

## 1.12. ОБЗОР ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ МАКЕТИРОВАНИЯ И ПРОТОТИПИРОВАНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

**Цель лекции:** *Ознакомление с методами получения коммутационных структур в лабораторных условиях и лабораторным оборудованием для макетирования и прототипирования печатных плат.*

### 1.12.1. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА МАКЕТИРОВАНИЯ И ПРОТОТИПИРОВАНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Печатная плата является основой любого изделия электронной аппаратуры. Производство печатных плат – технологически сложный процесс, требующий использования дорогого оборудования. Внедрение таких технологий при производстве уникальных или единичных экземпляров коммутационных структур невозможно.

При необходимости частных или учебных целях возможным решением является использование КС собственного производства. Учитывая сложность технологии производства, возможно использование макетных плат.

Макетная плата представляет собой универсальную плату, предназначенную для сборки и испытаний ИЭТ. Это могут быть платы с множеством равномерно расположенных сквозных металлизированных отверстий, которые при сборке устройства могут быть спаяны между собой проводящими перемычками. Такие платы часто называют «плата универсальная». Существуют также макетные платы для монтажа выводных компонентов в гнездо без пайки. Беспаячные макетные платы изготавливаются из пластика и состоят из матрицы контактных посадочных мест с расстоянием между ними 2,54 мм, которое является стандартным шагом для производимых в мире электронных компонентов. С помощью таких плат можно быстро осуществить сборку и отладку электронной схемы с частой заменой радиодеталей без использования паяльника, что во многом ускоряет процесс разработки и отладки. Минусом таких плат является ненадежность беспаяного соединения и невозможность тестирования КМП. Кроме того, реализация устройств с высокой плотностью монтажа на макетных платах часто невозможна.

Современные устройства часто содержат схемотехнически и конструктивно сложные модули, которые необходимо тестировать на соответствие требуемым характеристикам перед запуском в серийное производство. Несомненным преимуществом любого предприятия, занимающегося разработкой изделий электронной техники, является наличие собственной технически оснащенной лаборатории, позволяющей сотрудникам создавать опытные образцы модулей ИЭТ на различных этапах проектирования в самые сжатые сроки.

Получение даже самых простых, односторонних или двухсторонних плат без металлизации отверстий, требует создания и отработки техпроцесса малосерийного производства. Сотрудники должны быть уверены, что при создании прототипа печатной платы они сэкономят время и смогут перейти от принципиальной схемы до тестирования готового устройства в течение 1-2 рабочих дней, в противном случае обустройство лаборатории не имеет смысла.

К методам лабораторного изготовления коммутационных структур можно отнести скрайбирование, лазерно-утюжный метод, фотолитографический метод, лазерную гравировку и фрезерование.

Лазерно-утюжный метод или лазерно-утюжная технология (ЛУТ) очень проста в реализации и не требует специализированного оборудования, однако вероятность добиться четкого рисунка даже третьего класса точности без повреждения проводников невысокая. У фотографического метода, как правило, качество и точность рисунка выше. Однако трудоемкость данного метода также повышается в сравнение с ЛУТ, так как метод содержит большее количество операций.

Скрайбирование, лазерная гравировка и фрезерование подразумевают удаление проводящего слоя (или полное удаление фольгированного стеклотекстолита) с пробельных мест проводящего рисунка. Скрайбирование, то есть механическая резка фольгированного стеклотекстолита, занимает очень большое количество времени, что делает его применение обоснованным только в случае несложных КС. Самым точным из этих методов является лазерная гравировка, однако сложность и цена оборудования гораздо выше по сравнению с другими методами. Автоматизированное фрезерование несколько уступает лазерной гравировке в качестве и точности получаемого проводящего рисунка, однако данный метод легче реализовать, что делает его популярнее. Неавтоматизированное фрезерование дает низкую точность при высоких трудозатратах. Автоматизированные методы заключаются в том, что топология печатной платы импортируется из специализированной САД (например, AltiumDesigner) и обрабатывается в ПО станка лазерной гравировки или фрезерования.

В качестве примера лаборатории рассмотрим оборудование фирмы LPKF ([www.lpkf.ru](http://www.lpkf.ru)) и некоторые инструменты:

- фрезерный станок LPKF ProtoMat S103;
- станок для трафаретной печати LPKFProtoPrintS;
- станок для экспонирования LPKFUV-Exposure;
- конвекционная печь LPKFProtoFlowS;
- полуавтоматический установщик компонентов SMDLPKFProtoPlaceS;
- рама LPKFZelFlexQR.



**Рис. 1. 32.** Изготовление макета ПП с использованием комплексного лабораторного производственного оборудования LPRF

Для получения рисунка проводящих слоев может быть использован фрезерный станок (рис. 1.33). На этом же станке могут быть выполнены операции обработки контура печатной платы и получение трафарета для нанесения паяльной пасты.



**Рис. 1. 33.** Фрезерный станок LPKFProtoMatS103

Данный станок является полностью автоматизированным. На встроенный вакуумный стол, позволяющий предотвратить перемещение заготовки, помещают фольгированный стеклотекстолит. Толщина материала стеклотекстолита и материала проводника измеряются автоматически, что позволяет рассчитать необходимую глубину фрезерования. Фрезерный двигатель и датчик глубины фрезерования являются самоочищающимися.

Максимальная рабочая зона станка 229 мм в ширину 305 мм в длину. Максимальная толщина 8 мм. Механическое разрешение 0,508 мкм. Станок оснащен 20 позициями сменного инструмента, который автоматически заменяется в процессе работы. Имеется функция автоматического нанесения паяльной пасты на контактные площадки.

Металлизация отверстий производится при помощи ручного инструмента (металлические заклепки), или оборудования для химического осаждения меди (материала проводника для металлизации отверстий).

ProtoFlow S – конвекционная печь для бессвинцовой пайки оплавлением припоя. Установка также позволяет осуществить ряд других операций, таких как сушка компонентов, монтируемых на плату, запекание клеящих веществ, упрочнение паст при помощи сквозной металлизации.

С помощью ЖК-дисплея и простой клавиатуры (рис. 1.34) можно выбрать множество заранее запрограммированных профилей процессов. Все параметры профиля, такие как температура и продолжительность процесса, могут быть запрограммированы индивидуально для отдельных стадий подогрева и оплавления. Профили определяются по именам, заданным пользователем.



**Рис. 1. 34.** Внешний вид установки конвекционной печи ProtoFlow S

Благодаря многопроцессорному контроллеру обеспечивается равномерное распределение тепла по всей площади ПП. С помощью USB-контроллера модуль записи профилей (до четырех необязательных дополнительных датчиков) обеспечивает мониторинг и запись температур на ПП или отдельных компонентах. Это же USB-соединение обеспечивает удобный способ создания и программирования профилей процессов с помощью компьютера.

На передней панели устройства в правом нижнем углу расположен выключатель питания. Когда питание включено, выключатель подсвечен. Для включения или выключения устройства достаточно одного нажатия. Рядом с выключателем находится USB-порт подключения типа А.

Необходимая информация отражается на четырехстрочном ЖК-дисплее, выбор в меню производится с помощью клавиатуры управления, стрелки которой перемещают в нужном направлении курсор на ЖК-дисплее. Среди доступных пунктов меню – выбор методов работы и настройка параметров.



**Рис. 1. 35.** Моторизированный выдвижной ящик

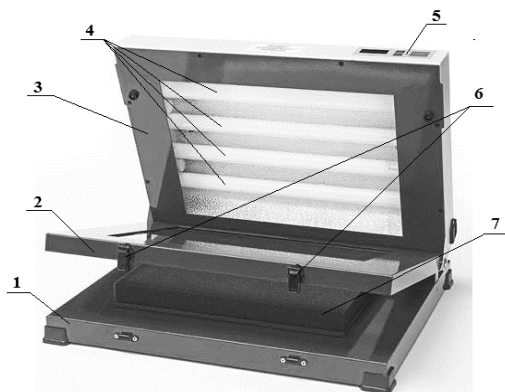
Внутри выдвижного ящика (рис. 1.34) располагается рабочее пространство для установки ПП. Алюминиевые накладки (рис. 1.35) скользят по двум стержням, что позволяет адаптировать крепежную систему к различным размерам печатной платы. Плату необходимо устанавливать либо на алюминиевые накладки, либо жестко крепить между ними. При поверхностном монтаже компонентов рекомендуется располагать ПП компонентами вверх для исключения их отрыва от поверхности платы и попадания в зону вентиляции. Не рекомендуется паять элементы с корпусами, выполненными из пластика, если в их технических характеристиках не указана возможность пайки при данных высоких температурах (максимальная температура оплавления  $320^{\circ}\text{C}$ ). Перед открыванием и закрыванием ящика подается предупреждающий звуковой сигнал и выводится сообщение на ЖК-дисплее. Смотровое окошко и внутреннее освещение позволяют в любой момент контролировать процесс.

Два регулируемых вентилятора установлены в нижней части ящика. Скорость охлаждения регулируется в диапазоне 0-100% с шагом 10%.

Встроенные датчики температуры обеспечивают максимальную оптимизацию процесса оплавления. USB-порт связи позволяет передавать данные на компьютер для анализа и редактирования.

Установка экспонирования UV ExposureUnit фирмы LPKF – установка настольного типа. Установка (рис. 1.36) состоит из основания 1, на котором располагается синтетическая подложка 7. На эту подложку располагают заготовку. Заготовку накрывают стеклом с металлической рамой 2 и плотно закрепляют крепежами 6.

После проверки правильности установки заготовки через стекло, крышку 3 приводят в горизонтальное положение. Далее, на панели меню 5 выставляют время работы УФ-ламп 4. После окончания экспонирования засвеченную заготовку извлекают из устройства.



**Рис. 1. 36.** Внешний вид установки UV-exposureUnit

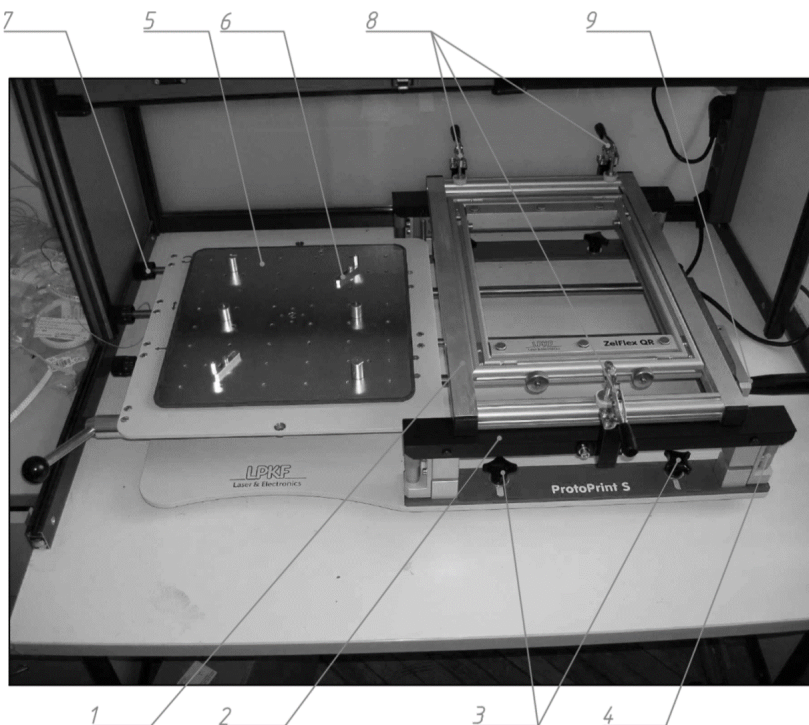
Установка экспонирования используется в операциях нанесения защитной паяльной маски и маркировки, а также может применяться для экспонирования рисунка с фоторезиста на заготовку при изготовлении печатных плат фотографическим методом.



**Рис. 1. 37.** Получение ПП с паяльной маской с использованием комплексного лабораторного производственного оборудования LPRF

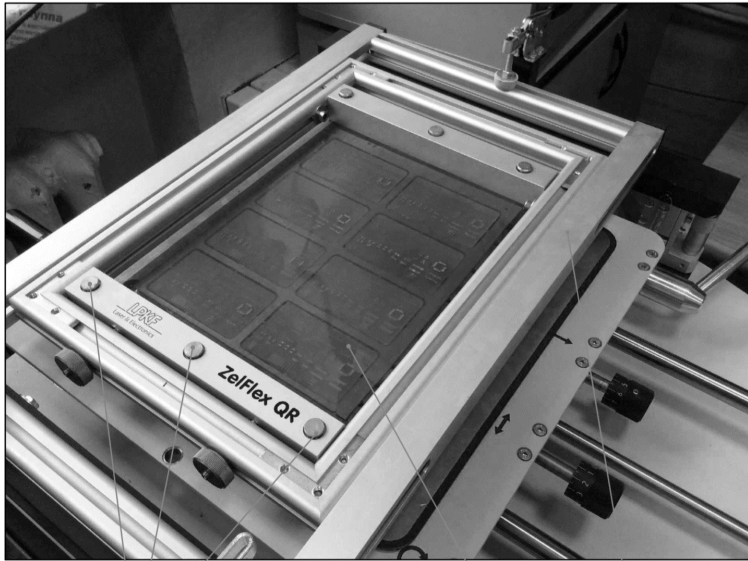
Установка ProtoPrint S RP представляет собой прецизионный ручной принтер трафаретной печати для нанесения паяльной пасты на контактные площадки (КП) проводящего рисунка печатной платы. Паста наносится ракелем путем продавливания через окна трафарета, плотно прилегающего к поверхности платы. Установка (рис. 1.38) состоит из двусторонней копировальной рамки 1 LPKF ZelFlex QR, установленной на жестком основании 2 с четырьмя регулируемыми ручками опоры 3. Горизонтальное положение рамки регулируется четырьмя микрометрическими винтами 4, расположенными по углам основания 2. Микрометры позволяют провести регулировку по высоте при нанесении пасты на печатные платы разной толщины.

На одном основании с копировальной рамкой расположен печатный стол 5, на котором на опорных штифтах 6 или цилиндрических магнитных опорах устанавливается печатная плата. Ручки юстировки 7 расположены с левой стороны печатного стола и позволяют юстировать стол по оси X и Y в диапазоне  $\pm 10$  мм и  $\pm 5^\circ$  по углу.



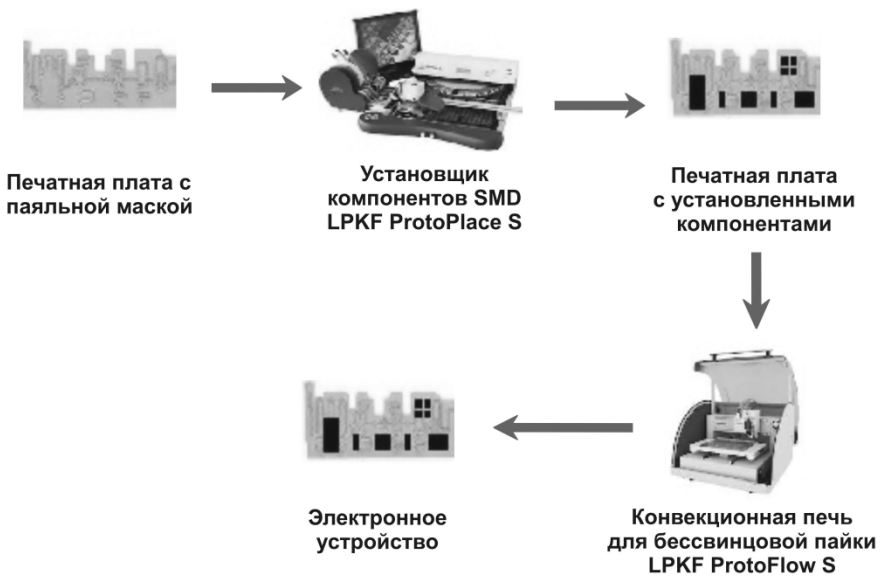
**Рис. 1. 38.** Внешний вид установки трафаретной печати ProtoPrint SRP

После юстировки (выравниванию) положения платы стол задвигается в зону копировальной рамы 1 (рис. 1.39), закрепленной фиксирующими кнопками 3 (рис. 1.39), на которой размещен трафарет 2 (рис. 1.39). Для фиксации копировальной рамы установка оснащена тремя шарнирно-рычажными зажимами 8 (рис. 1.38). Справа от копировальной рамы расположен подъемно-освобождающий рычаг 9 (рис. 1.38) для подведения платы к трафарету.



3 2 1

**Рис. 1. 39.** Трафарет и печатный стол в зоне копировальной рамы



**Рис. 1. 40.** Получение готового электронного устройства из печатной платы с нанесенной на нее паяльной маской с использованием комплексного лабораторного производственного оборудования LPRF



Существуют компактные установки поверхностного монтажа, которые могут быть размещены на столах или любых других горизонтальных поверхностях. В этом случае в основании располагаются массивные металлические пластины, задача которых – снизить вибрации, передающиеся как от другого оборудования, так и от работы собственных двигателей.

В качестве примера рассмотрим установку ProtoPlace S, которая предназначена для установки компонентов, монтируемых на поверхность печатной платы (КМП). Установка позволяет дозировать паяльную пасту на контактные площадки (КП) посадочных мест и устанавливать КМП, размещенные россыпью в таре или по номиналам в дисковых ленточных кассетах.

Установка (рис. 1.41) состоит из передней панели 1 с клавиатурой управления 2, монтажного микростола 3, на который устанавливают печатную плату собираемого модуля. Максимальный размер платы 297x420мм (формат А3). Плату размещают между двумя планками, из которых одна жестко зафиксирована, а другая подпружинена с возможностью регулировки. Возможна также установка платы на цилиндрические магнитные опоры, размещаемые на поддоне стола.

Точное положение монтажного стола по координатам X и Y можно корректировать с помощью микрометрических винтов 4, размещенных на передней панели устройства. Правый винт перемещает стол по оси X, левый – по оси Y. Световая точка в окне передней панели показывает положение стола относительно начала координат. Затрудненное вращение ручек микровинтов свидетельствует о достижении столом крайних положений по X и Y и требует прекращения корректировки положения стола, чтобы избежать поломки.

Установку компонента оператор осуществляет с помощью манипулятора 6, перемещаемого вручную по X и Y направляющим. На манипуляторе закреплен пневмопинцет (игла), наблюдаемый с помощью видеокамеры 5 на экране монитора 7 (рис. 1.41). При достаточном увеличении видно монтажное поле 2 (рис. 1.42) и контактные площадки, на которые необходимо установить чип-КМП или ИМС. Компоненты удерживаются иглой 3 (рис. 1.42) пневматически путем настройки регулятора 9 подачи воздуха (рис. 1.41). Угловым положением компонентов управляет оператор, вращая иглопинцет и наблюдая на экране положение компонента относительно контактных площадок посадочного места.

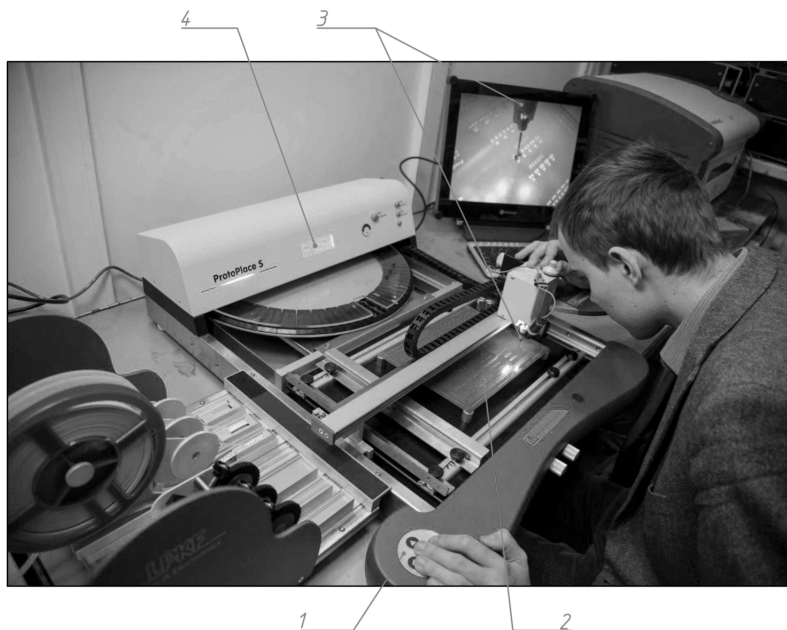
Необходимая информация отражается на дисплее 10 (рис. 1.41), а клавиатура управления 2, расположенная на передней панели 1, позволяет осуществить режим размещения компонента (Place) или дозирование пасты (Dispense) на КП.

Устанавливаемые компоненты находятся россыпью в ячейках, расположенных на поворотном столе 11. Стол можно вращать вручную или механизировано. Часть компонентов, поставляемых в дисковых ленточных кас-

сетях 12, находится на кронштейне устройства подачи, размещенном в левой части установки монтажа.



**Рис. 1. 41.** Внешний вид установки монтажа КМП



**Рис. 1. 42.** Рабочее положение оператора-монтажника при монтаже КМП

**Тесты к лекции 1.12**

1. Выберите верное утверждение:
  - а) Макетирование и прототипирование электронных схем упрощает и ускоряет процесс производства устройства;
  - б) Метод ЛУТ позволяет получить рисунок топологии более высокой точности и четкости, чем метод фотолитографии;
  - в) Фрезерование коммутационных структур менее распространено, чем лазерная гравировка.
  
2. При выполнении каких операций используется установка конвекционной печи?
  - а) При операциях пайки оплавлением припоя, при сушке компонентов, монтируемых на плату, запекании клеящих веществ, упрочнении паст;
  - б) При фрезеровке печатной платы;
  - в) При операциях нанесения защитной паяльной маски и маркировки, а также может применяться для экспонирования рисунка с фоторезиста на заготовку.
  
3. При выполнении каких операций используется установка экспонирования?
  - а) При операциях нанесения защитной паяльной маски и маркировки, а также может применяться для экспонирования рисунка с фоторезиста на заготовку;
  - б) При операциях пайки оплавлением припоя, при сушке компонентов, монтируемых на плату, запекании клеящих веществ, упрочнении паст;
  - в) При монтаже КМП.
  
4. Для чего применяют установку трафаретной печати?
  - а) Для нанесения паяльной пасты на контактные площадки;
  - б) Для печати трафарета нанесения паяльной пасты;
  - в) Для печати проводящего рисунка.
  
5. Установка ProtoPlace S...
  - а) Позволяет оператору устанавливать миниатюрные SMD компоненты, пользуясь прибором увеличения (камерой) и специализированного манипулятора;
  - б) Позволяет устанавливать миниатюрные компоненты автоматически;
  - в) Позволяет производить пайку SMD компонентов.