

# ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫХ ПЕРЕХОДОВ В ПЕЧАТНЫХ ПЛАТАХ

В. Уразаев

**В статье рассказывается о новом методе повышения надежности печатных плат. Введение любых дополнительных операций отрицательно сказывается на себестоимости продукции. Но если такие операции способны увеличить выход годных, и результаты исследований подтверждают это, может получиться наоборот. Причем при изношенном парке технологического оборудования, чем наши предприятия могут только похвастаться, особую роль начинает играть "ремонтная" сторона предлагаемого метода. С точки же зрения потребителя продукции, особенно того потребителя, которого называют "оборонкой", любые дополнительные вложения в повышение надежности окупят себя сторицей.**

Как показывает статистика, одной из основных причин отказов печатных плат (ПП), и в первую очередь — многослойных (МПП), является разрыв цепей в металлизированных отверстиях [1]. А ведь ПП с металлизированными переходными отверстиями (сквозными и глухими) занимают на рынке доминирующее положение. Поэтому проблеме обеспечения качества и надежности металлизации переходных отверстий отводится не последнее место в производстве ПП.

Сам процесс химико-гальванической металлизации стенок отверстий сложен, многостадийный и переживает в последние годы революционные изменения, свидетельствующие о массовом переходе за рубежом на прямую металлизацию (DMS) [2]. Качество металлизации определяется многими факторами, и один из основных — состояние поверхности, на которую ложится металлическое покрытие. Большая часть этой поверхности состоит из эпоксидной смолы с фрагментами стекла, и ее состояние в основном зависит от способа формирования отверстий. Способов много, но в силу экономических соображений массово используют только высокоточные сверлильные станки. Лазерное формирование отверстий пока не получило широкого распространения и применяется преимущественно при изготовлении МПП с микропереходами (microvia) для отверстий диаметром менее 50 мкм [3]. Фольгированный же стеклотекстолит — это материал, по меньшей мере, неудобный для сверления. Поэтому и поверхность стенок отверстий получается далеко не идеальной. Как приблизиться к идеалу?

Разрывы металлизации переходных отверстий обычно появляются в процессе изготовления ПП, сборки узлов ПП или при эксплуатации изделий. Разрывы можно грубо разделить на явные и скрытые. К явным относятся непокрытые участки стенок отверстий. Они возникают на начальной стадии химико-гальванической металлизации и воспроизводятся по цепочке технологического процесса

в готовой ПП. Скрытые дефекты проявляются на финишных операциях изготовления и сборки ПП (оплавление, пайка). Основные причины появления дефектов металлизации обоих типов — это:

- отклонения от оптимальных режимов химико-гальванической металлизации;
- различие коэффициентов термического расширения стеклотекстолита и меди;
- появление в стенках отверстий вырывов и расслоений при сверлении.

Влияние данных факторов постоянно, но когда их суммарное воздействие превышает критическую величину, появляются дефекты металлизации. На производстве в таком случае обычно начинается полоса массового брака.

Полости (вырывы, макро- и микрорасслоения) на стенках просверленных отверстий возникают из-за наличия в стеклотекстолите трех различных материалов (меди, стекла, эпоксидной смолы), оптимальные режимы сверления которых не совпадают, а также из-за склонности слоистых пластиков к расслоению. Последующие технологические операции (гидроабразивная обработка, подтравливание диэлектрика, ионно-плазменная обработка и др.) частично устраняют или, наоборот, усугубляют эти дефекты.

Установлено, что явные дефекты металлизации часто совпадают с полостями в стенках отверстий, что можно объяснить истощением растворов, используемых при металлизации, в застойных зонах полостей, особенно — узких и глубоких. Это подтверждают результаты работы [4], описывающей повышение эффективности химической металлизации благодаря активаторам, частицы которых заряжены противоположно по отношению к заряду поверхности стенок отверстий.

Когда же дефектные полости все-таки перекрываются "тентом" из металлического покрытия (скрытые дефекты), в них остается электролит, который при последующих термических ударах (резких перепадах температуры) вскипает в закрытом объеме, вспучивая или разрывая покрытие. Выделение газа при пайке из-за разрывов в металлизации стенок отверстий известно под названием "out-gassing". Термические удары обычно возникают при изготовлении ПП (оплавление), сборке печатных узлов (пайка) и эксплуатации в экстремальных условиях. Даже если металлический "тент" не нарушен, остатки электролита в дефектной полости негативно сказываются на уровне сопротивления изоляции ПП при эксплуатации изделий во влажной атмосфере, что приводит к отказам уже электрохимической природы.

Негативное воздействие термических ударов усугубляется тем, что при переходе через температуру стеклования эпоксидной смо-



лы резко возрастает разница коэффициентов термического расширения стеклотекстолита и меди [5]. С 2004 года планируют исключить свинец из технологии изготовления печатных плат, а также из монтажных припоев. Это неизбежно увеличит максимальную температуру нагрева печатных плат на 20–30°C [3]. А поскольку величина термического удара определяется как скоростью изменения, так и разностью температур, возрастет (при прочих равных условиях) и число дефектов металлизации, непосредственно связанных с качеством сверления отверстий.

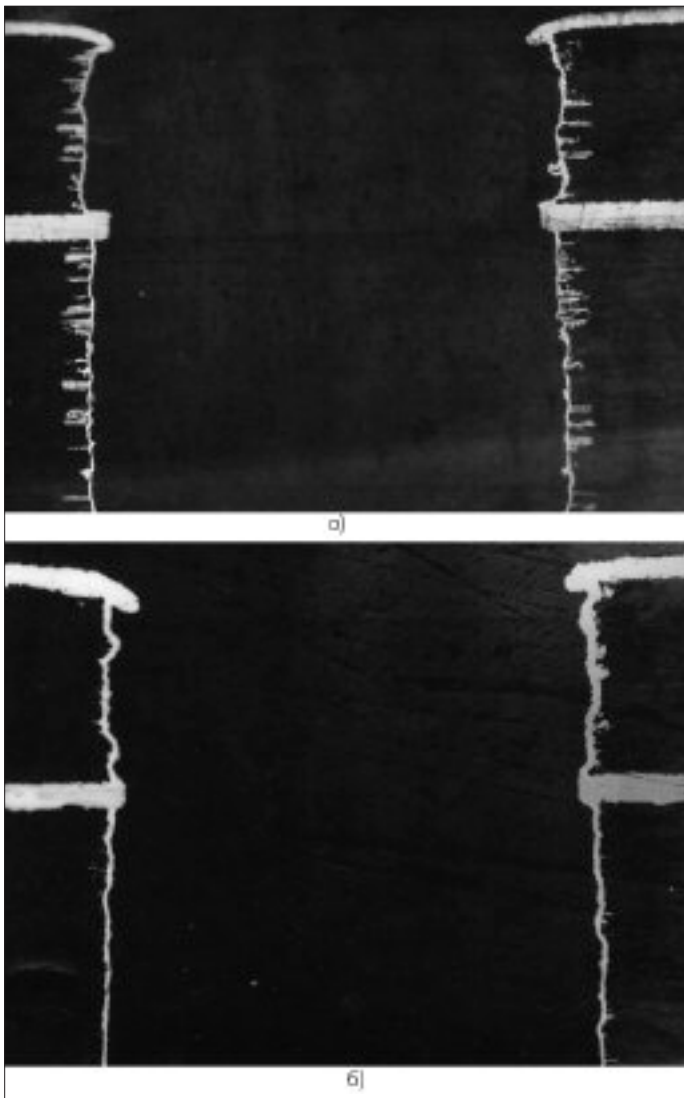
Полностью исключить вероятность появления дефектов при сверлении отверстий в ПП технически сложно. Поэтому для гарантированного их устранения был предложен подход, основанный на заполнении дефектных полостей в стенках отверстий жидкой полимеризационноспособной композицией. При последующей термообработке она превращается в полимер, близкий по электрофизическим свойствам к эпоксидному связующему стеклотекстолита. В принципе, можно использовать любую композицию, содержащую, как минимум, мономер с неперелетными связями и инициатор полимеризации. Заполнение дефектных полостей происходит по капиллярному механизму. Поэтому желательна минимальная вязкость композиции, следовательно – минимальная молекулярная масса мономера. Чтобы при отверждении композиции адгезионная связь с субстратом стеклотекстолита была прочной, лучше всего использовать multifunctional мономеры. В производственных условиях в такую композицию необходимо вводить ингибиторы полимеризации и/или иные стабилизирующие системы, поскольку медь – довольно активный металл, способный инициировать полимеризацию и по окислительно-восстановительному механизму.

Технология изготовления ПП диктует еще ряд требований к составу композиции, а точнее – к полимеру, который получается из

нее. В первую очередь, это термостойкость и температура стеклования, не уступающие аналогичным характеристикам эпоксидной смолы. Принципиально важны и диэлектрические свойства полимера. При травлении серной и плавиковой кислотами он по химической стойкости должен быть сравним с эпоксидной смолой. То же относится и к поведению полимера при гидроабразивной и/или ионно-плазменной обработке.

С учетом перечисленных и ряда других требований была разработана конкретная композиция. Технологию ее применения исследовали преимущественно в процессе производства МПП на заводах САМ (Москва) и ЗЭМЗ (Сергиев Посад) в период появления массового брака. Дефекты МПП в виде непокрытых участков после химического меднения и гальванической затяжки (гальванического нанесения меди на химически осажденную медь) на этих предприятиях обычно пытались устранить стравливанием меди и повторной металлизацией. Переходы стравливание–меднение повторялись неоднократно, что чаще всего приводило к растравливанию (увеличению) полостей в стенках отверстий и отходу МПП в брак. Предложенный же метод обеспечил 100%-ный выход годных.

Чтобы наглядно оценить влияние дополнительной обработки на качество металлизации переходных отверстий МПП, на заводе САМ была отобрана заготовка МПП с предельно увеличенными расслоениями (ореолами) вокруг просверленных отверстий. Ее разрезали на две части, и после полимеризационного наполнения одной из них на обеих заготовках провели химическую и гальваническую металлизацию (затяжку). На рисунке (а) показан фрагмент шлифа переходного металлизированного отверстия без дополнительной обработки стенок. Медное покрытие на шлифе напоминает гребенку, зубья которой погружены в расслоения на глубину 10–30 мкм при общей глубине полостей до 1,5 мм. Величину зу-



**Фрагмент шлифа переходного отверстия, металлизированного без дополнительной обработки стенок (а) и после заполнения полостей полимером (б)**

бьев, очевидно, ограничивает истощение химических реагентов в глубоких полостях.

На другом образце дефектные полости полностью заполняются полимером (рис., б). Стенки переходных отверстий ровные, покрытие сплошное, зубцы на металлическом покрытии отсутствуют. Особенности состава композиции и технологии обработки заготовок МПП позволяют избежать загрязнения торцов контактных площадок, поэтому разделительный слой между проводящими слоями МПП и металлическими пистонами не образуется. После завершения всех операций технологического цикла разрывы в покрытии также отсутствуют. В исходном же образце получить сплошное покрытие не удалось даже на операции химического донесения.

Высокую надежность ПП, особенно МПП, обуславливает не только качество металлизированных переходов, но и минимально допустимый уровень сопротивления изоляции диэлектрической подложки. С этой точки зрения стеклотекстолиты – далеко не лучший материал для подложки ПП. При длительной эксплуатации из-за миграции меди, которая направлена в основном вдоль волокон стеклоткани, значительно ухудшаются диэлектрические характеристики изоляционного основания. Так, сопротивление изоляции материалов типа FR-4 в ПП после длительной выдержки при темпера-

туре 50°C, относительной влажности воздуха 80% и напряжении постоянного тока 80 В снижается вплоть до нуля [6]. А если есть ионогенные загрязнения (остающиеся в полости под металлическим "тентом"), слово "длительной" в предыдущей фразе можно смело убрать. Уже сама ликвидация этих полостей позволит повысить уровень сопротивления изоляции ПП.

Кроме того, в процессе полимеризационного наполнения происходит заполнение микро- и макродефектов на границе раздела стекло–эпоксидная смола. Полимеризационно-способная композиция проникает и в дефекты структуры эпоксидной смолы, улучшая при этом ее диэлектрические характеристики [7]. Таким образом, независимо от того, есть ли ионогенные загрязнения в диэлектрике или их нет, при обработке стенок отверстий по предлагаемому методу автоматически повышается уровень сопротивления изоляции ПП. Максимальная эффективность наблюдается в высоконасыщенных ПП и особенно в МПП. Следовательно, решая задачу улучшения качества металлизации, мы одновременно повышаем уровень сопротивления изоляции ПП. И, наоборот, когда ставим задачу повышения уровня сопротивления изоляции, одновременно улучшаем качество металлизации. Трудно сказать, что первично, а что вторично – и то, и другое приводит к повышению надежности печатных плат в целом.

Среди производителей бытует мнение, что любое нововведение приводит к ухудшению качества продукции. Разработчик новой технологии и ее потенциальный потребитель всегда стоят по разные стороны баррикад. Одному кажется, что его разработка дает только положительный эффект, не ухудшая ничего. Другой считает, что такого не может быть никогда. Чаще всего "истина находится где-то рядом". Действительно, любые испытания лишь имитируют условия эксплуатации. Чем их больше, тем ближе они к реальным условиям, но никогда на 100% не заменят их. Поэтому внедрение любого технологического новшества – всегда риск. Можно лишь сказать, что МПП, изготовленные из бракованных заготовок с использованием полимеризационного наполнения стенок отверстий, успешно прошли довольно серьезные периодические испытания по ГОСТ 23752-79, 3-я группа жесткости.

Предложенная технология без особых проблем может быть реализована в серийном производстве ПП. Ориентировочная цена композиции – 10–15 долл./кг. Ее расход не превышает 5–10 г на ПП стандартного типоразмера (250x250 мм). Поскольку композиция не содержит дефицитных компонентов, проблем с поставками быть не должно. Технология проста и может быть реализована на оборудовании, используемом предприятиями-изготовителями ПП.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Медведев А.М.** Надежность и контроль качества печатного монтажа. – М.: Радио и связь, 1986.
2. [www.pcbfab.ru/links.html](http://www.pcbfab.ru/links.html).
3. **Цыгин Н.** Конференция по печатным платам в Санкт-Петербурге. – Электронные компоненты, 2001, № 5.
4. **Whitlow K., Favini C.** Une nouvelle approche pour ameliorer la soudabilite des circuits imprimes. – Galvano-Organo-Traitements de Surface, 1987, № 3.
5. **Тугов Ш.И., Кострыкина Г.И.** Химия и физика полимеров. – М.: Химия, 1989.
6. **Biglia R.** Neue Materialien fur Mehrlagen-Leiterplatten. – Elektronik Produktion und Pruftechnik, 1984, № 9.
7. **Уразаев В.** Полимеризационное наполнение – новые горизонты технологии печатных плат. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2002, №4.

## ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ ПОЛИМЕР

для многослойных печатных плат

В современную эпоху быстродействующего Интернета, высокочастотной беспроводной и проводной коммуникации рабочие параметры обычных материалов приближаются к своим пределам. Электрические межсоединения на основе меди ограничены диэлектрическими свойствами изолирующих слоев. Решения, использующие оптические соединения, слишком дороги. Нишу между этими материалами способен заполнить жидкокристаллический полимер (LCP), относящийся к уникальному классу высокотемпературных термопластиков. Обладающий низкими и стабильными значениями диэлектрической постоянной и коэффициента диэлектрических потерь, этот материал способен служить основой для высокоскоростной передачи электрических сигналов.

Сегодня одну из главных проблем составляет разработка материалов для создания многослойных печатных плат (МПП), которые бы обладали исключительной размерной стабильностью при отличных ВЧ-свойствах. В прошлом LCP не подходил для применения в качестве основания печатных плат из-за плохой адгезии и размерных характеристик. Однако теперь эти недостатки устранены, и он предопределяет стать следующим основным материалом для электронной промышленности.

Обычные кристаллические термопластичные материалы могут находиться в двух фазах – твердой при комнатной температуре и жидкой при нагреве до состояния плавления. LCP отличается от них тем, что находится в третьей фазе, которая обладает свойствами жидкого и твердого состояний. Фирмой Rogers разработано семейство полимеров на LCP

под торговой маркой ZYVEX, предназначенное специально для изготовления МПП с ВЧ-свойствами. ZYVEX основан на материале LCP с точкой плавления кристалла 280°C. Основа полимера состоит из плотно упакованных молекул в виде жестких стержней, и эта структура в сочетании с жидкокристаллическим заполнением обеспечивает отличные электрические и размерные характеристики. Полимерная система ZYVEX, кроме того, обладает чрезвычайно низким влагопоглощением и высокой стойкостью почти ко всем химикатам. В отличие от обычных кристаллических полимеров температура LCP при непрерывном использовании значительно выше точки стеклования. Характеристики семейства ZYVEX из материалов LCP для МПП приведены в таблице.

Как видно из таблицы, новый полимер позволяет использовать тонкие слои. Низкое влагопоглощение сокращает время термической обработки и способствует поддержанию стабильности электрических и механических свойств материала. Его можно применять в ВЧ-

Характеристика	TeraClad	TeraClad-HL	TeraClad-HH	TeraBond
Размерная стабильность, %	0+0,05	0,1+0,05	0+0,05	-
Кэф. теплового расширения, 10 <sup>-6</sup> /°C	17	8	17	-
Стойкость к пайке, °C	260	280	280	260
Максимальная рабочая температура, °C	220	220	220	-
Диэлектрическая постоянная	2,9 (1–10 ГГц)	2,9 (1–10 ГГц)	2,9 (1–10 ГГц)	2,9 (1–10 ГГц)
Кэф. диэлектрических потерь	0,002 (1–10 ГГц)	0,002 (1–10 ГГц)	0,002 (1–10 ГГц)	0,002 (1–10 ГГц)
Влагопоглощение, %	0,04	0,04	0,04	0,04
Тип конструкции	Один/двойной слой ламината	Двойной слой ламината	Двойной слой ламината	Присоединенная пленка
Толщина меди, мкм	12, 18, 35	12, 18, 35	12, 18, 35	Неплакированный
Толщина LCP, мкм	25, 50, 100	50, 100, 150, 200	50, 100, 150, 200	25, 50

и быстродействующих цифровых схемах в качестве основания МПП, а также в гибридной конструкции совместно с другими жесткими материалами, такими как FR-4.

[www.rogerscorporation.com](http://www.rogerscorporation.com)

## НОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ в производстве печатных плат

### Трафарет для сеткографии фирмы Speedline Technologies

Трафарет MPM AccuFlex предназначен для производства печатных плат с объемом 8 тыс. плат в неделю. Обработывает платы размерами от 75x50 до 580x500 мм и способен печатать рисунок с шагом 0,003 мм с надлежащей точностью. Время печати сокращено до 5 с. Конвейерная система обеспечивает непрерывный поток плат и общую гибкость. Автоматическое размещение платы и программируемое позиционирование трафарета сводит к минимуму или устраняет вмешательство оператора при переналадке.

### Модульный конвейер фирмы Palomar Technologies

Используется при разработке и производстве автоматического сборочного оборудования. Состоит из набора стандартных монтирующих модулей, подъемного узла со стандартной платой, вентиляционного узла, сенсорного экрана, общей системы управления, механических и вакуумных захимов. Стандартные модули снижают стоимость конвейера, повышают надежность продукции, позволяют быстро совершенствовать конструкцию.

### Система контроля пайки фирмы Omron Electronics LLC

Система VT-WIN II предназначена для быстрой и точной идентификации дефектов в печатных узлах. Усовершенствованные алгоритмы обеспечивают контроль таких технологических процессов, как пайка без свинца. ПО, создаваемое с помощью данных САПР, включает алгоритмы, сокращающие время программирования оператором.

### Автоматизированная система оптического контроля фирмы Omron Electronics LLC

Система VT-MOUSE идеально подходит для мелкосерийного производства печатных узлов. Проверяет наличие/отсутствие компонентов, полярность, пайку. Использует патентованную технологию цветного освещения для поиска скрытых дефектов пайки и непра-

вильно размещенных компонентов. Обнаруживает перемычки и дефекты из-за смачиваемости припоя, излишек или недостаток припоя, полости из-за обезгаживания материала или шарики припоя – из-за его загрязнения. На основе Windows обеспечивается интуитивное программирование.

### Система внутрисхемного контроля фирмы Agilent Technologies

В системе 3070 средства периферийного сканирования ScanWorks используются для контроля качества печатных плат и полупроводниковых приборов на плате, диагностирования неисправностей. Пригодна для серийного производства.

### Система контроля BGA фирмы Electronix

Рентгеновская система контроля VJ-1000 LP создает изображение с высоким разрешением BGA, микроBGA и ИС в других корпусах. Усилитель изображения, цифровое управление, увеличение в 25–200 раз обеспечивают прецизионность контроля. Может быть приспособлена для плат размерами до 460x685 мм.

### Комбинированная система рентгеновского и видеоконтроля фирмы CR Technology

Система XRV осуществляет полный контроль сложных печатных узлов с платами размерами до 450x510 мм при устойчивом их размещении на конвейере. Камера и рентгеновская установка работают под программным управлением.

### Трехмерная система контроля паяльной пасты фирмы GSI Lumonics

Система SVS 8300SPI предназначена для контроля плат размерами до 615x667 мм. Мгновенно измеряет толщину паяльной пасты. Переналадка для новых изделий производится очень быстро и при непрерывном процессе обнаружения случайных дефектов.

[www.e-insite.net/epf/](http://www.e-insite.net/epf/)