

Продолжение. Начало в № 7'2002

Лазерная обработка материалов в электронике

В прошлом номере журнала мы познакомили вас с одним из способов изготовления макетов печатных плат в лабораторных условиях. Начиная с 1976 года компания LPKF производит сверлильно-фрезерные станки семейства ProtoMat, позволяющие изготавливать печатные платы методом фрезеровки изолирующих дорожек на поверхности фольгированного материала. И уже более 25 лет продукция LPKF пользуется устойчивым спросом среди разработчиков электронных приборов. За это время сменилось не одно поколение станков. Росла их производительность, росла точность. Последние модели семейства ProtoMat позволяют сверлить в заготовке платы отверстия с минимальным диаметром 0,2 мм и фрезеровать проводящие дорожки с минимальной шириной 100 мкм и такими же изолирующими промежутками между дорожками.

Михаил Петров

petrov@spezial.ru

Но время не стоит на месте — электронные приборы становятся все сложнее, а габариты готового изделия стремительно сокращаются. Вспомните, ведь совсем недавно сотовый телефон даже и не назывался «мобильным». Это был ящик в пару килограммов весом и с соответствующими габаритами. А современный аппарат, несмотря на значительно возросшую сложность, по своим размерам уже вплотную приблизился к коробку спичек. Такая миниатюризация была бы немыслима без использования современной элементной базы в сверхминиатюрном исполнении.

Для миниатюрных компонентов и печатная плата нужна уже совершенно иная. Появился даже новый термин HDI (High Density Interconnect board) — соединительная плата высокой плотности. Производство таких плат уже невозможно без формирования переходных отверстий диаметром менее 40 мкм и печатных проводников шириной менее 50 мкм. И здесь современные технологии зашли в тупик: ни механическая, ни химическая технология уже не способны

обеспечить необходимую точность. Но выход был найден — лазерная обработка материалов.

LPKF ProtoLaser

На первом этапе, пока велись дальнейшие поиски оптимального решения, был выпущен промежуточный вариант станка для лазерной обработки печатных плат — LPKF ProtoLaser. Это устройство позволило не только почти вдвое повысить точность изготовления (проводники шириной 60 мкм с зазором между ними 40 мкм), но и сохранить своеобразную преемственность поколений. Ведь ProtoLaser представляет собой дополнительную приставку к стандартному сверлильно-фрезерному станку ProtoMat 95s (рис. 1).

Лазерная головка ProtoLaser закреплена непосредственно на рабочей головке станка ProtoMat. Такая комбинированная конструкция совместила в себе лучшие черты обеих технологий — механической и лазерной. Работая в тесном контакте, обе технологии взаимно дополняют друг друга и значительно расширяют функциональные возможности оборудования.

Использование механического инструмента позволяет быстро просверлить отверстия в плате и снять проводящее покрытие в местах, не требующих высокой точности. Поэтому несложные платы можно вообще обработать без использования лазера. Если же необходимой точности механического инструмента не хватает, то уже не обойтись без лазерной обработки. Сфокусированный лазерный луч обеспечивает испарение медной фольги в узких промежутках между проводниками. Малый диаметр пятна фокусировки позволяет довести минимальное расстояние между проводящими дорожками до 40 мкм — вдвое точнее механического метода.

Лазерная обработка может использоваться также для окончательной доводки уже профрезерованной платы. С помощью лазерного луча можно



Рис. 1. Внешний вид станка LPKF ProtoLaser

удалить оставшуюся в промежутках между печатными проводниками проводящую стружку или устранить другие дефекты механической обработки.

Лазерная обработка печатных плат

Несмотря на относительную простоту и высокие технические параметры комбинированной лазерно-механической системы, идеальное решение все равно состояло бы в разработке сравнительно недорогого полностью лазерного устройства, позволяющего с помощью единственного лазерного источника как обрабатывать проводящее покрытие на поверхности, так и сверлить отверстия в материале платы. В процессе исследований взаимодействия лазерного излучения с различными материалами, используемыми в электронной промышленности, стало понятно, что изготовить одно универсальное устройство на все случаи жизни не представляется возможным. Поэтому дальнейшие разработки разделились на несколько отдельных направлений.

Сверлильно-фрезерный станок для обработки печатных плат

Первое и самое очевидное направление состояло в простой замене механического сверлильно-фрезерного станка на полный его лазерный аналог. Такой станок должен осуществлять сверление переходных или сквозных отверстий в широком классе полимерных материалов, используемых при изготовлении печатных плат, а также фрезеровку изолирующих дорожек в металлической фольге.

Не секрет, что процесс лазерного разрушения материала уже стал ведущим методом изготовления прецизионных отверстий в печатных платах. Но в большинстве таких систем используется мощный CO₂ лазер, работающий в инфракрасном спектральном диапазоне. Излучение инфракрасного лазера хорошо поглощается органическим материалом подложки и позволяет осуществить сверление и обрезку плат. Но оно неспособно проникнуть через медное покрытие платы и практически не поглощается в нем. Поэтому перед сверлением отверстий требуется вскрытие медного покрытия платы химическим или механическим методом.

Оптимальное решение состоит в использовании для обработки платы ультрафиолетового лазера с длиной волны 250...350 нм. На такой длине волны большинство металлов, используемых для формирования проводящего покрытия печатных плат, обладает коэффициентом поглощения более 50% и легко испаряется при достаточной мощности излучения. Тем же лазером обрабатывается и полимерный материал самой платы. Причем большая энергия фотонов, составляющая в этой области спектра 3,5...7 эВ, вызывает разрушение химических связей, и удаление полимерного материала осуществляется не только за счет его испарения, но и за счет процесса фотохимического разрушения.

При использовании ультрафиолетового лазера полный цикл обработки печатной платы

может быть выполнен с использованием одного и того же источника излучения. Необходимо только жестко контролировать его выходную мощность. Ведь для формирования проводящих дорожек в металлическом покрытии платы требуется плотность мощности более 4 Дж/см², в то время как процесс разрушения полимерных материалов подложки осуществляется при плотности мощности около 100 мДж/см².

Второе преимущество использования ультрафиолетового лазера состоит в малом диаметре сфокусированного луча. Например, лазерный луч с длиной волны 355 нм обычно без проблем фокусируется в пятно диаметром около 20 мкм. Это позволяет напрямую формировать таким лучом переходные отверстия диаметром менее 50 мкм. Для CO₂ лазера диаметр пятна фокусировки составляет обычно около 70 мкм, что требует обязательного использования специальных масок для формирования луча необходимого диаметра.

LPKF MicroLine Drill

Приведенная выше концепция была реализована компанией LPKF в приборе, получившем название MicroLine Drill. В качестве источника излучения в станке MicroLine Drill используется Nd:YAG лазер, работающий на 3-й гармонике. Излучение лазера с длиной волны 355 нм хорошо поглощается как полимерными материалами подложек печатных плат, так и медью или другими металлами, используемыми для формирования проводящего покрытия. Благодаря высокой энергии фотонов на этой длине волны, разрушение полимерного материала подложки осуществляется не только за счет его испарения, но и за счет фотохимического разрушения. В результате стенки обрабатываемого отверстия остаются практически холодными и не требуется дальнейших операций по удалению продуктов плавления материала. «Холодная» обработка позволяет избежать также возникновения внутренних тепловых напряжений в обрабатываемом материале и его остаточной деформации.

Оптическая конструкция станка состоит из источника лазерного излучения, зеркальной отклоняющей системы, работающей под управлением компьютера, и специальной фокусирующей системы. Отклоняющая система обеспечивает векторное управление сканированием луча по участку рабочей поверхности площадью 55×55 мм². Затем обрабатываемый материал перемещается под лазерной головкой при помощи координатного стола, и осуществляется обработка других участков платы. Фокусирующая система всегда обеспечивает необходимое направление лазерного луча под прямым углом к поверхности обрабатываемого материала (рис. 2).

Механическая часть станка располагается на массивной гранитной плите, прецизионно отполированной до достижения поверхностной точности не хуже 3 мкм. Рабочий стол установлен на воздушной подвеске и приводится в движение при помощи линейных электродвигателей. Точность позиционирования



Рис. 2. Внешний вид станка LPKF MicroLine Drill

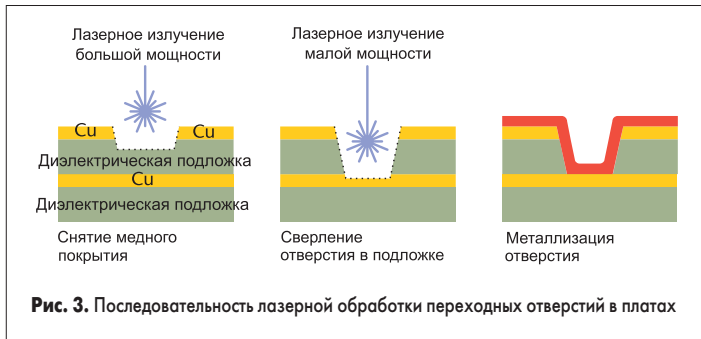
контролируется специальными датчиками, что гарантирует повторяемость перемещения с точностью не хуже 1 мкм. Вмонтированный в поверхность стола оптический датчик позволяет скорректировать оптические искажения по всей области сканирования. Соответствующий массив корректирующих коэффициентов заносится в память компьютера и используется в дальнейшем для коррекции положения лазерного луча в процессе сканирования. Весь процесс калибровки выполняется автоматически и занимает порядка 1 минуты.

Обрабатываемый материал закрепляется на вакуумном столе с сотовой структурой ячеек. Отклонения в положении обрабатываемого материала регистрируются по специальным реперным точкам при помощи ПЗС-камеры высокого разрешения и в дальнейшем компенсируются программно. Любая неплоскостность обрабатываемого материала регистрируется специальным датчиком поверхности с разрешением 1 мкм, и эти данные используются для программного управления фокусировкой лазерного луча.

Основные технические параметры станка LPKF Laser Drill приведены в таблице 1.

Таблица 1. Основные технические параметры станка LPKF Laser Drill

Рабочая область	640×560×50 мм
Толщина материала	50 мкм...40 мм
Скорость обработки отверстий	до 250 отв./с (d = 50 мкм, 17 мкм медь + 50 мкм полимер)
Диаметр обрабатываемых отверстий	30...300 мкм
Скорость обработки изолирующих дорожек	до 300 мм/с, в зависимости от материала
Ширина изолирующих дорожек	> 20 мкм
Входные форматы данных	Gerber, HPGL, Sieb&Meier, Excellon
Длина волны лазера	355 нм
Частота повторения импульсов	10...50 кГц
Длительность импульса	> 140 нс
Область сканирования	50×50 мм
Привод рабочего стола	линейные электродвигатели
Подвеска рабочего стола	воздушная
Повторяемость перемещения стола	± 1 мкм
Крепление платы	вакуумное
Привязка к поверхности	по реперным точкам при помощи ПЗС-камеры
Размер станка	2300×1650×1500 мм
Вес станка	3500 кг
Размер лазерного источника	600×950×1800 мм
Размер сканирующей головки	5300×600×900 мм



Обработка отверстий

Обработка прецизионных переходных отверстий в многослойных материалах осуществляется в три этапа (рис. 3):

1. С необходимого участка поверхности платы снимается проводящее покрытие. Это осуществляется при плотности мощности излучения, достаточной для испарения металлического покрытия. Когда на поверхности платы остается достаточно тонкий слой металла, излучение лазера начинает частично проникать сквозь него, достигая материала подложки. Поэтому окончательное удаление проводящего покрытия осуществляется не только за счет испарения самого металла, но и за счет взрывообразного разрушения материала подложки, срывающего с поверхности остатки фольги. После окончания первого этапа обработки в необходимых местах поверхности платы проводящее покрытие снято, и материал подложки под этими участками частично разрушен.

2. Плотность мощности лазерного излучения снижается до уровня, оптимального для обработки полимерного материала подложки, и осуществляется дальнейшая обработка отверстия. Поскольку мощности излучения уже не хватает для испарения металла, то когда отверстие достигает следующего слоя фольги, его разрушения не происходит — поверхность фольги покрывается микроскопическими раковинами, обеспечивающими необходимую шероховатость поверхности.

В случае, если переходное отверстие должно соединять три и более слоев печатной платы, то мощность лазера снова повышается для прохода сквозь следующий проводящий слой, и обработка повторяется с первого этапа. По окончании второго этапа обработки мы имеем готовое отверстие в плате, уже очищенное от посторонних материалов и с шероховатым дном (рис. 4).



3. На третьем этапе осуществляется металлизация переходного отверстия любым доступным способом (рис. 5). При этом отличное сцепление материала металлизации с внутренним слоем фольги достигается благодаря шероховатости ее поверхности, полученной в результате обработки на втором этапе.



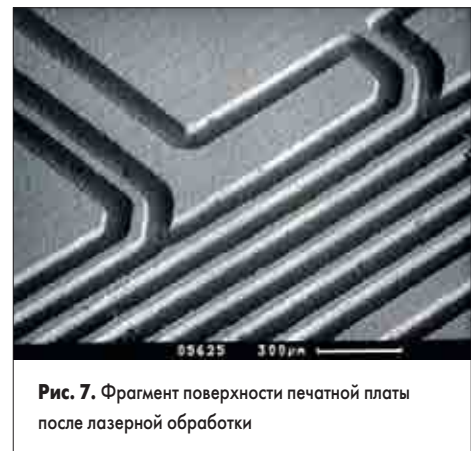
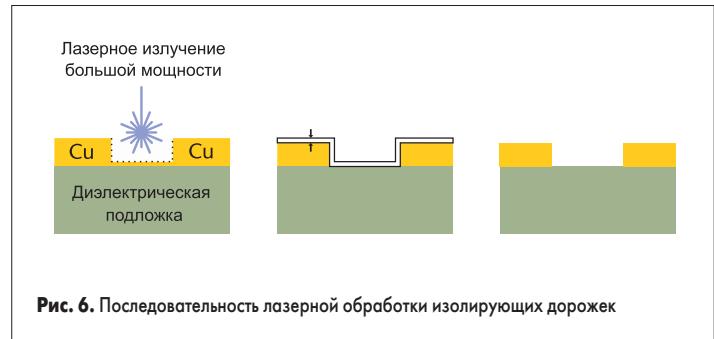
Обработка дорожек на поверхности платы

Обработка изолирующих дорожек в проводящем покрытии печатной платы осуществляется также поэтапно (рис. 6). Дело в том, что при малой толщине фольги мощное излучение ультрафиолетового лазера начинает проникать сквозь слой металла и разрушает материал подложки под обрабатываемым участком. Поэтому процесс обработки вынужденно разбивается на два этапа:

1. Излучение ультрафиолетового лазера большой мощности используется для испарения металлического покрытия на поверхности платы. Когда остаточная толщина покрытия составляет всего единицы микрон, лазерная обработка прекращается, чтобы избежать разрушения материала подложки.

2. Дальнейшее удаление проводящего покрытия осуществляется стандартным химическим способом. Но поскольку травлением необходимо снять всего несколько микрон проводника, то процесс протекает достаточно быстро и практически не вызывает подтравливания проводящих дорожек.

В результате комбинированной лазерно-химической обработки материала становится возможным сформировать на поверхности платы структуру проводящих дорожек с шириной и расстоянием между ними, приблизительно равными первоначальной толщине проводящего покрытия. Минимальные же размеры структуры определяются ди-

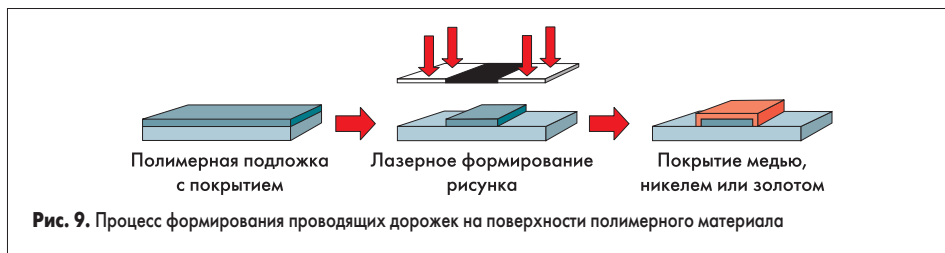


аметром пятна фокусировки и составляют около 20 мкм. Фотография поверхности печатной платы после лазерной обработки представлена на рис. 7.

Обработка полимерных защитных масок

Излучение ультрафиолетового лазера позволяет формировать прецизионные структуры не только в медной фольге, но и в других материалах. С помощью станка LPKF Laser Drill становится возможной прецизионная обрезка печатных плат, формирование отверстий сложной формы в материале самой платы или в покрытии на ее поверхности. Типичным примером может служить изготовление защитной маски, используемой при поверхностном монтаже компонентов. Обрабатывается полимерная защитная маска уже после нанесения ее на поверхность платы. На следующем рисунке представлен фрагмент защитной маски, предназначенной для монтажа на поверхность печатной платы микросхемы в корпусе BGA. Диаметр отверстий в маске составляет около 50 мкм.





Прямое лазерное формирование проводящей структуры

В основу альтернативного метода формирования проводящей структуры на поверхности платы легла простая мысль: раз уж удаление излишков фольги сопряжено с большими проблемами, зачем же вообще наносить фольгу на те участки поверхности, с которых ее придется впоследствии удалить? Достаточно сформировать необходимый рисунок дорожек на тонком промежуточном слое, и затем химически нарастить проводящие дорожки до нужной толщины.

Проведенные исследования показали, что слой металла толщиной 20...100 нм, нанесенный на поверхность полимерной подложки, может быть легко удален при облучении поверхности ультрафиолетовым лазером уже при плотности мощности порядка 50...200 мДж/см². Излучение лазера, проникая сквозь металлическое покрытие, вызывает взрывообразное разрушение материала подложки, снимающее с поверхности слой металла даже без его испарения. Необходимая для этого плотность мощности значительно ниже уровня, при котором наступает разрушение самого металла, и может быть легко достигнута без фокусировки лазерного излучения. Это позволяет использовать для формирования рисунка высокопроизводительную проекционную установку. На рис. 9 схематично представлен процесс формирования проводящих дорожек на поверхности полимерного материала.

Материал подложки, используемой для лазерного формирования проводящей структуры, должен соответствовать определенным требованиям:

- должен быть сертифицирован для использования в промышленности;
- иметь подходящие электрические, механические и температурные параметры;
- допускать возможность лазерной обработки поверхности без разрушения основного объема;
- обладать очень хорошим сцеплением с промежуточным покрытием;
- должен быть химически устойчив по отношению к реактивам, используемым для осаждения основного проводящего покрытия.

В качестве одного из подходящих для лазерной обработки материалов может использоваться полиамид. После надлежащей подготовки поверхности и сушки на полиамидное основание напыляется промежуточный слой хрома толщиной около 20 нм и затем медное или золотое покрытие толщиной не более 100 нм. Максимальная толщина покрытия ограничена тем, что как поверхностный слой меди, так и промежуточный слой

хрома должны быть прозрачными для ультрафиолетового излучения используемого лазера. Прозрачность металлического покрытия гарантирует возникновение плазмы на границе раздела между металлическим покрытием и полиамидной подложкой. Формирование необходимой структуры происходит не в результате плавления металлического покрытия, а в результате мгновенного испарения материала подложки, приводящего к удалению металла с поверхности.

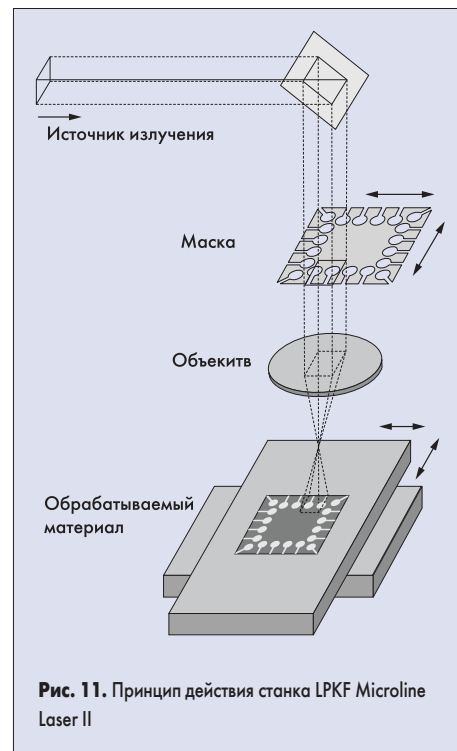
Лазерное оборудование



Рис. 10. Внешний вид станка LPKF Microline Laser II

Для формирования необходимого рисунка на поверхности подложки была разработана специальная лазерная система, получившая название LPKF Microline Laser II (рис. 10). На рис. 11 кратко проиллюстрирован принцип ее действия.

В качестве источника излучения используется эксимерный лазер с длиной волны 248 нм. Интенсивность лазерного излучения регулируется в широких пределах при помощи диэлектрического аттенуатора. Специальная оптическая система расширяет лазерный луч до поперечных размеров 27×15 мм и максимально выравнивает мощность излучения по всему поперечному сечению луча. Далее лазерное излучение пропускается сквозь рабочую маску, изготовленную из кварцевого стекла с хромовым напылением рисунка, и проектируется с помощью объектива на поверхность обрабатываемого материала. Коэффициент уменьшения изображения маски, составляющий 2:1, с одной стороны, позволяет обрабатывать за один импульс сравнительно большую площадь, а с другой стороны, обеспечивает работу маски при плотности мощности значительно меньшей порога разрушения хромового покрытия. После обработки участка поверхности обрабатываемый материал и хромовая маска синхронно перемещаются при помощи отдельных координатных столов, и обрабатывается соседний



участок поверхности. Область перемещения маски составляет 300×300 мм, что с учетом двукратного уменьшения изображения позволяет обрабатывать материал подложки на площади 150×150 мм.

Основные технические параметры станка LPKF Microline Laser II приведены в таблице 2.

Таблица 2. Основные технические параметры станка LPKF Microline Laser II

Область перемещения обрабатываемого материала	230×200 мм
Максимальные размеры обрабатываемого участка	150×150 мм
Минимальная ширина проводников и зазоров между ними	15 мкм
Разрешение системы	2 мкм
Максимальная производительность	10 см ² /с
Максимальная мощность лазера	50 Вт
Рабочая длина волны	248 нм

После создания необходимой структуры на поверхности подложки для окончательного формирования проводящих дорожек используется любая стандартная промышленная установка для химического осаждения меди. По окончании полного цикла обработки на поверхности полимерной подложки формируется необходимый рисунок проводящих дорожек шириной >15 мкм и толщиной порядка нескольких микрон.

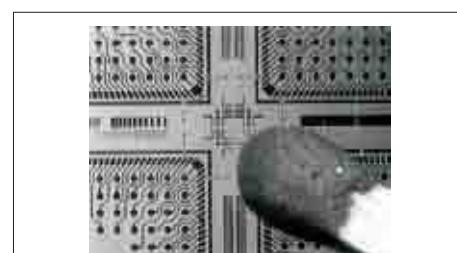


Рис. 12. Фрагмент печатной платы, изготовленной методом прямого лазерного формирования проводящей структуры

На рис. 12 приведена фотография фрагмента печатной платы, изготовленной методом прямого лазерного формования проводящей структуры.

3D-MID

Мы рассмотрели два различных способа лазерной обработки печатных плат для современных электронных приборов. Ну, а если посмотреть на проблему совсем с другой стороны: что такое вообще печатная плата и для чего она нужна? Это всего-навсего полимерная или керамическая подложка с контактными площадками для установки компонентов и проводящими соединительными дорожками. Плата устанавливается внутрь корпуса прибора, во многих случаях также полимерного. Так не проще вообще отказаться от использования дополнительной печатной платы и смонтировать все компоненты непосредственно на внутренней поверхности корпуса? И прямо на поверхности сформировать соединительные проводники. Ведь умеем же мы формировать проводящие дорожки на плате, а сам корпус принципиально ничем от нее не отличается — разве только более сложной формой.

Эта мысль стала отправной точкой для дальнейшей миниатюризации оборудования и совмещения электрических и механических функций в одном изделии, изготовленном с использованием технологии, получившей название 3D-MID (3-Dimensional Mould Interconnect Devices). При использовании этой технологии сам корпус прибора становится своеобразной трехмерной печатной платой.

До недавнего времени для нанесения проводящих покрытий на поверхность полимерных материалов использовались различные методы, например, ламинирование с использованием металлической фольги, напыление проводящего покрытия или электрохимическое осаждение меди. Именно последний способ наиболее подходил для формирования трехмерных проводящих покрытий. Но все равно технологический цикл формирования соединительных дорожек оставался сравнительно сложным. Ведь в большинстве случаев проводящее покрытие наносилось на всю поверх-

ность изделия. Для этого поверхность необходимо было очистить от загрязнений, механически обработать для достижения необходимой шероховатости поверхности, активировать за счет нанесения специального катализатора и затем нанести проводящее покрытие химическим или электрохимическим методом. А после всего этого, как и при производстве обычных печатных плат, следовало нанесение фоторезиста, экспонирование, проявление и, наконец, травление проводящего покрытия.

А если попытаться кардинально сократить весь производственный цикл? Необходимо только найти способ селективной активации поверхности полимерного материала. И тогда последующее осаждение проводящего покрытия будет осуществляться не на всю поверхность изделия, а только на активированные ее участки. Это позволит напрямую сформировать необходимую структуру проводящих дорожек на поверхности подложки.

Многочисленные эксперименты подтвердили возможность осуществления селективной активации поверхности различных изоляторов. Один из таких методов и был использован компанией LPKF при разработке технологии, получившей название LPKF-LDS (Laser Direct Structuring) — прямое лазерное структурирование. Основой этого процесса стали разработанные компанией LPKF специальные модифицированные полимерные материалы. Какими же свойствами должен обладать такой материал?

1. Это должен быть полимер с хорошими изолирующими свойствами, достаточной механической прочностью и пригодный для стандартного технологического цикла формовки полимерных изделий. Именно поэтому в качестве основы для последующей модификации применяются стандартные материалы, широко используемые в электронной промышленности. На настоящий момент уже освоен промышленный выпуск модифицированных полимеров на основе полипропилена, полибутилен-терефталата и частично ароматизированного полиамида.
2. В результате лазерной обработки материала на его поверхности должна образоваться шероховатая структура, обеспечивающая после осаждения проводящего покрытия

его прочное сцепление с полимерной основой. Для этого в состав материала вводится специальный наполнитель со значительно более высокой устойчивостью к лазерному излучению. При обработке такого композитного материала лазерным излучением определенной мощности происходит локальное разрушение материала основы, но частички наполнителя остаются целы, выступая над поверхностью полимера и обеспечивая необходимую шероховатость поверхности и хорошее сцепление с металлическим покрытием.

3. Пока остался открытым основной вопрос — необходимо каким-либо образом обеспечить возникновение центров металлизации на участках поверхности, обработанных лазерным лучом.

В результате многолетних исследований различных материалов выбор остановился на металлоорганических комплексах, содержащих палладий (Pd^{2+}) или медь (Cu^{2+}). В нормальном состоянии такие комплексные соединения обладают хорошими электроизолирующими свойствами и устойчивы к воздействию высоких температур. Хорошая совместимость металлоорганических комплексов с полимерной основой и материалом наполнителя позволяют вводить его в состав композитного материала непосредственно в процессе его производства. К заказчику полимерный композит поступает уже в полностью готовом виде.

Сам по себе металлоорганический комплекс не обладает каталитической активностью по отношению к процессу металлизации поверхности. Обработка материала ультрафиолетовым лазером вызывает не только разрушение поверхностного слоя полимерного материала. Происходит также разрушение химических связей в комплексе и частички металла, образовавшиеся в результате распада соединения, служат в качестве затравки при последующей металлизации дорожек.

В результате использования технологии прямого лазерного структурирования весь цикл производства трехмерного изделия сократился всего до трех операций: формовки полимерного изделия, лазерного структурирования и металлизации проводящих дорожек.

Операция формовки осуществляется на стандартном технологическом оборудовании и отличается только использованием в качестве сырья одного из разработанных компанией LPKF полимерных композитных материалов. Благодаря тому что механические и температурные параметры материалов очень близки к параметрам основообразующего полимера, во многих случаях не требуется даже перенастройка оборудования.

После формовки изделие поступает на лазерную обработку. Селективное структурирование поверхности осуществляется сфокусированным лучом ультрафиолетового лазера. При определенной плотности мощности лазерного излучения происходит селективное испарение полимерного материала основы без разрушения частичек ее наполнителя. Поэтому после обработки поверхность приобретает необходимую степень шероховатости. Одновременно с этим в местах облучения



Рис. 13. Три стадии производства трехмерной проводящей структуры

происходит распад металлоорганического комплекса, входящего в состав материала. Образовавшиеся в результате разложения частицы металла остаются на обработанных участках поверхности изделия и служат центрами металлизации при последующей обработке.

Металлизация проводящих дорожек осуществляется стандартными методами химического осаждения меди. Благодаря тому что центры металлизации возникают только на обработанных лазером участках, а вся оставшаяся поверхность изделия химически пассивна, медное покрытие осаждается только в необходимых местах поверхности. Химическим методом легко формируются проводящие дорожки толщиной до 10 мкм. В случае необходимости формирования более толстых дорожек изделие может быть помещено в электролитическую ванну, где толщина покрытия доводится до необходимой величины.

Лазерное оборудование

Для обработки поверхности трехмерных изделий используется специально разработанная компанией LPKF лазерная система 3D Laser (рис. 14).



Рис. 14. Внешний вид установки LPKF 3D Laser

В качестве источника излучения в этой системе используется Nd:YAG лазер, работающий на 3-й гармонике с длиной волны 355 нм. Малая длина волны лазерного излучения позволяет сфокусировать луч в пятно малого диаметра, что обеспечивает необходимую для обработки материала плотность мощности, и позволяет обрабатывать прецизионные проводящие дорожки шириной порядка 20 мкм. На выходе источника излучения установлен специальный дифракционный оптический элемент, осуществляющий выравнивание плотности мощности по поперечному сечению лазерного луча. Благодаря этому обеспечивается более равномерная обработка поверхности материала и на краях обрабатываемого участка не возникает областей частичного подплавления.

Для перемещения сфокусированного лазерного луча по поверхности обрабатываемого изделия используется специальная зеркальная отклоняющая система. Причем, в отличие от других лазерных станков LPKF, предназначенных для обработки плоских материалов, в системе 3D Laser необходимо перемещать

пятно фокусировки по трехмерной поверхности объекта. Поэтому кроме двух управляемых зеркал отклоняющей системы используется дополнительный оптический элемент, обеспечивающий перемещение фокуса в продольном направлении. В результате сканирование луча осуществляется по объему $200 \times 200 \times 50$ мм³. Оптическая схема системы 3D Laser приведена на рис. 15.

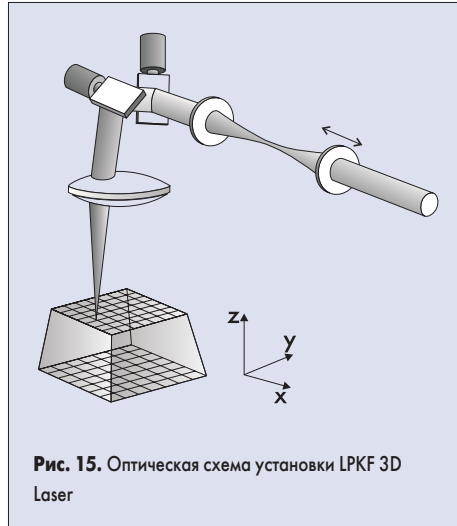


Рис. 15. Оптическая схема установки LPKF 3D Laser

Но даже трехмерное управление лазерным лучом может не позволить обработать всю поверхность изделия. Ведь при его сложной форме возможно образование затененных участков поверхности. Поэтому само обрабатываемое изделие закрепляется на координатном столе с еще пятью (!) степенями свободы. Позиционирование по горизонтальным осям осуществляется в диапазоне 200×200 мм с точностью ± 4 мкм, диапазон перемещения по вертикальной оси составляет 300 мм ± 3 мкм. Кроме этого, обеспечивается вращение заготовки вокруг вертикальной оси в диапазоне 360° с точностью $10''$ и вокруг горизонтальной оси в диапазоне $\pm 90^\circ$ с точностью $10''$. Лазерный луч достигнет практически любого участка поверхности.

На рис. 16 приведен пример изготовления корпуса измерительного прибора методом прямого лазерного структурирования. Все детали измерительной схемы смонтированы непосредственно на внутренней поверхности корпуса.



Рис. 16. Корпус прибора, изготовленный методом прямого лазерного структурирования

Необходимо отметить, что использование станка LPKF 3D Laser не ограничивается только прямым лазерным структурированием поверхности. В некоторых случаях, например, при монтаже сравнительно мощных схем, требующих изготовления проводящих дорожек большой ширины или толщины, метод прямого лазерного структурирования может оказаться экономически нецелесообразным. Удобнее нанести проводящее покрытие на всю поверхность изделия с последующим травлением печатных проводников. В этом случае установка LPKF 3D Laser может использоваться либо для экспонирования фоторезиста, либо для прямого его удаления с необходимых участков поверхности перед ее травлением. На рис. 17 приведен пример изготовления малогабаритного паяльника с использованием лазерной обработки фоторезиста. В этом случае экспонирование фоторезиста сквозь контактную маску было невозможным из-за наличия элементов конструкции, значительно выступающих над поверхностью платы.



Рис. 17. Малогабаритный паяльник, изготовленный путем лазерной обработки фоторезиста

Заключение

В этой статье мы рассказали еще об одном направлении деятельности компании LPKF. По сравнению с обычными методами лазерная обработка материалов позволяет не только значительно повысить точность изготовления печатных плат, но и выводит процесс производства на новые технические уровни — формирование соединительных плат высокой плотности или создание проводящей структуры на трехмерной поверхности изделий.

Но использование технологии лазерной обработки материалов не ограничивается непосредственно обработкой самих плат. Лазерная обработка завоевывает все большее распространение, например, в традиционных методах поверхностного монтажа компонентов. Если раньше трафареты для нанесения паяльной пасты на поверхность печатной платы изготавливались чаще всего методом травления, то теперь и здесь на смену химическим пришли лазерные методы обработки. Это позволило не только значительно повысить качество и точность при производстве трафаретов, но и перейти к использованию принципиально иных материалов. Но об этом — в следующей статье.