

Снайпер или автомат?

Прецизионная система совмещения в производстве многослойных печатных плат

Можно иметь прецизионное оборудование для изготовления фотошаблонов, фотолитографии, сверления отверстий. Но вы никогда не сможете использовать его возможности без соответствующей системы совмещения.

Петр Семенов

stpsemenov@rambler.ru

Действие происходит в кабинете начальника цеха. Наступило время сдачи готовой продукции.

Начальник цеха:

«Почему не сдали многослойные платы на склад готовой продукции?»

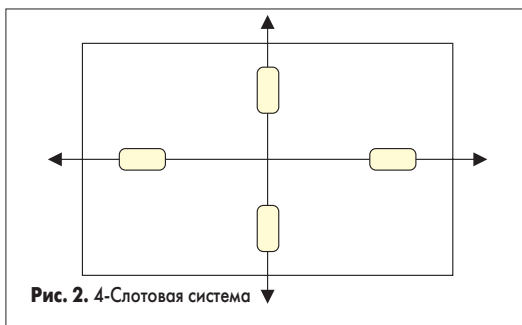
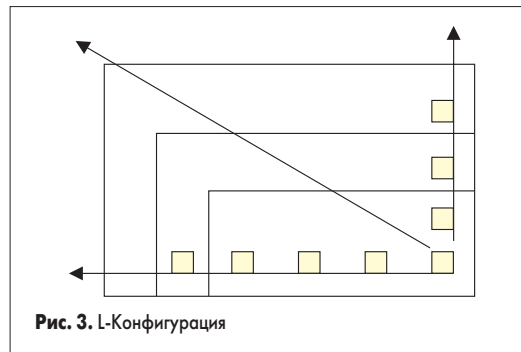
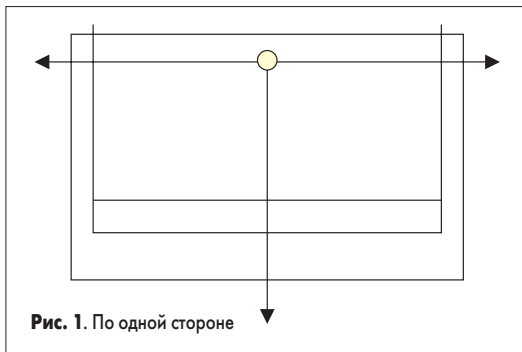
«Есть проблемы. На платах сильное рассовмещение слоев, технологи занимаются», — отвечает начальник участка.

Вмешивается начальник тех. бюро: «Конечно, разбираемся в браке. Надо заставить людей на участке правильно работать. Проверка совмещения фотошаблонов по базовым отверстиям показала, что рассовмещение больше допустимого значения. Ну ладно, на участке фотошаблонов пропустили — там людей нет, а куда фотолитография смотрит? Вообще бардак! Уродуют базовые отверстия на фотолитографии и сверловке, штифты не лезут в базовые отверстия».

Начальник цеха: «Вчера было все нормально, а сегодня рассовмещение? Вы что, разобраться не можете в своей работе?»

Возможно, многие изготовители многослойных печатных плат (МПП) были когда-либо свидетелями подобного разговора. И это не удивительно, ведь на протяжении всего технологического процесса изготовления МПП — от разводки топологии до тестирования — мы имеем дело с совмещением элементов схемы. Слои должны быть совмещены между собой, отверстия с контактными площадками, схема относительно контура и т. д.

О причинах, влияющих на совмещение рисунка схемы, написано немало, но все же отметим некото-



рые из них, для дальнейшего раскрытия темы:

1. Точность прорисовки топологии схемы.
2. Воспроизводимость прорисовки топологии.
3. Точность пробивки базовых отверстий на фотошаблонах.
4. Точность пробивки базовых отверстий на слоях.
5. Точность совмещения заготовки слоев с фотошаблоном и их относительный сдвиг при подаче вакуума.
6. Точность совмещения слоев при укладке пакета в прессформу.
7. Сдвиг слоев при прессовании.
8. Точность сверления отверстий на CNC-машине.
9. Точность совмещения фотошаблонов внешних слоев и маски с отверстиями МПП.
10. Изменение размеров пленочных фотошаблонов в зависимости от влияния окружающей среды и при экспонировании (особенно, если участки изготовления фотошаблонов и фотолитографии не термостабилизированы, и не поддерживаются постоянной влажностью).
11. Влияние воздействующих факторов технологического процесса на базовые ламинаты, в зависимости от их толщины.

Изготовителям МПП приходится решать все вышеперечисленные проблемы при производстве конструкций, соответствующих 4-5 классу точности по ГОСТ 23751. Очевидно, что система совмещения является стержнем комплекса технологических операций, инженерного обеспечения и требует серьезного подхода к влияющим на совмещение факторам, основанного на взвешенном отношении к их вкладу в суммарное фактическое отклонение, получаемое на МПП.

Не имея финансовых возможностей для выполнения организационных мероприятий или комплексного понимания системы совмещения, изготовители МПП вынуждены выпускать свои проектные нормы для конструирования с учетом больших технологических допусков, что позволяет получить готовую продукцию, соответствующую нормативной документации. Это сказывается на плотности рисунка схемы и становится препятствием для рентабельного коммерческого производства МПП повышенной плотности. Поэтому очень важно определить степень влияния факторов, уменьшающих точность совмещения, и в дальнейшем технические мероприятия проводить с пониманием перспективы и возможного результата.

Как отмечалось в статье, опубликованной на сайте фирмы «ПЕТРОКОММЕРЦ» (www.petro.com.ru), наличие установки для пробивки базовых отверстий в пленке, имеющей допуск 10 мкм, не поможет, если пленка фотошаблона в процессе эксплуатации удлиняется на 150 мкм из-за неустойчивости климатических условий. Важнее знать, что в результате 50-кратного экспонирования пленка удлиняется на 100-150 мкм. Автор пишет, что важно учитывать, как допуски влияют на суммарные погрешности. Если их учитывать пра-

вильно, то окажется, что установка для пробивки базовых отверстий в пленке с допуском ± 10 мкм не намного улучшит результат базирования по сравнению с установкой, имеющей допуск ± 25 мкм, если в процессе также участвует значительная деформация пленки ± 100 мкм:

$$T = \sqrt{100^2 + 10^2} = 100,49 \text{ мкм}$$

$$T = \sqrt{100^2 + 25^2} = 103,07 \text{ мкм}$$

Автор показал, что надо искать другие способы улучшения совмещения. Рассмотрим три типа наиболее распространенных систем совмещения и новую для России, оптическую автоматическую систему совмещения (см. рис. 1-4; стрелками на рисунках показаны направления набегающих ошибок).

Первые три системы совмещения с использованием базовых штифтов описаны в упомянутой выше статье. Совмещение заготовки производится за счет установки ее на базовые штифты, жестко привязанные к раме. Все три системы относятся к ручным системам совмещения и не позволяют иметь статистику о фактических параметрах совмещения.

Базовые штифты во всех трех вариантах имеются на прессформах, копировальных рамах для фиксации слоев.

Рассмотренные три системы совмещения получили название PIN-LAM.

Четвертая система автоматического оптического совмещения внешних слоев МПП и двусторонних плат с применением метода прессования без прессформ называется MAS-LAM. Сравним характеристики метода MAS-LAM с системами PIN-LAM в условиях, приближенных к реальным, с учетом неизбежного изменения размеров фотошаблона. Воспользуемся описанием автоматической оптической системы совмещения PRINTPROCESS (<http://www.w.printprocess.com>) и сравним ее с лучшей из представленных на сайте фирмы «ПЕТРОКОММЕРЦ» L-конфигурацией.

Основой системы PRINTPROCESS является автоматическая коллимированная светокондирующая рама с оптической системой совмещения по реперным знакам TARGOPRINT.

При прорисовке фотошаблонов на них генерируются изображения реперных знаков для совмещения фотошаблонов при экспонировании, совмещении при прессовании, сверлении базовых отверстий для установки на CNC-машину и обработке по контуру.

Внутренние слои

Внутренние слои без базовых отверстий поступают на фотолитографию. Оператор вкладывает в установку в зону загрузки внутренние слои. Установка предварительно располагает и автоматически совмещает слои фотошаблонов с точностью 5 мкм. Производится загрузка слоев в зону экспонирования. Очень важно для размерной устойчивости, что экспонирование производится «холодным» источником УФ-света мощностью 1800 Вт. Мощность эффективной части спектра УФ-излучения холодного источника эквивалентна эффективной час-

ти УФ-спектра обычного источника мощностью 5000 Вт, что обеспечивает стабильную температуру поверхности фотошаблона и заготовки слоев. В других условиях экспонирования размер фотошаблона может измениться на 100 мкм.

Далее слои после травления и термообработки поступают на участок прессования. Здесь на специальной установке автоматического совмещения по реперным знакам TARGOMAT III, выполняющей усреднения изменения размеров слоя и запись параметров рассовмещения в память машины, происходит автоматическое сверление двух базовых отверстий, необходимых для укладки и сборки пакета МПП.

Сверление отверстий производится прецизионным механизмом. Эти отверстия используются только для сборки пакета. Точность сверления координаты отверстия не хуже 15 мкм. Система рассчитана на толщины подложек от 0,05 до 6 мм.

Далее заготовки слоев с прецизионными отверстиями на специальной установке совмещаются по двум штифтам RIVOMAT II. Слои перекладываются пре-прегом и после автоматизированного прижима пакета, обеспечивающего планаризацию собранного пакета, производится бандажирование по периметру. Данная операция не привязана к конкретному размеру заготовки и частота точек бандажирования зависит от толщины базового материала. Чем тоньше, тем больше точек скрепления.

Бандажирование по периметру обеспечивает эффективную фиксацию слоев при ламинировании, особенно при большом количестве тонких слоев, и не идет ни в какое сравнение с фиксацией по штифтам в прессформе. Фирма PRINTPROCESS AG опубликовала результаты теста сборки пакета 20-слойной МПП размером 500x600 мм из материала толщиной 0,075-0,1 мм. После сборки и бандажирования были сделаны измерения. Результаты отражены в тестах 1 и 2.

Тест 1. PIN-LAM

Рассовмещение от слоя к слою.

Среднее значение 33 мкм.

Максимум 65 мкм.

Тест 2. MAS-LAM на установке RIVOMAT

Рассовмещение от слоя к слою.

Среднее значение 7 мкм.

Максимум 22 мкм.

Вывод: Метод сборки пакета и прессовки с применением бандажирования нельзя оставить без внимания.

После сборки и бандажирования пакета МПП прессовка осуществляется без прессформ, чем достигается снижение напряжений в ламинированной заготовке, благоприятно влияющее на уменьшение коробления и подвижки слоев.

По данным компании MIE (<http://www.mie.com>), при прессовании в прессформе со штифтами материала толщиной 0,1 мм при размере заготовки 457x610 мм при двух слоях пре-прега 1080 сдвиг слоев после ламинирования может достигать 100-160 мкм по углам, в зависимости от расположения штифтов на прессформе. Позже мы учтем эти

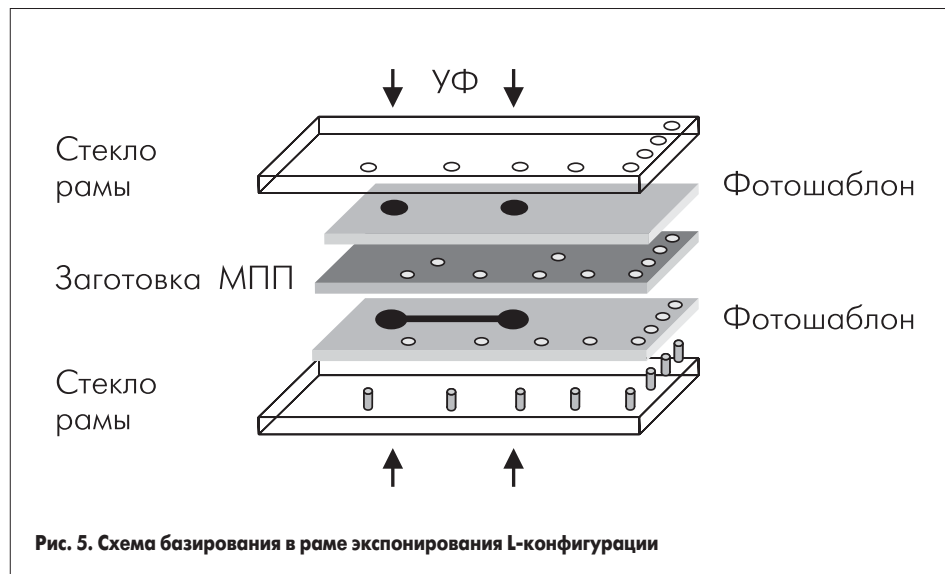


Рис. 5. Схема базирования в раме экспонирования L-конфигурации

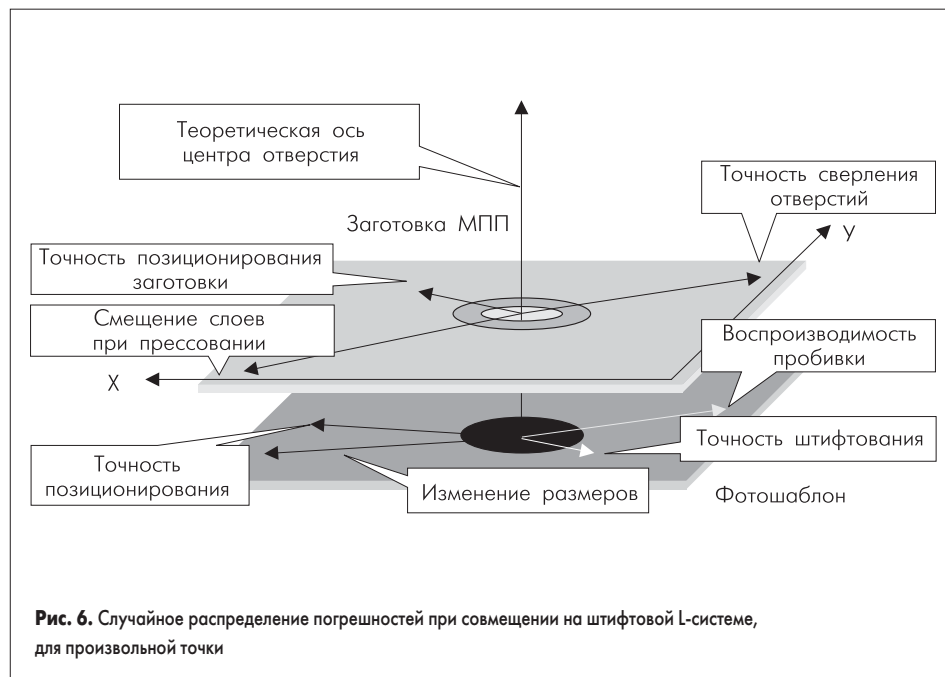


Рис. 6. Случайное распределение погрешностей при совмещении на штифтовой L-системе, для произвольной точки

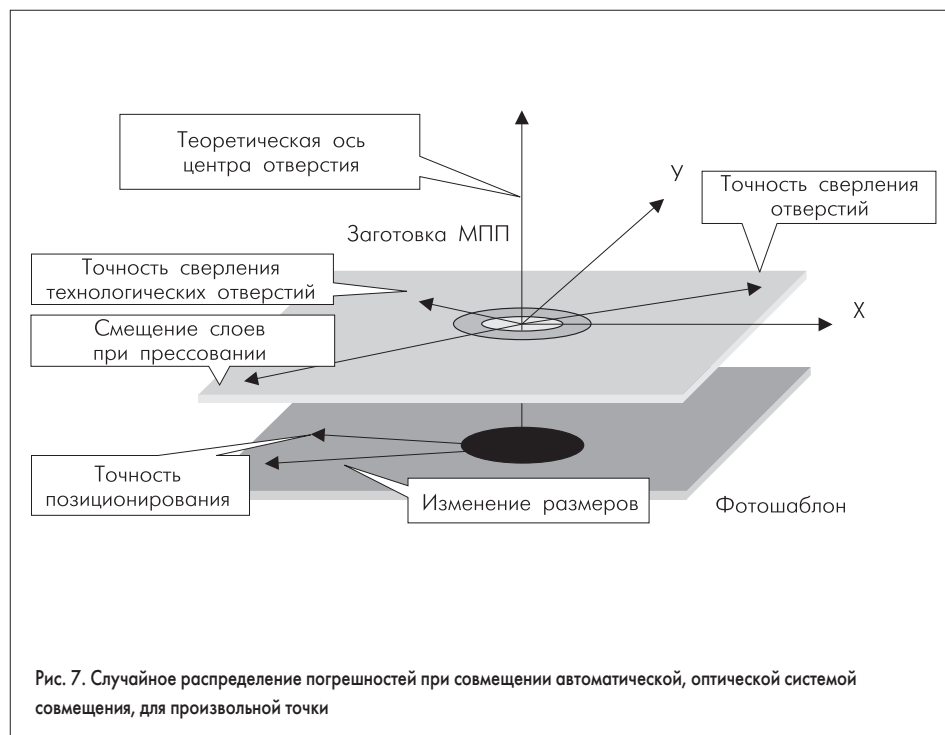


Рис. 7. Случайное распределение погрешностей при совмещении автоматической, оптической системой совмещения, для произвольной точки

данные для сравнительных расчетов. Пока оптимистично предположим, что на заготовке 300x450 смещение по углам будет не более 60 мкм.

Внешние слои

После прессования ламинированный пакет МПП поступает на установку TARGOMIL, где с применением лазерного прицеливания производится вскрытие реперов внутренних слоев с двух сторон одновременно. Теперь есть точки для автоматического оптического совмещения наружных слоев с внутренними. Для этого заготовка МПП поступает опять на установку TARGOMAT, где после усреднения изменения размеров заготовки МПП по реперным знакам с записью параметров в память установки (второй раз) просверливаются два базовых отверстия для сверления отверстий с точностью относительно усредненной точки прицеливания не хуже 15 мкм. Эти же отверстия используются при экспонировании внешних слоев. Процедура

$$\Delta T = \sqrt{(\Delta F)^2 + (\Delta P)^2 + (\Delta D)^2 + (\Delta S)^2}$$

$$\Delta F = \sqrt{10^2 + 13^2 + 10^2 + 28^2} = \pm 33 \text{ мкм}$$

$$\Delta P = \sqrt{1/8 ((\Delta D)2 + (\Delta C)2) * 8}$$

$$\sqrt{\Delta P} = 1/8 (302 + 82) * 8 = \pm 11 \text{ мкм}$$

$$\Delta T = \sqrt{33^2 + 11^2 + 30^2 + 60^2} = \pm 75 \text{ мкм}$$

проведения экспонирования внешних слоев и маски автоматическая, аналогичная экспонированию внутренних слоев. Данные по рас-совмещению вводятся в память машины на всех этапах.

Итак, вот преимущества:

1. Автоматическое усреднение изменения размеров фотошаблонов и базовых материалов на всех этапах совмещения рисунка схемы.

$$\Delta T = \sqrt{(\Delta F)^2 + (\Delta D)^2 + (\Delta S)^2}$$

$$\Delta F = \sqrt{1/2 (5^2 + 15^2 + 8^2 + (28/2)^2) * 2} = 15,9 \text{ мкм}$$

$$\Delta T = \sqrt{15,9^2 + 30^2 + 40^2} = \pm 52 \text{ мкм}$$

2. Имеем более точное базирование при экспонировании внешних слоев, в отличие от базирования по отверстиям, просверленным на CNC-машине (она оценивается 30 мкм).

3. Значительно меньшее смещение слоев при прессовании, за счет «правильной сборки пакета» и применения бандажирования.

4. Увеличивается коэффициент использования материала по сравнению с прессовкой в прессформах.
5. В автоматической светокопировальной раме не перегревается фотошаблон, что уменьшает изменение его размеров в процессе применения.
6. Отпадает необходимость пробивать базовые отверстия в фотошаблонах.
7. Исходя из п. 6, при определенных условиях возможно использование стеклянных фотошаблонов.
8. На всех этапах изготовления МПП, связанных с использованием системы совмещения (фотолитографии внутренних слоев, сверление технологических отверстий для сборки пакета, сверление отверстий для базирования на CNC-машине, фотолитография внешних слоев, фотолитография защитной маски, сверление технологических отверстий для точной обработки по контуру), обеспечен автоматический ввод информации в базу данных по параметрам расовмещения конкретных плат или слоев. Данная информация позволяет осуществлять оптимизацию технологического процесса, оперативно реагировать на внезапные отклонения, производить анализ по характеристикам применяемых материалов и изменению их размеров при обработке. Автоматический ввод информации позволяет осуществлять при проведении дополнительных организационных мероприятий диспетчирование производственного процесса в автоматическом режиме.
9. Технологические отверстия сверлятся с высокой точностью на всех толщинах заготовок.
10. Не требуется перезаточка штампов, поскольку их нет.
11. Не требуются прессформы для прессования и связанные с этим трудозатраты по их обслуживанию.
12. Не требуется установка для пробивки базовых отверстий в фотошаблонах.

13. Светокопировальная установка входит в комплект системы совмещения.

Ко всем преимуществам, отмеченным выше, стоит также заметить, что система легко встраивается в автоматическое производство.

Теперь, после знакомства с системой автоматического совмещения, самое время перейти к общей оценке точности сравниваемых двух систем совмещения.

Для расчетов примем следующие исходные данные:

Температура на участках изготовления фотошаблонов и фотолитографии 21 ± 1 °С. Влажность 55 ± 5 %. Такие параметры должны поддерживаться круглосуточно.

Рабочее поле заготовки МПП — 305×457 мм. Диагональ заготовки — 540 мм.

Тогда нестабильность размеров фотошаблона будет равна:

$(0,0009 \times 5/100 + 0,0018 \times 1/100) 540 = 0,028$ мм, где 0,0009 %/° — коэффициент изменения размеров от изменения влажности для фотопленки; 0,0018 %/° — коэффициент изменения размеров от температуры.

Обратимся к сайту фирмы «ПЕТРОКОМ-МЕРЦ» (рис. 5).

L-конфигурация:

- ± 10 мкм — точность позиционирования пленки;
- ± 13 мкм — воспроизводимость пробивки пленки;
- ± 10 мкм — точность штифтования пленки;
- ± 30 мкм — точность сверления;
- ± 8 мкм — разброс толщины меди;
- 8 положений штифтования ($n = 8$).

Далее воспользуемся данными компании PRINTPROCESS с интерполяцией значений на заготовку 300×450 мм.

- 60 мкм смещение слоев при прессовании.

Автоматическая оптическая система совмещения:

- 5 мкм — точность автоматического позиционирования фотошаблонов относительно технологических отверстий или реперных знаков;

- 15 мкм — точность сверления технологических отверстий на специальной установке;
- 8 мкм — точность толщины меди;
- 30 мкм — точность сверления отверстий;
- 40 мкм — смещение слоев при прессовании (по данным компании PRINTPROCESS, на 30 % меньше PIN-LAM системы совмещения).

Из рис. 6 видно, что погрешности будут накапливаться по всей длине заготовки, так как центр осей базирования находится в углу. Максимальное смещение будет по диагонали.

Обозначим:

- ΔF — погрешность совмещения на фотошаблоне;
- ΔP — погрешность позиционирования заготовки;
- ΔD — погрешность сверления отверстий заготовки используемых для базирования в раме;
- ΔC — точность толщины меди;
- ΔT — точность совмещения;
- Δ — сдвиг слоев при прессовании;

Тогда точность совмещения для L-конфигурации будет равна:

И это при соблюдении условий электронной вакуумной гигиены (ЭВГ)! Здесь еще не учли изменение размеров фотошаблонов в светокопировальной раме.

Из рис. 7 видно, что центр оси базирования находится в центре заготовки и, следовательно, погрешности, связанные с изменением размеров базовых материалов и фотошаблонов, будут уменьшены в два раза.

Точность совмещения в автоматической оптической системе равна:

Результат лучше, чем у L-конфигурации, на 23 мкм.

Теперь сделаем расчет с учетом того, что при использовании фотошаблон нагревается и изменяет свой размер на 100 мкм. Проведем расчет с изменением ΔF , получим для L-конфигурации $\Delta T = 125$ мкм (!), а для автоматической оптической системы совмещения $\Delta T = 61$ мкм (хороший результат).

Наименование системы совмещения	Преимущества	Недостатки
По одной стороне	Гибкость при различных размерах заготовки.	1. Усреднение отклонений идет по одной координате; 2. Необходимость пробивки овальных отверстий на заготовке; 3. Отсутствие статистики и непосредственных значений совмещения при выполнении операций.
4-х Слотовая система	Усреднение отклонений по двум координатам.	1. Жесткая привязка к размеру заготовки и размеру прессформы; 2. Необходимость наличия прессформ различного размера; 3. Необходимость пробивки овальных базовых отверстий на заготовке; 4. Отсутствие статистики и непосредственных значений совмещения при выполнении операций.
L-Конфигурация	1. Гибкость при различных размерах заготовки; 2. Отсутствие необходимости пробивать овальные отверстия на заготовке.	1. Отсутствие усреднения отклонений; 2. Простота фиксации заготовки на раме чувствительна к точности сверления базовых отверстий на заготовке и колебанию толщины металлизации в отверстиях по определению, особенно при экспонировании защитной паяльной маски; 3. Отсутствие статистики и непосредственных значений совмещения при выполнении операций.
Оптическая, автоматическая система	1. Рекордно высокая точность совмещения; 2. Высокая производительность; 3. Усреднение изменения размеров базовых ламинатов и фотошаблонов на всех этапах совмещения; 4. Гибкость в отношении размера заготовки; 5. Не требует базовых отверстий на фотошаблонах; 6. Возможно применение стеклянных фотошаблонов.* 7. Легко автоматизируются технологические переходы при дальнейшей модернизации; 8. Наличие статистики и реальных значений по расовмещению при непосредственном выполнении операций.	1. Относительно большие капиталовложения при модернизации производства с уже установившейся системой совмещения.

Выводы:

- Преимущества оптической автоматической системы совмещения несомненны. Это комплексное оборудование, позволяющее управлять производственным и технологическим процессом, используя базу данных, автоматически пополняющуюся в процессе производства (ваше зеркало).
- Следует отметить хорошую устойчивость данной системы к изменениям размеров пленок и базовых материалов.
- Совершенно очевидно, что при учете изменения размеров базовых материалов разрыв между результатами двух сравниваемых систем еще больше возрастает.
- В реальных условиях отсутствия ЭВГ у производителя 4-слотовая система может показать лучшие результаты за счет усреднения по двум координатам, чем L-конфигурация.

- На результаты совмещения сильно влияет подвижка слоев при прессовании. Следует обратить особое внимание на сборку пакета и метод прессования.
- Фотошаблоны, обращение с ними, ЭВГ — неотъемлемая часть любой системы совмещения.
- Светокопировальная рама, обеспечивающая постоянную температуру фотошаблонов, — обязательный компонент производства печатных плат высокой плотности.
- В автоматической системе совмещения, не требующей штифтов, можно применять и стеклянные фотошаблоны (о такой возможности следует проконсультироваться у производителя оборудования).

Источники использованной информации:

1. <http://www.w.petrocom.ru>
2. <http://www.w.printprocess.com>

3. <http://www.mie.com>

Автор выражает благодарность генеральному директору «ПЕТРОКОММЕРЦ» Будневичу М. И. и проф. Медведеву А. М. за предоставленные ими информационные материалы.

