

# Методы изготовления трафаретов для паяльной пасты и их влияние на точность позиционирования

Ане Остерхоф (Ahne Oosterhof), Oosterhof Consulting  
Штефан Шмидт (Stephan Schmidt), LPKF Laser & Electronics

*В статье обсуждаются несколько факторов, определяющих точность позиционирования трафаретов: лазерные системы, материалы, технологии, вариации температуры и резка трафарета, установленного в рамку. Совокупный эффект этих факторов определяется на основе практических результатов измерений с использованием нескольких трафаретов, лазерных систем и технологий.*

В прошлом трафареты подвергались химическому травлению, однако затем вместо него стали использоваться более совершенные технологии. Например, проблема изготовления прецизионных трафаретов была решена за счет лазерной обработки материала. Четкость и точность в этом процессе выше, чем при химическом травлении. В производстве трафаретов с помощью лазерной резки используются жесткие сорта нержавеющей стали. При изготовлении трафаретов методом гальванопластики применяется никель. Полиимидные трафареты обрабатываются с помощью пучков УФ- или ИК-лучей [1].

## ПРОИЗВОДСТВО ТРАФАРЕТОВ

В каждом методе производства трафаретов важными являются следующие параметры: 1) качество оборудования; 2) контроль процесса изготовления; 3) качество и поведение металла в процессе производства; 4) разница в температурах в разных процессах; 5) вариация нагрузки на материалы на разных этапах процесса.

## ЛАЗЕРНАЯ РЕЗКА

Автомат для резки трафаретов состоит из двух систем — лазера и подвижного механизма. Необходимо, чтобы луч лазера был узконаправленным и стабильным. Размер луча определяет качество обработки очень малых деталей. Если размеры луча изменяются, как и концентрация в нем энергии, обработка с его помощью не обеспечивает ожидаемой точности, а края элементов приобретают волнистую форму (см. рис. 1).

Большинство лазеров генерирует последовательность мощных импульсов, которые позволяют резать металл. Прежде для резки использовались лазеры с низкой частотой следования импульсов, что приводило к образованию зубцов на кромках металла, если он перемещался слишком быстро. В настоящее время применяются лазеры с более высокой частотой следования импульсов, что исключает образование таких зубцов.

Чтобы проконтролировать стабильность размеров лазерного пучка и генерируемой мощности, необходимо установить размер полученного с его помощью отверстия, его форму и вид стенок.

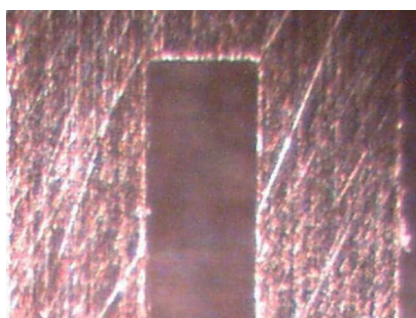
Микроскоп с увеличением 40–100х позволяет увидеть, правильно ли сформирована стенка отверстия. Существуют разные конструкции подвижного механизма. Прежде для обработки использовался неподвижный лазерный пучок, относительно которого трафаретная рамка или столик с

металлическим листом перемещались вдоль осей X и Y. В некоторых лазерных системах луч перемещается вдоль оси X, а столик — вдоль Y.

Снижение веса подвижного объекта позволяет увеличить скорость обработки, не жертвуя способностью точно производить отверстия требуемых размеров и формы. В каждом случае необходимо, чтобы оси X и Y перемещались перпендикулярно друг другу строго вдоль прямой линии (см. рис. 1). Разумеется, система перемещения должна быть откалибрована так, чтобы обеспечить контроль с точностью до нескольких микрометров. Большинство производителей лазерных систем заявляет о точности в 5–10 мкм на заданном расстоянии.

## МЕТАЛЛ

Обычно в качестве материала для трафарета применяется нержавеющая сталь (стальной прокат) типов 302 или 304. Листы такой стали имеют высо-



а)



б)

Рис. 1. Обработка трафарета лазером с помощью устойчивой (а) и неустойчивой (б) системы позиционирования

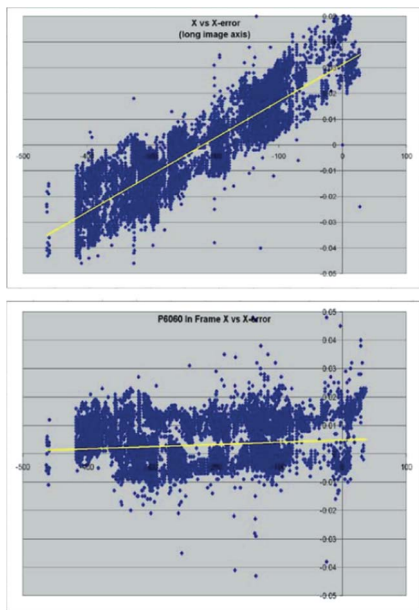


Рис. 2. Трафарет, обработанный до установки в рамку (вверху) и подвергшийся резке в рамке (внизу)

кую степень однородности, но ее толщина, как правило, варьирует в пределах 12 мкм. Для улучшения условий нанесения пасты используется ряд технологий, в т.ч. электрополировка или химическая полировка, однако не всегда с большим успехом.

В качестве материала для трафарета применяются также никелевые листы и мелкозернистая нержавеющая сталь, которая в очень большой степени способствует повышению качества процесса печати [2].

### ГАЛЬВАНОПЛАСТИКА

Гальванопластика представляет собой аддитивный процесс с использованием никеля. Четкость и точность в этом процессе выше, чем при химическом травлении. Никель хорошо осаждается электролитическим методом, образуя плотный слой без пор и пустот. Электролитический никель обладает хорошими механическими свойствами и высокой коррозионной стойкостью, а также повышенной механической прочностью.

После фотолитографии на медной форме образуется негативное изображение рисунка — на местах будущих отверстий в трафарете остается фоторезист. Далее на эту форму наращивают электролитический никель толщиной примерно 5–6 мм. После того как достигается требуемая толщина никелевого слоя, фоторезист удаляется, а никелевая фольга отделяет-

ся от формы методом изгиба. Снятая фольга, представляющая собой никелевый трафарет, готова для установки в рамку. Трафарет имеет клиновидные (трапециевидные) стенки апертур. Его толщина находится в пределах 0,15–0,3 мм. Минимальный размер отверстий может составлять 1,1 от этой толщины.

Для обеспечения однородной толщины трафарета требуется, чтобы химические реакции в ванной проходили одинаково вдоль всей поверхности трафарета. Иногда это требование трудно выполнимо, особенно в тех случаях, если плотность отверстий варьирует в больших пределах. Кроме того, вокруг отверстий может образоваться небольшая металлическая кромка, которая используется как перегородка между шаблоном и контактными площадками платы. Однако если эта перегородка не выровнена относительно площадок или повреждена, паста может протечь, образовав капли припоя.

Трапециевидный профиль стенок апертур обеспечивает хорошую отделяемость пасты от трафарета при его подъеме. Стенки апертур очень гладкие, что также способствует хорошему отделению пасты. Поверхность трафарета зеркальная, что обеспечивает хорошее скольжение ракеля. Хотя точность изготовления отверстий выше, чем при методе химического травления, трафареты, изготовленные методом гальванопластики, не используют для нанесения пасты на площадки шагом менее 0,4 мм или площадки типоразмера менее 0201.

Также к минусам таких трафаретов можно отнести их достаточно высокую хрупкость и очень высокую стоимость, которая в 3–5 раз больше стоимости трафарета, полученного лазерной резкой.

### МЕХАНИЧЕСКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ

При лазерной обработке листов они закрепляются, подвергаясь воздействию механического напряжения, либо их режут после установки в рамку.

Если листы устанавливаются в рамку после резки, величина напряжения по осям X и Y отличается от напряжения при резке. То же самое, но в большей степени, происходит в том случае, если трафареты изготавливаются методом гальванопластики.

Трафарет из нержавеющей стали толщиной 125 мкм, который при изготовлении не подвергся воздействию напряжения и был помещен в рамку с натяжением 35 Н/см, деформируется в длину на 0,0131%. Для шаблона, в котором отверстия находятся на расстоянии 0,5 м, такое изменение длины может привести к погрешности в 65 мкм.

### ТЕМПЕРАТУРА

Большинство производителей изготавливает трафареты в проветриваемых комнатах с температурой около 20°C. В непроветриваемых помещениях температура может варьировать в пределах 5°C и более. Такие колебания происходят и в местах использования трафаретов.

Коэффициент теплового расширения стали составляет около 17, а никеля — 13 промилле/град. Этот коэффициент указывает на степень расширения или сжатия металла в единицах мкм/(м\*град). Если у стального трафарета отверстия находятся на расстоянии 0,5 м, а разница между температурой, при которой он был изготовлен, и температурой при его эксплуатации составляет 5°C, изменение в размере трафарета может достигнуть 42 мкм. У никелевого трафарета это изменение составляет около 32 мкм.

При лазерной резке луч может вызвать локальный нагрев небольшого участка трафарета, в результате чего он обесцветится или даже деформируется. Управление лазерным пучком и охлаждение металла (воздушное или жидкостное) позволяют свести к минимуму этот нежелательный эффект.

### УСЛОВИЯ ПРОИЗВОДСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ

У новых миниатюрных компонентов расстояние между контактными площадками на плате может быть меньше 200 мкм, поэтому для предотвращения описанных выше ошибок настоятельно рекомендуется использовать качественное оборудование и обеспечить наилучшие условия производства и эксплуатации, к которым относятся регулируемая среда. Чтобы избежать погрешностей, возникающих из-за разницы механических напряжений, следует производить резку трафарета уже в рамке.

На рисунке 2 приведен пример обработанного стального листа, кото-



# ЗАО «НПФ «ДОЛОМАНТ»

ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ НА СЛУЖБЕ ОТЕЧЕСТВУ



## ★ Поставляет

электронные компоненты в качестве второго поставщика (номенклатура порядка 400 тыс. наименований более 60 зарубежных производителей) при сотрудничестве с группой компаний ПРОСОФТ

## ★ Производит

промышленные и встраиваемые компьютеры (в форматах CompactPCI, VME, EPIC, 3,5", PC/104, MicroPC, AT96, PICMG, Mini-ITX, ATX), платы для монтажа на DIN-рейку, а также кардасы, шлейфы, кабели и аксессуары, предназначенные для работы в жестких условиях эксплуатации с военной приемкой

## ★ Разрабатывает

программные и аппаратные средства по техническому заданию заказчика под контролем военного представительства

## ★ Обеспечивает проведение специальных проверок и исследований

поставляемого электронного оборудования

## ★ Располагает производственным высокоавтоматизированным оборудованием для поверхностного монтажа электронных модулей

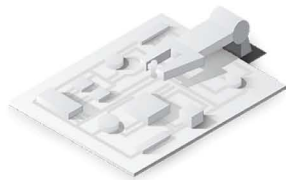
которое соответствует уровню требований мировых производителей, адаптировано к использованию бессвинцовой технологии, позволяет производить автоматическую разбраковку и рентгеновский контроль качества пайки

## ★ Имеет лицензии

на разработку и производство электронных средств для вооружения, военной техники и атомных электростанций, свидетельство об аттестации второго поставщика, а также систему менеджмента качества, сертифицированную в системе «Военный регистр» на соответствие ГОСТ Р ИСО 9001 и ГОСТ РВ 15.002

## ★ Осуществляет контрактное производство электроники любой сложности

9 лет • 1010 клиентов • 1500 проектов/3450 заказов



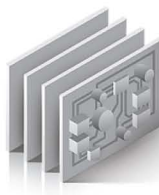
## ★ Монтаж печатных плат

Уникальные автоматизированные технологические линии для SMT и THT (DIP) монтажа. Все виды работ стандарта ГОСТ и IPC.



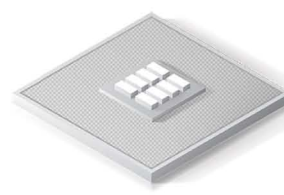
## ★ Сборка приборов, стоек, шкафов

Производство электроники полного цикла.



## ★ Поставка печатных плат

ДОЛОМАНТ является генеральным дистрибьютором компании SEP (Корея), одного из мировых лидеров среди производителей печатных плат.



## ★ Электронные компоненты

Поставка отечественных и импортных радиоэлектронных компонентов и материалов, полное комплектование производственных программ.

Реклама

### Контакты

Россия, 117437, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 108  
Тел.: (495) 234-0639, факс: (495) 232-1654  
E-mail: info@dolomant.ru

### Заказные разработки

E-mail: cd@dolomant.ru

### Контрактное производство электроники

Россия, 117432, г. Москва, ул. Введенского, д. 3  
Тел.: (495) 739-0775, факс: (495) 739-0776  
E-mail: product@dolomant.ru

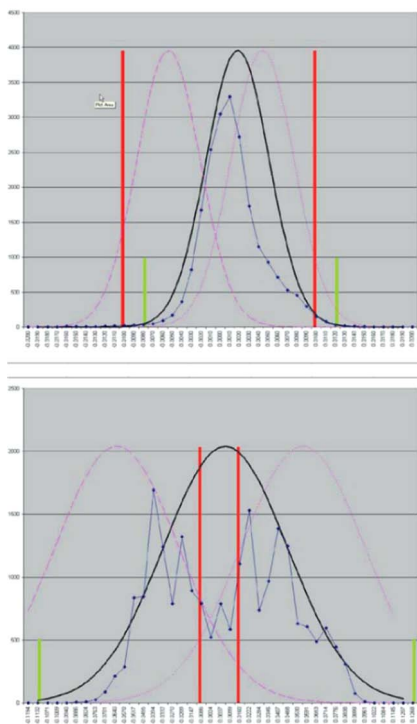


Рис. 3. Гауссова кривая измерений. Красные вертикальные отрезки указывают диапазоны требований  $\pm 10$  мкм

рый затем был установлен в рамку, а также трафарета, обработанного в рамке с помощью одного и того же лазера. Разница в ошибках очевидна.

### КОНТРОЛЬ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТРАФАРЕТА

Простейший способ установить точность изготовления трафарета состоит в его сканировании и определении положения и размера каждого отверстия. С этой целью применяются системы, обеспечивающие тестирование с точностью  $\pm 5$  мкм в

течение нескольких минут. Компьютерная программа определяет центр и размер каждого просканированного отверстия и сравнивает полученный результат с исходным чертежом. Данные тестирования можно использовать для определения годности трафарета или в статистическом анализе.

В некоторых отверстиях прошедшего тестирования и обработанного трафарета могут остаться микрочастицы, которые легко обнаруживаются.

Большие трафареты размером  $460 \times 300$  мм с 21 тыс. отверстий тестируются с помощью откалиброванного сканера (ScanCheck) с разрешением 6 тыс. пикселей на дюйм (12 тыс. с интерполяцией). Затем полученные результаты сравниваются с данными процесса резки, чтобы выявить ошибки с помощью спецификации. Все собранные данные можно использовать в дальнейшем анализе.

### СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

В измерениях использовались трафареты, изготовленные с помощью разных методов, автоматов и технологий. Трафареты были получены с использованием лазерной резки и методов гальванопластики. Для тестирования были отобраны четыре лазерные системы разных марок и семь разных типов автоматов.

Трафареты были изготовлены на нескольких разных производствах в разных внешних условиях. При этом отдельно не устанавливалось, как повлияла разница температур на качество продукции.

Допуск на отклонение от требуемой величины составил  $\pm 10$  мкм. Это стандартное значение, которого придерживаются многие крупные контрактные производители. Для каждого трафарета была рассчитана кривая распределения ошибок. Величина  $C_p$  указывает частоту, с которой эти данные распределены в допустимом диапазоне (см. рис. 3). Было установлено, что только у одного из этих очень больших и сложных трафаретов значение  $C_p$  оказалось больше 1 (см. рис. 4). На графиках зеленые полосы указывают пределы среднеквадратического отклонения. В граничных точках коэффициент ошибок составляет 2,750 промилле. Разумеется, более предпочтительной была бы точность в пределах 6 сигма, при которой коэффициент ошибок равен 0,002 промилле. Поскольку трафарет можно переместить и выровнять относительно платы в печатающем устройстве, значение  $C_{pk}$  определено не было.

### РЕЗУЛЬТАТЫ

Результирующие значения  $C_p$  для всей группы трафаретов показаны на рисунке 4.

Желтые полосы указывают значения  $C_p$  для тех трафаретов, которые подвергались резке как свободные листы, а голубые полосы соответствуют обработке трафаретов в рамке. Для измеренных отверстий погрешность составляет 35–185 мкм (коричневые полосы).

Видно, что данные группируются в соответствии с определенными методами производства. Трафареты, подвергшиеся резке в рамке, обеспечивают намного большую точность положения отверстий, чем обработанные свободные листы.

На рисунке 5 представлено распределение данных при использовании двух методов резки — для закрепленного в рамке трафарета и свободного листа. Заметный разброс этих данных обусловлен разным механическим напряжением, которые испытали трафареты.

Еще одним фактором, обуславливающим точность положения отверстий, является выбор лазерной системы. В целом, можно утверждать, что большинство лазерных систем нового поколения, выпущенных менее трех лет назад, обеспечивает более высокую точность позициониро-

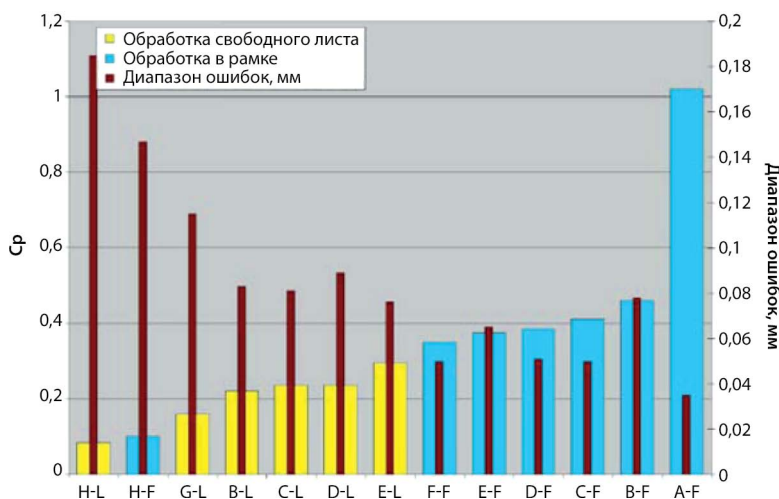


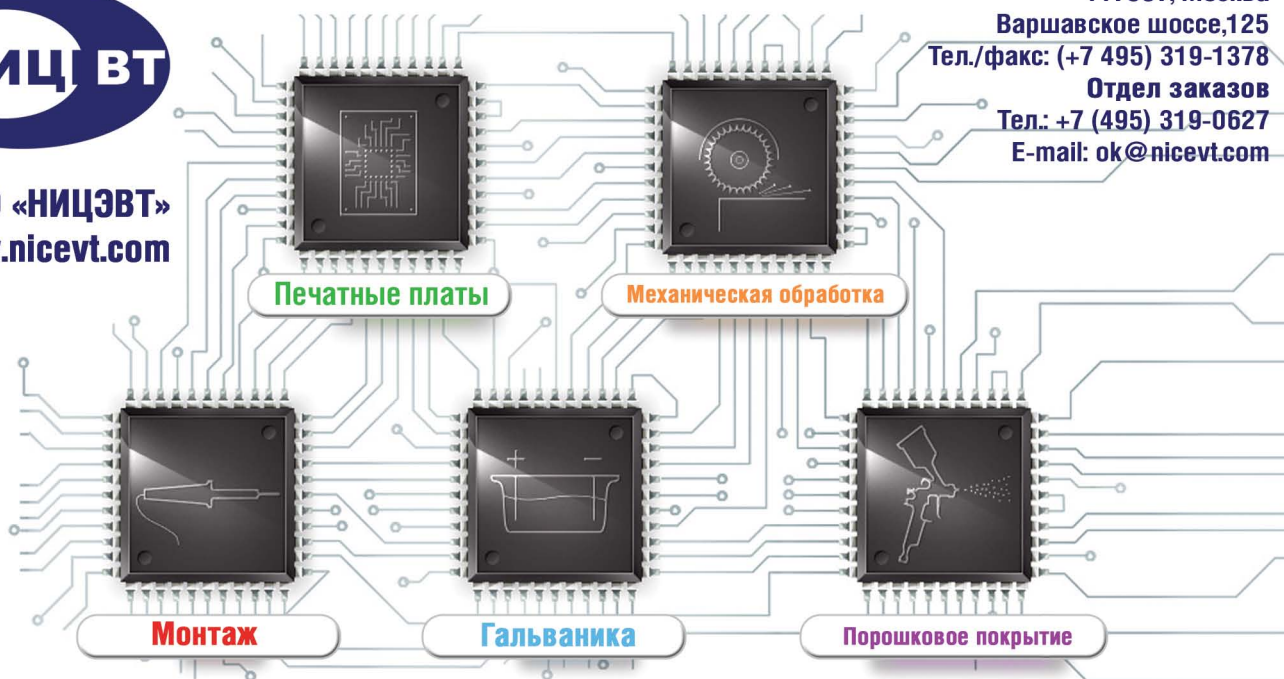
Рис. 4. Анализ результатов измерений





ОАО «НИЦЭВТ»  
www.nicevt.com

117587, Москва  
Варшавское шоссе, 125  
Тел./факс: (+7 495) 319-1378  
Отдел заказов  
Тел.: +7 (495) 319-0627  
E-mail: ok@nicevt.com



## ПОЛНЫЙ ЦИКЛ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Высокотехнологичное контрактное производство, предоставляющее услуги по изготовлению печатных плат, электронных модулей, корпусных, механических деталей и узлов, стоек и электротехнических шкафов, а также нанесению защитных порошковых, гальванических и лакокрасочных покрытий.

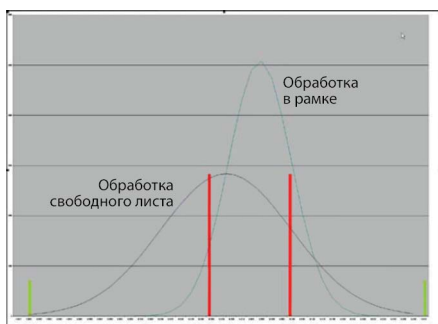


Рис. 5. Сравнение двух методов резки

вания по сравнению с теми системами, которые были произведены 3–15 лет назад. Однако новые системы существенно отличаются друг от друга по точности позиционирования. Эта разница, вероятно, обусловлена различиями в архитектурах и методах калибровки. На рисунке 6 видно, что разброс данных меняется при использовании разных лазерных систем для резки двух трафаретов, установленных в рамку.

### ВЫВОДЫ

При печати платы, компоненты которой имеют большие контактные

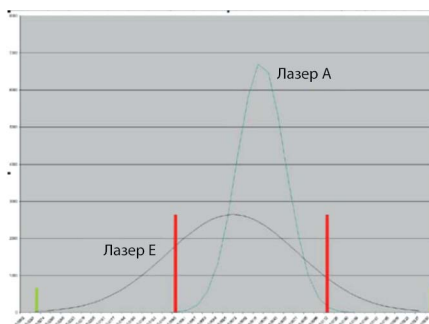


Рис. 6. Одинаковые трафареты, подвергшиеся резке с помощью двух разных лазерных современных систем

площадки и большое расстояние между ними, значительное расхождение между положением отверстий трафарета и контактных площадок платы не ведет к серьезным проблемам — припой в расплавленном состоянии так или иначе попадет на контактные площадки.

Однако если речь идет о платах с миниатюрными компонентами, контактные площадки которых близко расположены друг к другу, такие ошибки приводят к образованию перемычек. Кроме того, бессвинцовые припои не растекаются так же хорошо, как свинцовые припои.

Таким образом, погрешности, обнаруженные при тестировании некоторых трафаретов, оказались недопустимыми.

Выбор метода изготовления трафарета с высокой точностью позиционирования основан на трех фактах: 1) лазерная резка обеспечивает лучшие результаты по сравнению с фотохимическим процессом; 2) точность обработки установленных в рамку трафаретов выше; 3) точность резки трафаретов с помощью новых лазеров значительно выше.

Следует заметить, что дополнительные погрешности при печати могут возникать также из-за низкого уровня натяжения сетки, неправильно установленного давления ракеля или недостаточно хорошего крепления платы.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ahne Oosterhof, et al, "Stencil cutting"// *Industrial Laser Solutions*. June 2007.
2. Robert F. Dervaes, *Fine Line Stencil, Inc.*; Jeff Poulos, *Alternative Solutions, Inc.*; Scott Williams, *Ed Fagan, Inc.* "Conquering SMT stencil printing challenges with today's miniature components"// *Global SMT & Packaging*, April 2009.