



# Технология струйно-факельного напыления масочного слоя

на примере установки ARGUS PC 9524 в сравнении с другими методами нанесения жидкой паяльной маски для высокотехнологичных печатных плат

**Паяльная маска (рис. 1) несет несколько функций. Главная функция — предотвращение появления перемычек и коротков цепей, которые могут возникнуть при пайке компонентов на печатную плату. Печатные проводники внешних слоев печатных плат, покрытые паяльной маской, изолированы и защищены от внешнего влияния. Само собой разумеется, что толщина масочного покрытия должна быть достаточной во всех местах, чтобы надежно защищать от утечек токов на поверхности. В связи с этим особенно важным параметром является толщина масочного покрытия на краях (гранях) печатных проводников.**

Михаил Одноворцев

mikle@elserv.ru

Потребители печатных плат требуют от производителей обеспечения максимальной толщины масочного покрытия на краю (границы) проводника, что не так легко, как может показаться. К примеру, при нанесении жидкой паяльной маски методом полива проблемы вызывает ее естественная низкая вязкость. Альтернативой для многих производителей печатных плат является нанесение жидкой паяльной маски методом трафаретной печати, где расход масочного резиста особенно высок, так как пространство между печатными проводниками заполняется и получается сравнительно толстый слой паяльной маски. Неравномерность покрытия также возникает при нанесении на проводники, расположенные в противоположном направлении по отношению к перемещению ракеля.

Еще одним способом формирования паяльной маски является прямое формирование изображения струйно-капельным нанесением с одновременной ультрафиолетовой сушкой (например, на установке Solder Mask Printer серии NewPrint фирмы New System). Масочное покрытие, полученное таким способом, отличается большой шероховатостью поверхности и пористостью масочного слоя, расположенного над проводниками и экранами (рис. 2). На данный момент указанный огрех этой технологии скорее является временной технологической недоработкой метода, и в будущем, скорее всего, будет устранен производителями оборудования, что позволит использовать этот метод для получения масочного слоя на высокотехнологичных и ответственных печатных платах как под иммерсионные покрытия, так и под нанесения припоя горячим методом — без боязни получить затекание под масочный слой, например, раствора иммерсионного золочения (процесс отличается высокой температурой) или нарушения (пробоя) масочного

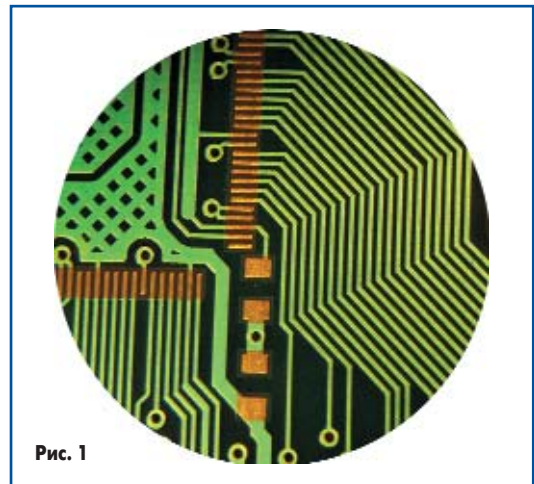


Рис. 1



Рис. 2. Жидкая паяльная маска, нанесенная на установке NewPrint прямого струйно-капельного формирования изображения с одновременной УФ-сушкой

слоя при горячем лужении из-за присутствия в нем воздушных полостей.

Однако имеется четвертый метод формирования масочного покрытия жидким паяльным фоторезистом — нанесение напылением (Spray Application), который уже используется многими известными производителями печатных плат Азии, Америки и Европы. В России данный метод еще малоизвестен.

Жидкая паяльная маска, обычно используемая при получении масочного покрытия методом полива, естественно, имеет высокую текучесть (или, по-другому, низкую вязкость). Это свойство позволяет быстро и без воздушных пузырьков получить масочное покрытие с низким расходом фоторезиста. Однако высокая текучесть паяльной маски приводит к стеканию ее с краев (граней) печатных проводников и, соответственно, к уменьшению толщины масочного покрытия в этих местах. Для обычных печатных плат, имеющих стандартную геометрию печатных проводников, этот дефект незначителен, поскольку немного фоторезиста способно стечь с относительно невысокого печатного проводника. А вот на печатных платах с высотой печатного проводника от 50 мкм этот эффект проявляется более ярко. В таких случаях изготовитель печатных плат идет на различные технологические ухищрения при нанесении поливом, чтобы получить приемлемую толщину маскирующего покрытия на краях проводников.

Некоей альтернативой может служить широко используемая технология трафаретной печати. Жидкая паяльная маска для трафаретной печати, несомненно, более густая, содержит более низкую концентрацию растворителя, и поэтому менее текучая. Высокие проводники могут быть закрыты паяльной маской без каких-либо проблем. Однако получается сравнительно большая толщина масочного покрытия при трафаретной печати. Пространство между печатными проводниками в значительной степени заполнено и выровнено паяльной маской. Результатом такого формирования масочного покрытия становится большой расход фоторезиста и большая толщина масочного покрытия, которая может привести к проблемам, связанным с установкой компонентов (вставкой в металлизированные отверстия). В данном случае важную роль играет не только геометрия печатных проводников, но и конфигурация отверстий на печатной плате. В случае трафаретной печати металлизированные отверстия относительно большого диаметра полностью заполняются фоточувствительной паяльной маской, и при последующем процессе проявления могут возникнуть проблемы с удалением остатков паяльной маски из отверстий.

Струйно-факельное напыление — это компромисс между двумя стандартными методами, перечисленными выше. Этот метод позволяет получить практически идеальное покрытие на краях высоких печатных проводников паяльной маской с низким расходом фоточувствительного резиста и доста-

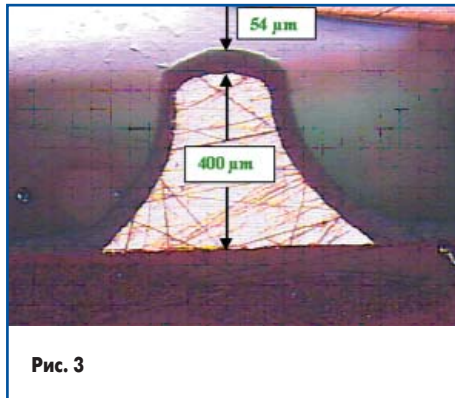


Рис. 3

точной толщиной паяльной маски между соседними печатными проводниками (рис. 3). Фоточувствительный резист для напыления паяльной маски имеет текучесть большую, чем резист, используемый для трафаретной печати, но меньшую, чем резист, используемый для полива.

Попытки изготовить аналогичное оборудование для напыления паяльной маски предпринимались и раньше ограниченным кругом фирм-изготовителей оборудования, но первые линии имели высокий расход резиста, низкую производительность, большую неравномерность нанесения, а также ограниченный выбор резистов для напыления.

Фирма ARGUS International, известная в России как производитель оборудования для оплавления финишного покрытия и инфракрасной сушки, разработала и уже несколько лет изготавливает и поставляет установки, позволяющие формировать качественное масочное покрытие. В этих установках оптимизирован процесс струйно-факельного напыления жидкой фоточувствительной паяльной маски на высокотехнологичные, сложные печатные платы, имеющие разные по геометрии печатные проводники на внешних слоях.

Данный метод нанесения стал популярным сейчас, потому что производители оборудования, в том числе и фирма ARGUS International, объединили свои усилия со всеми известными производителями жидких паяльных масок. Им удалось решить проблемы, которые были у первых установок. Как говорится, «плод созрел».

ARGUS International вышла на рынок со своей новой установкой напыления жидкой паяльной маски серии 9524 LPISM Spray Application System (рис. 4). (LPISM — Liquid Photo Imageable Solder Mask, жидкая фоточувствительная паяльная маска.) Ей удалось добиться прекрасного результата — высокой равномерности покрытия по всей поверхности, а также по краю относительно высокого печатного проводника. Используя рекомен-

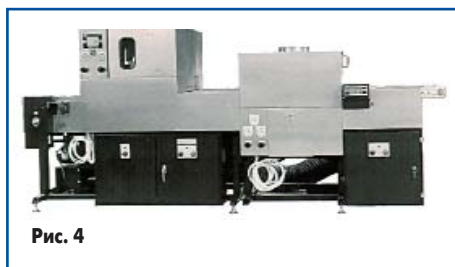


Рис. 4

дации производителя паяльных масок и оптимизацию параметров процесса напыления, фирма ARGUS добилась таких результатов процесса, которые отвечают самым трудно-выполнимым требованиям заказчика по качеству масочного покрытия даже для высокотехнологичных плат.

Например, отражающие свойства поверхности отвержденной паяльной маски были оптимизированы так, чтобы не возникало проблем при автоматической оптической инспекции (AOI). Сильный глянец отвержденной поверхности паяльной маски отражает свет, создает блики, которые ухудшают качество автоматической оптической инспекции. Матовая поверхность улучшает «оптические» свойства, но возрастает риск образования шарика припоя, который в свою очередь может быть причиной короткого замыкания. Поэтому приходится находить компромиссное решение в полуматовых поверхностях жидких паяльных масок. Такие жидкие паяльные маски с различными «оптическими» свойствами на данный момент предлагают практически все производители.

Еще одним важным результатом кооперации фирмы ARGUS с изготовителями паяльных масок стало получение такого процесса распыления, который позволил на операции проявления полностью удалять остатки паяльной маски из металлизированных отверстий любой формы, а также из глухих. Производительность установки серии 9524 LPISM Spray Application System также заслуживает внимания. Максимальная производительность линии двустороннего горизонтального напыления паяльной маски 9524D равна 2 м/мин, а односторонней линии 9524S — 1 м/мин (для поочередного нанесения на две стороны). Установки напыления паяльной маски фирмы ARGUS имеют одну распыляющую головку для каждой стороны печатной платы, которая покрывает область направленного распыления, расположенную поперек движения конвейера. Это дает возможность получать равномерное по толщине масочное покрытие как сверху, так и снизу. Так как распыление резиста осуществляется под незначительным углом, сравнительно сложный процесс покрытия торцов печатных проводников дает надежную равномерную защиту всей поверхности печатного проводника. Теперь попадание воздуха в структуру паяльной маски, как это происходит при трафаретной печати, в прошлом.

Установки 9524S и 9524D используют усовершенствованную технологию факельного напыления жидкой фоточувствительной паяльной маски на печатные платы. Это напыление осуществляется прямо на печатную плату специальной перемещающейся нагревающей форсункой с достаточно широкой областью охвата напыляемой поверхности. Печатная плата проходит сквозь камеру напыления на конвейере, который имеет V-образную форму, позволяющую плате касаться конвейера только несколькими точками торцов (рис. 5). Эта система эффективна, надежна, позволяет минимизировать потери па-

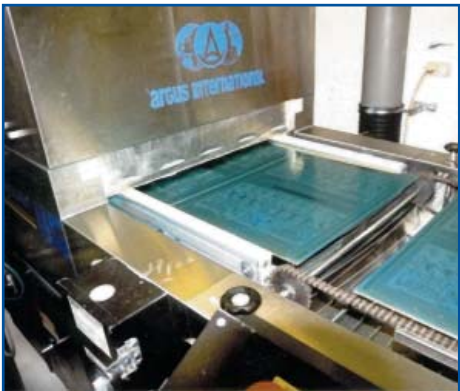


Рис. 5

яльной маски и автоматизировать процесс нанесения жидкой паяльной маски на печатные платы, увеличить производительность процесса, тем самым снизив себестоимость.

### Работа нагревающейся форсунки для распыления паяльной маски

В идеале форсунка для получения высокодисперсной распыляемой струи с помощью сжатого воздуха должна иметь высокую пропускную способность при низком давлении. Для обычной системы распыления требуется, чтобы распыляемая жидкость была разбавлена соответствующим растворителем до такой низкой вязкости, которая позволила бы распылить ее надлежащим образом. Для жидкой паяльной маски, используемой на установках с обычной, не нагреваемой форсункой, растворителя требуется около 45% от веса.

В установках факельного напыления паяльной маски серии 9524 фирмы ARGUS используются необычные форсунки (рис. 6). Технология «нагревающейся форсунки», разработанная фирмой ARGUS, значительно



Рис. 6

снижает необходимую концентрацию растворителя в распыляемой паяльной маске, что приводит к ее экономии, повышению безопасности процесса, а также к снижению вреда, наносимого окружающей среде. Типичное содержание растворителя для такой технологии составляет 30–35% от веса. В этой технологии используется нагрев паяльной маски и сжатого воздуха в точке распыления, который обеспечивает снижение вязкости резиста настолько, насколько необходимо для качественного и равномерного по толщине напыления, что позволяет обойтись без чрезмерного использования растворителя.

### Другие преимущества технологии «нагревающейся форсунки»

Технология, использующая нагревающиеся форсунки, улучшает способность системы напыления паяльной маски герметизировать печатные проводники на плате, так как распыленная жидкая паяльная маска возвращается к своей комнатной температуре, а следовательно, и к высокой вязкости, до попадания на поверхность печатной платы. Применение нагревающихся форсунок также снижает расход напыляемой паяльной маски, позволяя получать тонкое, более равномерное по толщине масочное покрытие, даже на относительно высоких печатных проводниках.

Так как технология «нагревающейся форсунки» требует более низкого содержания растворителя в паяльной маске, то время сушки (удаления растворителя из резиста), соответственно, тоже меньше. Если совместно с системой напыления жидкой паяльной маски серии 9524 фирмы ARGUS International использовать конвейерную инфракрасную (ИК) печь 9724 IR Track-Dry Oven того же производителя, то время сушки напыленной паяльной маски можно сократить до 3 мин (рис. 7).

### Удаление паров и частиц распыленного резиста, не попавших на печатную плату, в установке 9524

Ввод размера печатных плат с помощью сенсорного экрана, определение положения платы фотодатчиками совместно с установкой оператором параметров конфигурации струи и границ области распыления — все это минимизирует потери маркировочной краски.

Вытяжная система, которая используется для удаления паров растворителя и избыточного распыленного резиста из небольшой

по объему камеры напыления, расположена прямо по направлению распыления с противоположной стороны конвейера. Данная конфигурация камеры эффективна и позволяет уменьшить размеры системы.

Любые частички распыленной паяльной маски, точно осевшие на конвейере, непрерывно удаляются автоматической системой очистки.

### Эффективность факельного напыления паяльной маски

Обычно 1 кг жидкой паяльной маски можно нанести равномерно напылением с толщиной слоя порядка 25 мкм на поверхности печатных плат суммарной площадью от 13 до 14 м<sup>2</sup>. Этот показатель эффективности напыления превышает показатели других методов нанесения. Используя технологию с нагревающейся форсункой, можно обеспечить практически равномерное покрытие толщиной 25 мкм даже на высоких проводниках, что нельзя сделать по любой другой технологии. Например, для трафаретной печати толщина высушенного масочного покрытия на проводниках высотой 150 мкм оказалась в половину тоньше, чем при напылении с применением нагревающейся форсунки.

### Может ли система 9524 напылять другие жидкие материалы?

Кроме жидкой паяльной маски система 9524 Spray Unit прошла испытания на нанесение фоточувствительной маркировочной краски, адгезива и фоточувствительного диэлектрического покрытия. В ближайшее время будет предложена система напыления жидкого фоторезиста на заготовки внутренних слоев для производств больших объемов. Есть уверенность, что данная система позволит главным образом снизить себестоимость процесса нанесения фоторезиста и, вероятно, переместит акцент при выборе производителем процесса с нанесения сухого пленочного резиста в сторону нанесения жидких резистов.

### Как на установках серии 9524 добиваются более равномерного покрытия паяльной маской с помощью одной форсунки?

В установке напыления 9524 Spray Unit используется челночное перемещение форсун-

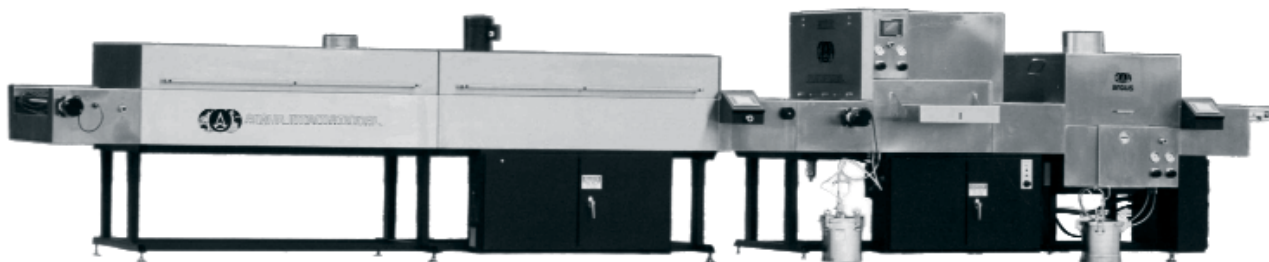


Рис. 7



ки со скоростью, достигающей 50 м/мин. Это позволяет одной форсунке переместиться на всю ширину конвейера (печатной платы), в то время как сам конвейер с платой успевает переместиться на полдюза (12,7 мм). Так как пятно напыления нагревающейся форсункой имеет ширину приблизительно 63–76 мм, то максимально плата может быть покрыта паяльной маской за 8 проходов (слов). При обычной скорости конвейера получается 4 слоя паяльной маски.

Легкость настройки, быстрдействие, высокая эффективность — отличительные характеристики систем, использующих одну нагревающуюся форсунку напыления. У этих систем отсутствуют проблемы с размещением и расположением форсунок, регулировкой, настройкой зоны распыления, которые могут влиять на равномерность и качество маскирующего покрытия.

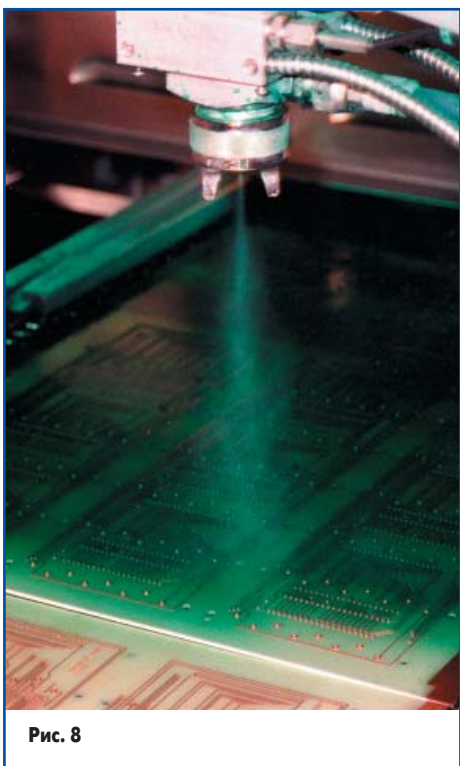
В таблице 1 приведены средние значения двух замеров слоя масочного покрытия на противоположных краях заготовки печатной платы, при замере равномерности толщины слоя на 10 заготовках размером 610×457 мм, напыленного на установке 9524S. Среднее значение по всей таблице — 30,3 мкм.

**Таблица 1.** Толщина высушенной паяльной маски (мкм)

| 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 29,5 | 29,0 | 31,0 | 30,2 | 29,5 | 30,2 | 29,0 | 31,2 | 30,7 | 29,0 |
| 32,0 | 31,0 | 30,2 | 30,2 | 31,0 | 31,2 | 30,7 | 30,0 | 30,0 | 30,2 |

### Толщина масочного покрытия, изоляция печатных проводников и площадь покрытия

Равномерное осаждение распыленных капель маски вокруг проводников и в зазоры между проводниками является главной особенностью этого процесса (рис. 8). Установ-



**Рис. 8**

**Таблица 3.** Сравнение характеристик различных методов нанесения жидкой паяльной маски

| Характеристики   | Полив завесой   | Двусторонняя трафаретная печать  | Струйно-капельное нанесение на установке New System NewPrint | Струйно-факельное напыление на установке ARGUS PC 9324                          |
|--|---|--|--|---|
| Производительность (заг./час)                                  | 60–90   | 60–100   | Нет данных   | 60–120  |
| Максимальный размер заготовки (мм)                             | 610×760   | 610×760  | 510×630  | 610×915   |
| Смена размера заготовки  | Легко   | Средне. Замена трафаретной печатной формы                                  | Легко. Смена программы                                       | Легко. Ввод значения ширины заготовки   |
| Тип нанесения  | Горизонтальный  | Вертикальный   | Горизонтальный   | Горизонтальный  |
| Стороны нанесения  | По одной стороне  | Две стороны одновременно   | По одной стороне   | Одностороннее или двустороннее нанесение в зависимости от типа установки        |
| Транспортировка или ручные операции для жестких плат           | Перемещение по конвейеру  | Установка в пазы сверху и внизу  | Укладка заготовки на рабочий стол                            | Перемещение по конвейеру. Заготовка касается конвейера только краями            |
| Транспортировка или ручные операции для гибких или тонких плат | Требуется специальная оснастка для конвейера  | Требуется специальная растягивающая оснастка                               | Укладка заготовки на рабочий стол, оснастка не требуется     | Приспособление для гибких или тонких плат                                       |
| Толщина наносимого слоя за один проход (мкм)                   | До 150  | До 150<br>В зависимости от конфигурации проводящего рисунка                | 8<br>Рекомендуемая толщина для УФ-дублирования               | До 130  |
| Вязкость маски   | 5–7   | 14–20  | 8–11   | 5–10  |
| Содержание летучих веществ                                     | 40%   | 30%  | 35%  | 35%   |
| Потери маски   | Потерь практически нет. Покрывается вся заготовка   | Потери на сетке и самый высокий расход                                     | Потерь практически нет. Покрывается вся заготовка            | Покрывается вся заготовка. Потери – 5%  |
| Время подготовки к работе                                      | Короткое  | Длинное. Требуется время для изготовления трафаретной печатной формы (ТПФ) | Короткое   | Короткое  |
| Время, необходимое для завершения работы                       | Короткое. Ежедневная чистка   | Длинное. Требуется постоянная чистка ракеля, лотка и отмывка ТПФ           | Короткое. Очистка форсунки                                   | Короткое. Очистка форсунки и патрубков. Ежедневная чистка вытяжки и фильтра     |
| Смена маски  | Очень сложно. Требуется очистка отстойника или использование сепаратора                     | Средняя сложность. Требуется новая ТПФ. Чистка ракеля и лотка              | Средняя сложность. Чистка форсунки                           | Легко. Очистка форсунки и патрубков   |
| Применение   | В основном жидкие фоточувствительные паяльные маски. Некоторые жидкие диэлектрики и резисты | Жидкие фоточувствительные паяльные маски                                   | Специальные жидкие фоточувствительные паяльные маски         | Жидкие фоточувствительные паяльные маски, различные диэлектрики, лаки и резисты |

**Таблица 2.** Характеристики покрытия

| Размер проводников | Толщина паяльной маски | Толщина высушенного слоя маски | Площадь покрытия 1 кг | Мин. толщина покрытия на краю |
|--------------------|------------------------|--------------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| 64–70 мкм          | 51–64 мкм              | 25–38 мкм                      | 16 м <sup>2</sup>     | 10,2 мкм                      |

ки напыления паяльной маски фирмы ARGUS International могут покрывать проводники высотой до 380 мкм с каждой стороны. Напыляемая паяльная маска имеет такие физические свойства, которые позволяют ей не стекать с краев проводников. Технология напыления фирмы ARGUS International позволяет покрывать паяльной маской печатные платы, имеющие проводники и зазор менее 100 мкм. Процесс напыления паяльной маски на установках фирмы ARGUS International позволяет добиться высоких тиксотропных свойств резиста, а следовательно, получить качественное равномерное покрытие печатных проводников и зазоров.

Толщины паяльной маски от 51 до 64 мкм более чем достаточно для основной массы

печатных плат, что является гарантией надежности изоляции между проводниками, находящимися на минимальном расстоянии.

### Решение проблемы попадания жидкой паяльной маски в металлизированные отверстия

Затекание жидкой паяльной маски в металлизированные отверстия печатной платы является значительной проблемой при трафаретной печати, так как требуется высокое давление струи при проявке для удаления большого количества резиста из отверстия.

При формировании масочного покрытия напылением небольшое количество резиста попадает в металлизированные сквозные и глухие отверстия. Это меньше, чем при принудительном продавливании маски ракелем при нанесении через сетку или поливом, что позволяет использовать невысокое давление струй проявочного раствора, а следовательно, сократить время проявления. Паяльная маска, напыленная на печатные платы, имеющие малый шаг проводни-



ков, более надежно держится, имеет меньший подтрав и хороший внешний вид, так как при проявлении используются обычные режимы.

### Опыт работы фирмы ARGUS с жидкими паяльными масками и другими процессами

Фирма ARGUS имеет опыт изготовления и обслуживания систем факельного напыления жидких масочных покрытий более 12 лет. Установки серии 9524 были разработаны и изготовлены с учетом накопленного опыта для решения конкретных задач производства печатных плат и для получения качественных масочных покрытий.

Лаборатория технического обслуживания фирмы ARGUS International в настоящее время проводит исследования и оценку жидких паяльных масок различных производителей с целью создания полного банка данных характеристик, рабочих параметров и особенностей для предоставления рекомендаций по работе с ними заказчикам своего оборудования.

### Выводы

Струйно-факельное распыление — относительно молодая технология для нанесения жидких масок в производстве печатных плат.

Множество людей, ранее знакомых с ней, рассматривают эту технологию как довольно неэкономную; однако в настоящее время в связи с внедрением современных решений в конструкцию линий и разработкой новых типов форсунок, позволяющих контролировать направление и форму струи, удалось контролировать расход жидкой паяльной маски и значительно снизить ее потери. Распыление имеет значительные преимущества и выгоды по сравнению с покрытием завесой, трафаретной печатью и прямым струйно-капельным нанесением:

- позволяет минимизировать появление проколов в масочном слое вне зависимости от рельефа и расположения проводящего рисунка на плате;
- можно использовать различные параметры распыления для разных типов жидких масок и специальную форсунку, что позволяет получать равномерное по всей поверхности масочное покрытие;
- технология легко интегрируется как в мелкосерийное, так и в серийное производство печатных плат, позволяя автоматизировать процесс получения паяльной маски на печатных платах;
- оборудование, используемое в этой технологии, оснащено программируемым логическим контроллером, который позволяет контролировать и отображать параметры настройки процесса напыления;

- все параметры процесса могут быть сохранены и в дальнейшем проанализированы;
- оборудование для факельного напыления имеет прекрасную вытяжную систему, способную удалять как избыток диспергированной жидкой маски, так и летучие вещества, входящие в состав резиста;
- переход на другой тип жидкой маски прост — как правило, требуется лишь очистка патрубков и форсунки;
- факельное напыление является самой гибкой технологией нанесения жидких материалов, что позволяет использовать это оборудование также для нанесения фоточувствительного фоторезиста на заготовки внутренних слоев, что в ближайшее время станет самой перспективной технологией.

*Автор выражает благодарность представителю фирмы ARGUS International г-ну Захару Рутгайзеру (Zakhar Rutgayzer) за оказание информационной поддержки при написании данной статьи.*

### Литература

1. RUWEL-Journal, Magazine for customers and employees of the Ruwel Group. October 2002. N 5.
2. PETERS Speziallacke fur die Elektronik // LP infos. November 2002. N 22.
3. Morris R. Air Assisted Spray. COATES ASI. <http://www.coates.com/electro/circuits/news/>