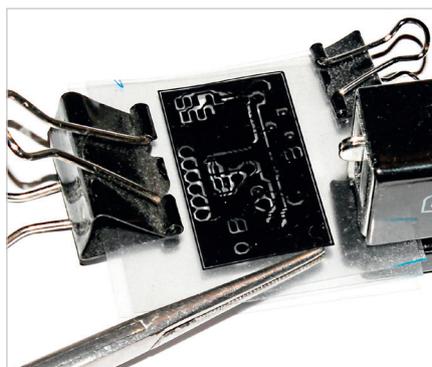


Рис. 11. Скрепление двух фотошаблонов

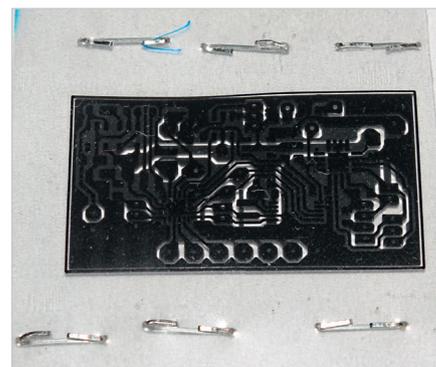


Рис. 12. Готовый фотошаблон

зажимом (корнцангом), небольшими плоскогубцами, пинцетом и степлером, обязательно с рычагом (рис. 9). Кроме того, необходимы паяльные очки +2...+3 диоптрии (рис. 10).

Надев очки, следует как можно точнее совместить оба изображения на шаблонах напечатанной стороной внутрь, скрепив на первых порах шаблоны канцелярскими зажимами. Далее, зажав один из краёв скреплённых шаблонов корнцангом во избежание сдвига двух плёнок, снять канцелярский зажим и скрепить это место степлером (рис. 11). Аналогичную процедуру провести со всеми четырьмя сторонами фотошаблона. Далее, зажав место шаблона рядом с соответствующей скобой корнцангом, распрямить плоскогубцами эту скобу, т.е. сплющить её углы. Эту процедуру необходимо провести с каждой скобой, после чего получим готовый фотошаблон (рис. 12).

Перенос изображения с фотошаблона на заготовку печатной платы

Для заготовки платы автор использует двусторонний стеклотекстолит компании Bungard, каждая сторона которого имеет медное покрытие толщиной

0,035 мм, поверх которого нанесён светочувствительный лак, а поверх него – специальная липкая светозащитная плёнка (рис. 13). Заготовка соответствующего размера вырезается обычным ручным лобзиком, а заусенцы снимаются напильником (№ 3) с мелким шагом. Кроме того, потребуется напильник (№ 2) с более крупным шагом (рис. 14). Размер заготовки по ширине должен превышать ширину платы на 2–3 мм с каждой стороны, а по длине – на 5–6 мм с каждой стороны.

После того как заготовка вырезана и с неё сняты заусенцы, необходимо подцепить иглой угол защитной плёнки и пинцетом аккуратно снять её с каждой стороны, не касаясь руками светозащитного лака, т.е. заготовку держать строго за боковые грани (рис. 15). Далее заготовку следует вставить внутрь фотошаблона так, чтобы с каждой узкой стороны осталось по 5–6 мм до края рисунка (рис. 16).

Для того чтобы прижать фотошаблон к заготовке с двух сторон, автор использует специальную рамку для контактной печати фотографий с фотопластинок и плоских плёнок размером 9×12 см, в которой имеется два стекла. На нижнее стекло помещается фото-



Рис. 13. Двусторонний стеклотекстолит, покрытый с двух сторон светочувствительным лаком и липкой непрозрачной плёнкой



Рис. 14. Инструменты для резки стеклотекстолита и снятия заусенцев с заготовки печатной платы

шаблон с заготовкой (рис. 17), сверху накладывается второе стекло, и далее вся конструкция зажимается двумя пружинными стальными полосками.

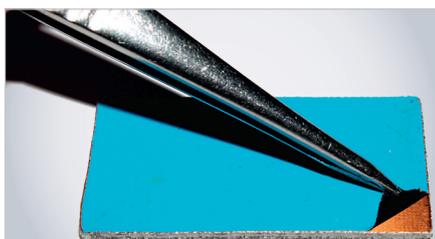


Рис. 15. Снятие защитной плёнки

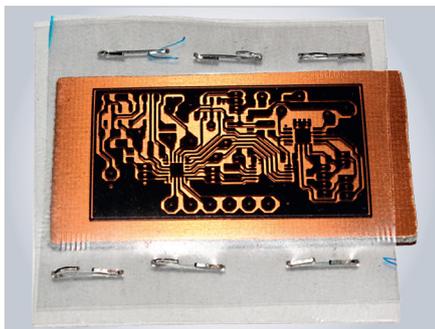


Рис. 16. Помещение заготовки внутрь фотошаблона

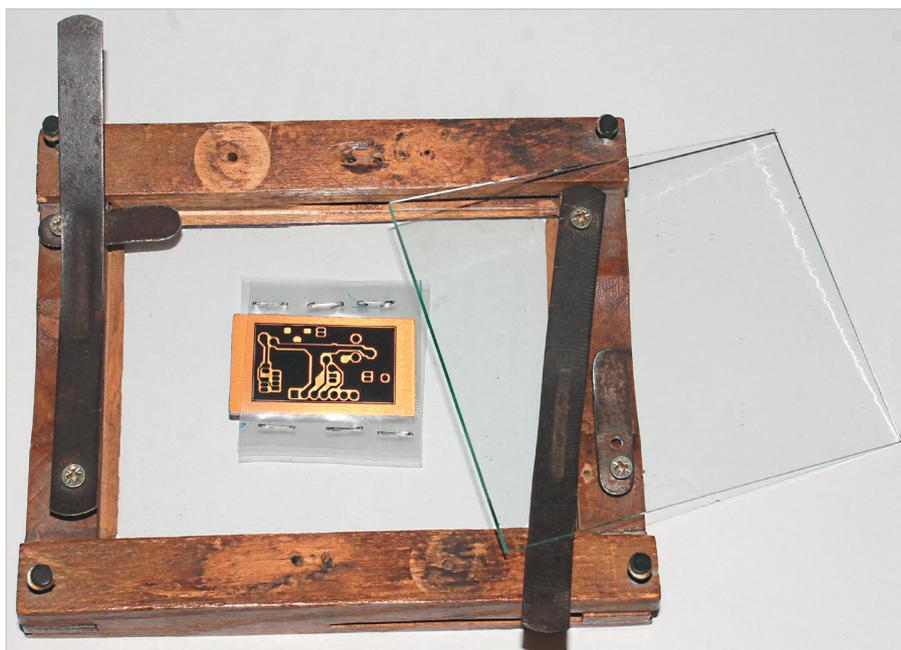


Рис. 17. Рамка для контактной печати снимков с фотопластинок и плоских плёнок формата 9×12 см



а



б

Рис. 18. Прижим фотошаблона к заготовке: а – вид со стороны расположения SMD-компонентов, б – вид с обратной стороны

Таким образом, каждая сторона фотошаблона плотно прижимается к каждой стороне заготовки (рис. 18).

Далее производится экспонирование заготовки с фотошаблоном с помощью ультрафиолетовой лампы. В качестве такой лампы автор использует светодиодную ультрафиолетовую лампу LDHN1621B со стандартным цоколем E27, мощностью 6 Вт, состоящую из 100 светодиодов, расположенных по кругу (рис. 19а). Лампу вкручивают в патрон светильника, оснащённого пантографом или иным устройством, позволяющим изменять расстояние до объекта освещения.

Экспонирование производится на расстоянии 40 см до рамки (рис. 19б). Вначале экспонируют одну сторону

рамки в течение 2 минут, затем рамку поворачивают на 180° и также в течение 2 минут продолжают экспонировать. После этого рамку переворачивают и аналогичным образом экспонируют вторую сторону. Таким образом, каждая сторона экспонируется в течение 4 минут. Поворачивание рамки требуется для того, чтобы исключить неравномерность засветки из-за не совсем точной перпендикулярности светового потока по отношению к плоскости рамки.

После того как экспонирование закончено, пользуясь пинцетом, заготовку аккуратно вынимают из фотошаблона, не касаясь её поверхностей, т.е. держа заготовку только за боковые грани. Далее, чтобы исклю-

чить касание поверхности заготовки дна кюветы для проявления (и для травления), на две боковые стороны заготовки необходимо надеть что-то вроде клипс. В качестве таких клипс автор использует два отрезка пластикового П-образного профиля, которые с хорошим натягом надеваются на две узкие стороны заготовки (рис. 20).

В качестве проявителя автор использует раствор для очистки труб «Крот» (последнее его название «Укротитель засоров»). Он представляет собой концентрированный раствор каустической соды (рис. 21а). Для приготовления проявителя в качестве мерки автор использует крышку от бутылки этого же «Крота», в которую доплна наливается раствор (рис. 21б). Далее берётся

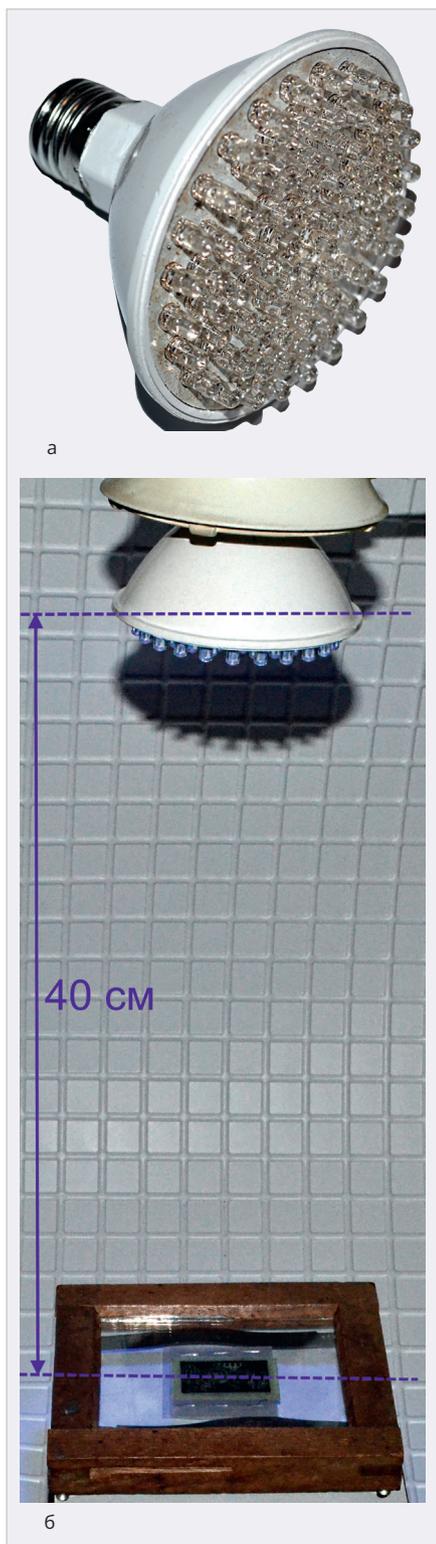


Рис. 19. Засветка заготовки УФ светодиодной лампой: а – светодиодная УФ-лампа LDH11621В, б – процесс засветки

такая же пустая бутылка (ёмкостью около 330 мл), наполняется до половины водой, в которую наливается жидкость из крышки, тщательно перемешивается, после чего дополняется водой до верхней границы широкой верхней цилиндрической поверхности бутылки. Далее крышка закручивается, ещё раз всё перемешивается и оставляется на час.



Рис. 20. П-образные пластиковые клипсы для заготовки



Рис. 21. Приготовление проявителя для заготовки печатной платы: а – очиститель труб «Крот», б – мерка для приготовления раствора проявителя

Готовый раствор наливается в кювету (автор использует для этого пустую полиэтиленовую коробку от зубного порошка), в которую помещается заготовка с надетыми клипсами (рис. 22). Все пузырьки воздуха, образующиеся при погружении заготовки в проявитель (как с одной, так и с другой стороны, для чего заготовку следует аккуратно перевернуть), необходимо удалить кисточкой с мягким ворсом. Время проявления – 5–7 минут. Температура проявителя комнатная (20–22°C). После



Рис. 22. Проявление заготовки в растворе «Крота»

погружения заготовки в проявитель через 3–4 минуты начинает проявляться изображение, и поверх него образуется фиолетовый налёт, который следует снимать кисточкой, попеременно переворачивая заготовку. После окончательного проявления раствор выливается, а заготовка тщательно промывается под сильной струёй холодной воды с использованием кисточки. При этом желательно также не прикасаться пальцами к поверхностям заготовки, держа её за боковые грани или клипсы.

Во второй части статьи будет рассказано о технологии травления печатных плат, а в третьей – о технологии монтажа элементов на плату.

Литература

1. Кузьминов А. Метод фоторепродукции для изготовления фотошаблона печатных плат в домашних условиях // Технологии в электронной промышленности. 2010. № 5. С. 17–23; № 6. С. 10–15; № 7. С. 8–15.
2. Кузьминов А. Изготовление устройств на печатных платах с высоким разрешением в домашних условиях // Технологии в электронной промышленности. 2010. № 8. С. 18–25; 2011. № 1. С. 9–13; № 2. С. 18–25.
3. Кузьминов А. Технология изготовления печатных плат с высоким разрешением в домашних условиях // Радио. 2017. № 10. С. 24–28.
4. Кузьминов А. Как использовать фольгу односторонней печатной платы в качестве общего провода // Радио. 2019. № 2. С. 28–30.
5. Кузьминов А. Тиристорный регулятор скорости вращения коллекторных двигателей постоянного тока // Современная электроника. 2013. № 2. С. 50–53.
6. Кузьминов А. Усовершенствованное устройство для выпаивания микросхем в корпусах QFN/QFP // Радиолюбитель. 2023. № 3–4. С. 60–66.
7. Кузьминов А. Регулятор мощности паяльника в сетевой вилке // Современная электроника. 2014. № 2. С. 48–49. ©