

Технологическая база для электроники следующих поколений

Визит в цех производства
печатных плат
АО «Концерн «Автоматика»

Текст: Владимир Мейлицев

»

АО «Концерн «Автоматика» — крупнейшее предприятие Российской Федерации по разработке и производству технических средств засекреченной связи, защищенных телекоммуникационных систем, а также систем автоматизированного управления специального назначения. Осваивая все самые передовые материалы и технологии своего времени и при необходимости разрабатывая собственные, концерн в течение 60 лет изготавливал печатные платы (ПП) — физическую основу своей продукции; но три года назад вдруг прекратил их производство. Почему? Потому что пришло время для нового технологического рывка, который позволил бы изготавливать платы самой высокой конструктивной сложности — иначе была бы утрачена способность предприятия выпускать приборы и системы с необходимым сегодня функционалом.

Совместно с Группой компаний Остек концерн провел коренную реконструкцию и переоснащение цеха по производству ПП, и теперь по своим техническим возможностям в этом отношении входит в группу элитных российских предприятий, для пересчета которых с избытком хватило бы пальцев одной руки. Высокоточную электронику могут выпускать многие российские компании, но подавляющее их большинство собирает ее на платах стороннего, часто зарубежного производства, особенно когда речь идет о платах высокой сложности. А тут — отечественное предприятие, на котором освоено изготовление многослойных печатных плат (МПП) 5-го класса точности с элементами 7-го! Мы не могли оставить без внимания такое явление и с благодарностью приняли приглашение посетить концерн. Нас встретил в своем кабинете первый заместитель генерального директора, главный инженер Евгений Валентинович Котов.

Как вы оцениваете значение создания в концерне производства современных прецизионных печатных плат?

Е. Котов: Наше предприятие начало производить печатные платы более 60 лет назад. Мы прошли всё: и толстопленочную технологию, и тонкопленочную, гибридную технологию на различных материалах — на ситалле, на полиимиде, на поликоре и даже на титалане, который сами изобрели. И вот мы на три года приостановили производство. Демонтировали старое оборудование, произвели инженерно-строительные работы — более высокий класс точности требует чистого производства. Мы действительно поставили уникальную технологию. Конечно, рано говорить, что мы достигли в ней вершин мастерства, но мы дошли до конца, уже делаем уникальные для нашей страны платы, которые раньше втридорога заказывали за рубежом. Это большой шаг; а если сумеем поставить следующую технологию — изготовление гибко-жестких печатных плат, — то будем полностью готовы к производству электроники самого современного уровня.

Этот цех вы готовили только для собственных нужд?

Е. Котов: Не только. По окончании квалификационных испытаний печатных плат, изготовленных на технологической линейке цеха, все предприятия концерна, расположенные в центральном регионе, получают указание



Е. Котов

прекратить заказывать платы у сторонних производителей — всё будет делаться здесь.

Но это еще не решение вопроса. Сегодня бюджет нашего предприятия, да и всех предприятий, входящих в концерн, в основном состоит из Гособоронзаказа. Чтобы чувствовать себя устойчиво, нужно развивать коммерческое направление. По перспективному финансовому плану нам надо к 2025 году с объема выпуска 15 млрд руб. в год выйти на рубеж 86 млрд руб. При этом мы понимаем, что рынку надо предложить продукцию, в которой мы могли бы использовать свой, наработанный десятилетиями, опыт и знания, и такая продукция есть. В условиях жесткой конкуренции закрытый доступ к информации — голубая мечта всех бизнес-структур, и нам уже есть что предложить им.

Есть и другое направление работы. Мы уже рассматриваем поступающие предложения по контрактному производству — изготовлению печатных плат и электронных модулей для компаний, не входящих в состав концерна. Предприятие имеет технологическую линейку автоматизированного монтажа, включая элементы с шариковыми выводами, и оборудование для тестирования и контроля электронных узлов.

В переоснащение производства вложены большие средства. Как вы думаете, в какие сроки они могут окупиться?

Е. Котов: Быстрая окупаемость — не цель этого проекта. Основной задачей было обеспечить технологической базой наши новые разработки. Для современных устройств нужны именно такие платы — высокого

класса точности, с глухими переходными отверстиями, с возможностью ставить компоненты BGA и другие с матричным расположением выводов. Да еще наши платы должны иметь специальные электрофизические свойства... Предприятий, способных выпускать такой продукт, в России практически нет. Вот что нам нужно было в первую очередь; а окупить затраты в течение трех или пяти лет — нет, такую цель мы перед собой не ставили. Но мы, запустив этот набор оборудования, создали колоссальный задел — его хватит не только на это поколение электронных устройств, но и на следующее. В сочетании с технологией поверхностного монтажа, поставленной на предприятии ранее, срок окупаемости оборудования не будет длительным.

После такого вступления желание осмотреть новое производство возросло многократно. По цеху нас провели заместитель начальника цеха печатных плат Дмитрий Витальевич Карпов и главный технолог ООО «Остек-Сервис-Технология» Аркадий Михайлович Сержантов.

А. Сержантов: Начало процессу модернизации цеха по производству ПП было положено в 2007 году, когда Московский государственный проектный институт приступил к разработке проекта реконструкции. Активное переоснащение началось в 2010 году. Строительную часть — освобождение и ремонт помещений, прокладку коммуникаций, оборудование гермозон и т. п. — выполняли специалисты Группы компаний Остек. Определение состава оборудования, его поставка, установка, наладка, запуск, выпуск опытных партий продукции



А. Сержантов



А. Ратников

и обучение персонала осуществлялось компанией «Остек-Сервис-Технология».

Критерием успешного завершения этих работ стало изготовление тестового изделия — 12-слойной печатной платы высокой сложности. Плата в целом соответствует 5-му классу точности и имеет элементы, соответствующие 6-му и 7-му классу. Ее характерные параметры: минимальная ширина проводника / зазора 75 / 75 мкм, размер площадки 0,4 мм, диаметр сверления 0,3 мм при гарантийном пояске 25 мкм и аспектном отношении 10, возможность установки BGA-компонентов. Первые платы на новом оборудовании делались объединенной командой «Остек-Сервис-Технологии» и концерна «Автоматика». После этого мы передали цеху операционную технологию на каждую единицу оборудования, и сейчас уже без нашего участия выпущена установочная партия для квалификационных испытаний.

Заканчивая рассказ об «истории вопроса», хочу отметить, что в 2007 году, когда все начиналось, плат 6-го и 7-го классов еще не существовало, и техническое задание было выпущено на линию изготовления плат по 5-му классу точности. Но мы совместно с начальником цеха, к.х.н. Александром Павловичем Ратниковым сознательно подбирали оборудование с резервами по увеличению сложности и качества, чтобы обеспечить задел на долгую перспективу.

Какие базовые материалы могут применяться для плат, производимых на оборудовании цеха?

А. Сержантов: Данная технология позволяет работать со всеми диэлектриками, применяемыми в электронной промышленности: стеклопластиковыми, полиимидами, стеклонаполненными полиимидами на основе эпоксиднополиимидного связующего, материалами типа Rogers и другими СВЧ-диэлектриками. Мы поставляем

в основном материалы японской фирмы Hitachi. Конкретно же платы установочной партии изготовлены из массового базового материала класса FR-4. Единственное, что действительно важно, — чтобы базовый материал закупался в комплекте с соответствующим ему препрегом.

Операция, с которой начинается изготовление ПП, — раскрой базового материала и препрега. В концерне принята заготовка стандартного типоразмера 305 x 457 мм, которая может быть индивидуальной или групповой в зависимости от габаритов изготавливаемых плат. Перед запуском заготовки проходят процедуру термостабилизации: выдерживаются в термошкафе при температуре 120 °С в течение 2 ч и затем остывают вместе со шкафом. Это необходимо для снятия внутренних напряжений и, как следствие, уменьшения усадки при прохождении последующих этапов технологического цикла.

Различные слои МПП требуют разного состава технологических операций при их изготовлении?

А. Сержантов: Самый короткий маршрут проходят те внутренние слои МПП, в которых отсутствуют межслойные переходы. Такие заготовки не нуждаются в дополнительной металлизации, для создания их токопроводящей структуры достаточно фольги базового материала. Работа с ними начинается сразу с операций фотолитографической группы.

Подготовка поверхности перед нанесением фоторезиста осуществляется на линии Streamline английского производителя Semco. В этой линии реализовано ноу-

хау: бесконтактная технология жидкостного движения заготовок. Раствор подается в виде ламинарного потока над и под заготовкой, и этот поток перемещает заготовку вдоль процессной камеры. Кроме обеспечения движения, такая подача способствует более быстрой и равномерной — по сравнению с традиционными линиями — химической обработке поверхностей. Введение и выведение заготовки в камеру производится цилиндрическими валками; это, в сочетании с принципиальным отсутствием в самой камере узких роликов, обычных для других систем, полностью исключает какие-либо следы на заготовке, устраняет возможность ее застревания или деформации кромок.

Кроме того, линии типа Streamline отличаются компактностью и удобством обслуживания. Это достигнуто благодаря новаторской конструкции камер обработки — отмечу, инженеры Semco разработали ее под влиянием технических требований, представленных нашей компанией.

Какая технология используется для экспонирования фоторезиста?

А. Сержантов: После нанесения фоторезиста рис 1 и его предварительного задубливания заготовка подается на участок фотолитографии — на установку прямого экспонирования Apollon-D1, модификация M11 рис 2. Производитель — швейцарская компания Printprocess. Таких установок в России сегодня всего 16, а в Европе еще меньше — всего шесть!

В этом образце установлены три экспонирующих головки с ультрафиолетовыми диодами, которые позволяют работать и с фоторезистами, и с паяльными масками,



1
Машина для наслаивания пленочного фоторезиста – ламинатор компании OTS (Корея). Слева от ламинатора – установка обеспыливания



2
Установка прямого экспонирования Apollon-D1-M11

в том числе жидкими. Головки самые лучшие из всех представленных на рынке: машина способна наносить на фоторезист рисунок с шириной проводника и зазора 35 мкм — собственно, это уже уровень микроэлектроники. В обеспечении такого качества немалую роль играет автоматическая система фокусирования луча, нивелирующая влияние неровностей заготовки.

Одна из ключевых особенностей установки — реализованные в ней технологии совмещения. Система, основанная на двух видеокамерах, осуществляет привязку тремя различными методами, отличающимися для внешних и внутренних слоев МПП. Ошибка совмещения в этой машине не превышает 5 мкм, что является одним из лучших в мире показателей для подобного оборудования.

Собственная система фильтрации создает в рабочей камере чистую среду, а заготовка перед экспонированием проходит через абразивные валики, которые счищают с нее пыль.

Наконец, еще одна важная особенность швейцарской машины: в программу, управляющую позиционированием экспонирующих головок, можно ввести масштабирующий коэффициент. Известно, что в процессе

травления слоя МПП он усаживается, и технолог точно знает, на какую величину. Эта величина — возьмем для примера 100 мкм — вводится в программу, и она пересчитывает траектории движения головок таким образом, чтобы рисунок на фоторезисте получился пропорционально увеличенным на 100 мкм. Тогда после травления заготовка, что называется, «войдет в ноль».

Проявление фоторезиста производится на установке Frezer Style; на ней же на заключительных стадиях изготовления МПП проявляют паяльную маску.

Дальше — травление?

А. Сержантов: В большинстве случаев для травления внутренних слоев без межслойных переходов применяется линия кислого травления с обычным фоторезистом, а для внутренних слоев с межслойными переходами, внешних слоев МПП и двухслойных плат — линии щелочного травления. В концерне «Автоматика» установлена одна линия щелочного травления Frezer Style рис 3, на ней травят и внутренние слои без межслойных переходов, используя для этого универсальный



3

Линия щелочного травления LD 610 AE компании Frezer Style

фоторезист, стойкий к кислым и щелочным травильным растворам. Машина в целом подобна той, на которой проявляется фоторезист, но имеет некоторые конструктивные отличия, обусловленные назначением.

Здесь надо упомянуть одну важную особенность, которая реализована во всех линиях Frezer Style, но наибольшее значение имеет именно для процесса травления. Конвейер, по которому движется заготовка платы, выполнен в виде ряда валов с роликами, причем ролики расположены со сдвигом — в шахматном порядке. Это позволяет расположить валы максимально близко друг к другу, чем достигается возможность работы с очень тонкими материалами и очень маленькими заготовками. Но главное не это. Ролики конвейера оборудованы системой отсоса, которая предотвращает образование застойных натеков травильного раствора. Мало того, в данном процессе «Остек-Сервис-Технология» реализовала свою идею анизотропного травления. Эти два решения обеспечили почти нулевой боковой подтрав проводников — не нужно специально объяснять, насколько это важно для плат с 75-микронной топологией.

После отмытки от травильного раствора, раздубливания (снятия) фоторезиста, финишной отмытки и сушки заготовки внутренних слоев практически готовы для комплектации в пакет многослойной платы. Если по какой-либо причине сборка пакета задерживается, то платы помещаются в шкаф сухого хранения. Впрочем, такое хранение необходимо и в ряде других случаев — нельзя, чтобы заготовки между операциями набирали влагу.

Чем отличается технология изготовления внутренних слоев МПП, в конструкции которых имеются межслойные переходы?

А. Сержантов: Работа с такими слоями начинается со сверления переходных отверстий. Точнее, со сверления технологических базовых отверстий и штифтования пакета для сверления рис 4, в который, помимо самой заготовки (заготовок), входят нижняя и верхняя накладки, основная функция которых — максимальное ограничение образования заусенцев при сверлении. Эта операция выполняется на машине Spinamatic, установленной вместе со сверлильными станками и другим оборудованием на механическом участке.

Для сверления, а также фрезерования участок оборудован двумя станками производства компании Posalux (Швейцария): трехшпиндельным 3600-LZ и универсальным сверлильно-фрезерным Ultraspeed Mono Combi рис 5. В модели 3600-LZ каждый из трех шпинделей установлен в отдельной станции, модель Ultraspeed Mono Combi имеет одну станцию, оборудованную двумя шпинделями — один для сверления, другой для фрезерования.



4
Сверху: станок Spinamatic для сверления двух базовых отверстий и штифтования. Производитель — компания VF (Италия). Снизу: установка EdgeCut компании Seetrex (Англия) для обработки кромок печатных плат

При диаметре площадки вокруг отверстия, равном 0,4 мм, сверление должно быть очень точным...

А. Сержантов: Оба станка Posalux относятся к категории прецизионных, причем лучших в своем классе: точность позиционирования у них составляет 5 мкм, повторяемость — 2 мкм. Но для практики решающую роль играет интегральный показатель — точность сверления, а на нее оказывает влияние такой фактор, как уход сверла в толще материала.

В платах высокого класса точности минимальный диаметр отверстия может доходить до 75 мкм. Но даже при диаметре 0,3 мм — том диаметре, который уже освоен в цехе, — сверло, наталкиваясь на стеклянные нити в толще базового материала, легко уходит в сторону, и единственный способ свести к минимуму этот эффект — повысить обороты шпинделя. У установленных здесь станков Posalux скорость вращения сверлильных шпинделей достигает до 250 тыс. оборотов в минуту, и, как результат, на них достигается очень высокая точность сверления: 12,5 мкм.

Кстати, столь высокая скорость вращения обуславливает необходимость отдельного шпинделя для фрезеро-



5
Прецизионные станки швейцарской компании Posalux: слева – скоростной трехшпиндельный (модель 3600-LZ); справа – комбинированный сверлильно-фрезерный (модель Ultraspeed Mono Combi)

вания. Для достижения таких оборотов в конструкции сверлильного шпинделя применен пневматический подшипник, а он плохо переносит боковые нагрузки, неизбежные при фрезеровании. Поэтому фрезеровательный шпиндель вращается в шариковом подшипнике, и его максимальная скорость ограничена величиной 60 тыс. оборотов в минуту — чего, впрочем, с избытком хватает для выполняемых им операций.

Станки также характеризуются высоким быстродействием — оно может достигать до четырех отверстий в секунду на каждый шпиндель. Достигается это применением линейных приводов, обеспечивающих очень высокие скорости перемещения по всем трем осям. По оси X движется станция, по оси Y — стол станка; и в той и в другой моделях скорости перемещения по этим осям могут достигать до 50 м/мин, а ускорения, развиваемые приводами, достигают до 15 м/с² по обеим осям. Для оси Z (вертикальное движение шпинделя) эти величины составляют 30 м/мин и 40 м/с² соответственно.

А если требуется просверлить глухое отверстие?

А. Сержантов: Для сверления отверстий на заданную глубину есть функция отсчета вертикального перемещения шпинделя от поверхности. Причем это может быть поверхность верхней накладки — тогда используется механический датчик касания; либо можно задать величину перемещения от фольгированной поверхности платы — здесь работает электрический датчик. Таким образом можно уйти от ошибок, вызываемых неровностями накладки. Точность контроля глубины

у этих станков составляет $\pm 12,5$ мкм, то есть, если у нас на внутреннем слое использована фольга толщиной 35 мкм, то сверло может остановиться непосредственно в меди.

Такая же функция контроля глубины реализована для операции фрезерования. Например, есть операция, называемая обнизовкой: когда какой-то элемент не помещается по высоте из-за плотной компоновки устройства, под него в плате надо сделать углубление — обнизить. Обнизовка производится на готовых платах, уже перед финальными испытаниями и сдачей продукции; если сделать ее раньше, на заготовках, то в ходе дальнейших операций углубление будет заматаллизовано.

Все три станции станка 3600-LZ работают по одной программе?

Д. Карпов: Да, по одной. Три шпинделя обрабатывают три заготовки, соответственно утраивая производительность на этом этапе технологической цепочки.

Хочу отметить еще одно преимущество этих станков. На оборудовании прежних поколений оператор мог заметить поломку сверла только после окончания всей процедуры сверления, увидев недосверленные отверстия или вообще отсутствие их в нужных местах. Станки Posalux оборудованы контрольной станцией с оптическим (лазерным) датчиком, которая проверяет не только целостность сверла, но и его геометрию — правильность заточки. Забракованный инструмент автоматически заменяется, для чего станки оборудованы евромагазинами на 154 инструмента (количество определено для инструментов диаметром 1/8").

Дальше наступает очередь металлизации отверстий?

А. Сержантов: Непосредственно после сверления необходимо очистить поверхность заготовки и удалить заусенцы — при всех предосторожностях при сверлении в каком-то виде они все равно могут быть. Эта операция производится на установке Unibloc_2.25.M итальянской фирмы Pola & Massa рис 6. После этого заготовка слоя попадает на двухрядную химико-гальваническую линию металлизации печатных плат PAL Galvour рис 7. Это самое лучшее оборудование такого назначения из всего, что сейчас поставляется в России. Конструкторы предусмотрели множество тонкостей, чтобы надежно достигался наилучший технический результат. Это регулируемые анодные диафрагмы — легко перемещаемые рамы с тканью, делящие процессную ванну на катодный и анодный отделы; они обеспечивают качественную фильтрацию раствора в анодном отделе процессной ванны. Это реверсно-импульсный источник питания гальванического процесса — он способствует более равномерному осаждению меди по площади платы. Это система полипропиленовых фиксаторов, поддерживающих заготовки снизу, удерживая их на нужном расстоянии от электродов при покачивании катодной штанги. Это специальные вибраторы, способствующие лучшей циркуляции раствора около поверхности заготовки и удалению воздуха из отверстий, что весьма актуально для отверстий малого диаметра и большой относительной глубины. И еще много всяких усовершенствований, вплоть до лазерной системы позиционирования транспортера.



Д. Карпов

Линия работает по программируемой циклограмме, рассчитана на загрузку — две подвески с заготовками 610 x 457 мм или четыре с заготовками 305 x 457 мм. Производительность, в соответствии с техническим заданием Концерна «Автоматика», — 1,5 м²/ч.

Первая операция, которую проходит заготовка на этой линии, — химическое осаждение меди и гальваническая затяжка до толщины 6–8 мкм на всей поверхности платы и по стенкам ее отверстий. После этого наступает черед нанесения фоторезиста, экспонирования, проявления — об этих процессах мы рассказали выше. Фоторезист негативный — там, где он присутствует, дальнейшего осаждения меди не будет. Заготовка возвращается на линию металлизации, и здесь производится гальваническое осаждение меди, в ходе которого ее слой наращивается до общей толщины 25 мкм от фольги на поверхности заготовки и в отверстиях.



6

Установка Pola & Massa Unibloc_2.25.M



7 Химико-гальваническая линия металлизации печатных плат PAL Galvour: слева – два конвейера линии; справа – шкаф управления с терминалом оператора

Последняя операция, проводимая на этой линии, — нанесение металлорезиста на свободную от фоторезиста поверхность меди. Металлорезист будет защищать токопроводящую структуру заготовки при травлении, а фоторезист снимается рис 8, и в процессе травления медь удаляется с заготовки. После травления производится удаление металлорезиста, далее следует заключительная отмывка и сушка, после чего процесс изготовления внутренних слоев с металлизированными отверстиями можно считать завершенным.

Как проверяется качество выполнения проводящего рисунка?

Д. Карпов: Такого рода проверки проводятся на участке межоперационного контроля. Один из основных инструментов здесь — автоматическая оптическая инспекция Discovery II 8200 израильской фирмы Orbotech рис 9. Установка может проверять как геометрию нанесения фоторезиста на медную поверхность, так и форму и размеры элементов проводящей структуры; она работает и по контрасту фоторезист-медь, и по контрасту медь-диэлектрик. В памяти машины задается эталонный рисунок, она сравнивает его с изображением видеочкамеры и показывает оператору выявленные отклонения. Решение, квалифицировать отклонение как брак или допустить изделие в дальнейшее производство, принимает оператор. Заодно машина обучается у оператора идентифицировать дефекты.

А. Сержантов: При оптической инспекции важно не только найти ошибки, но и избежать ложных сигналов о них — пусть они не приводят сразу к выбраковке образца, но на уточняющий анализ будет потрачено много времени и труда. В Discovery применяется комбинированное освещение — синим и красным светодиодными источниками, наводимыми на объект под разными углами, — сводящее количество подобных ситуаций к минимуму.



Проводятся ли какие-то более сложные анализы?

Д. Карпов: На участке есть еще один прибор с большими контрольно-измерительными возможностями — флуоресцентный рентгеновский микроскоп SFT 9350 производства Seiko Instruments рис 10. Он позволяет определить толщину слоев металлизации и установить их химический состав. Микроскоп калибруется по эталонным образцам, их данные заносятся в память его компьютера и затем сравниваются с данными, полученными в ходе измерения. Работает быстро — замер одного участка занимает примерно 3 с. Получается неразрушающий экспресс-контроль со всей полнотой информации: геометрические параметры и химический состав. При необходимости можно запрограммировать трассу движения измерительной головки с несколькими точками контроля.



8 Линия снятия фоторезиста итальянской компании Pola & Massa



9 Автоматическая оптическая инспекция Discovery II 8200



10 Рентгеновский флуоресцентный микроскоп SFT 9350

А. Сержантов: Принцип действия: изучаемая зона облучается микродозой рентгеновских лучей, металл флуоресцирует, рентгеновские диоды принимают переизлученный сигнал, компьютер его обрабатывает. В результатах обработки мы видим, если говорить, например, о внешнем слое МПП с нанесенным финишным покрытием олово-свинец, толщину этого покрытия, процентное содержание олова и свинца, а также даже незначительные количества посторонних примесей, если, например, в покрытии растворилось какое-то количество меди.

Более того, флуоресцентный микроскоп может анализировать в одном замере и более сложные структуры. Например, в случае покрытия иммерсионным золотом он покажет и толщину золота на никеле, и толщину никеля на меди, и толщину меди на диэлектрике; всего ему доступно измерение структур, содержащих до пяти слоев материалов. Размер зоны исследования определяется коллиматором: чем тоньше луч, формируемый им, тем точнее прибор — но и дороже, конечно.

Внутренние слои платы готовы, внешние пока представляют собой просто нарезанные в размер листы базового материала или фольги. Что дальше?

Д. Карпов: После того, как внутренние слои подготовлены, наступает время сборки пакета для прессования. Это ответственная операция, здесь необходим 7-й класс чистоты по ГОСТ ИСО 14644-1, который можно охарактеризовать следующим требованием: не более 352 пылинок диаметром до 5 мкм на кубический дециметр объема помещения. Температура здесь должна выдерживаться на уровне 21 ± 1 °С, влажность — 55 ± 5 %. Поэтому пакет собирается на отдельном участке, который Остек оборудовал как гермозону, и одну из дверей тамбура нельзя открыть, не закрыв другую.

А. Сержантов: Просто собрать пакет из имеющихся заготовок нельзя. Во-первых, внутренние слои должны пройти подготовку поверхностей перед прессованием на специальной линии рис 11. Но главная проблема, когда речь идет о МПП высокой сложности и точности, — это свойство базового материала изменяться в размерах после прохождения различных процессов технологического цикла. В данном случае для нас важно изменение размеров внутренних слоев после операции травления. Опыт показывает, что самые лучшие диэлектрики имеют размерную нестабильность порядка 0,02 %, то есть примерно 100 мкм на длине 0,5 м — порядок размера нашей заготовки. Но вспомним требования к плате: диаметр площадки 0,4 мм, отверстия — 0,3 мм; то есть поясок вокруг отверстия будет иметь ширину 50 мкм при идеально точном попадании. А у нас усадка — 100 мкм! Если попытаться работать с такими отклонениями, то мы просто не сможем изготовить плату даже на лучшем диэлектрике — а ведь есть и менее качественные базовые материалы с нестабильностью 0,03 и даже 0,05 %.

Поэтому в технологический маршрут введены операции, которые мы называем усреднением погрешности, причем производятся они несколько раз, на разных этапах, разными способами и на разном оборудовании. Первый раз компенсацию изменения размера заготовки нам обеспечил Apollon-D1. Вторая операция такого рода в виде усреднения погрешности производится именно перед сборкой пакета для прессования.

Что такое усреднение погрешности перед прессованием?

А. Сержантов: Для этого используется автоматическая система совмещения Printprocess Targomat IV рис 12. Две камеры установки определяют расстояние между двумя реперными знаками на заготовке слоя МПП. Допустим, оно увеличилось по сравнению с указанным в докумен-



11 Конвейерная установка химической подготовки медной поверхности перед прессованием и нанесением паяльной маски с модулем сушки LD 610 TOP-BOND BO

тации на те самые 100 мкм. Тогда, если привязываться к одному реперу, другой «уйдет» на недопустимые 100 мкм. Поэтому в дальнейшем процессе привязка проводится не к реперам, а к так называемой идеальной базе — на производстве концерна «Автоматика» для заготовок стандартного типоразмера она принята равной 422 мм. Targomat располагает базу со сдвигом относительно исходного репера на половину увеличения размера; таким образом, при работе относительно этой базы погрешность в любой точке заготовки не превысит 50 мкм. Идеальная база выполняется в виде отверстий, которые Targomat засверливает с точностью позиционирования ± 2 мкм и повторяемостью 1 мкм. Производительность машины — 240 заготовок в час.

После сверления базовых отверстий на заготовках всех слоев пакета они подаются на еще одну машину



12 Автоматическая установка совмещения Targomat IV



13 Гидравлический вакуумный пресс LO 400-VK

фирмы Printprocess — установку сборки пакета МПП типа Rivolino. Вообще, для всех операций, связанных с точным базированием, мы выбрали оборудование этой компании. Мы уже упоминали весьма совершенную систему совмещения, которой оснащена другая машина Printprocess — установка прямого экспонирования Apollon-D1. И вот опять Printprocess. Это не случайно: системы совмещения — можно сказать, «конек» этой швейцарской фирмы.

Мы применили бесштифтовую технологию прессования, поэтому далее пакет скрепляется по технологическому полю заклепками; сдвиг слоев при этом не превышает 10 мкм. Теперь нужно поместить пакет в пресс-форму, что происходит на линии сборки-разборки пресс-форм. На нижнюю плиту пресс-формы укладывается сначала термобуфер — он нужен для выравнивания температуры и давления — затем фольга, потом слой препрега, далее следует скрепленный пакет, сверху — опять препрег, фольга и термобуфер. Все это через прокладочные листы зажимается в пресс-форме и теперь уже уходит на пресс.

Почему выбран пресс именно этого типа?

Д. Карпов: Четырехэтажный гидравлический вакуумный пресс LO 400-VK рис 13 — одна из моделей линейки прессов германской фирмы HML, специально разработанных для выполнения операции прессования МПП. Применение вакуума уменьшает зависимость процесса

от текучести препрега и способствует удалению летучих веществ и, следовательно, лучшему заполнению смолой внутренних пустот, то есть получению более прочной конструкции МПП. Вообще же продукция HML характеризуется хорошим соотношением «цена — качество — производительность». А конкретная модель определилась нужной нам этажностью и габаритами нагревательных плит — их размер 660 x 810 мм хорошо соответствует заготовке нашего унифицированного типоразмера.

А. Сержантов: Важное условие для успешного прессования — точная загрузка, симметричная по всем координатам. При прессовании на пакет действует усилие 25 т — можно себе представить, какой эффект получится при малейшем перекосе. Мало того, что загубим пакет — загубим плиты пресса. Поэтому — жесткое условие: непараллельность плит не должна превышать 20 мкм. Кстати, для точного назначения параметров режима прессования нужно знать параметры применяемой партии базового материала — текучесть, время гелеобразования и т. д. В комплекте оборудования цеха предусмотрен небольшой лабораторный пресс для их определения.

По окончании прессования на заготовке МПП производится операция сверления сквозных переходных отверстий.



14 Targomil - установка для вскрытия реперных знаков

На сверлильный станок пакет поступает прямо с пресса?

Д. Карпов: Пакет извлекается из пресс-формы и уходит на участок механической обработки. Уходит через шлюз — в помещении, где производится сверление и фрезерование, класс чистоты не должен и не может быть столь же высоким, как в зоне сборки-разборки пакета.

На участке механической обработки прежде всего выполняется обрезка кромок пакета, в ходе которой удаляются технологические поля вместе с облоем и заклепками. Затем наступает очередь еще одной процедуры усреднения погрешностей — ведь в процессе прессования пакет опять меняется в размерах, возможны сдвиги слоев вследствие усадки. Здесь опять задействуется Targomat IV. Но сначала нужно вскрыть реперные знаки — вспомним, что наружные слои МПП еще полностью покрыты фольгой. Эта операция проводится на установке Targomil также производства фирмы Printprocess рис 14. Оснащенная двумя шпинделями, верхним и нижним, установка осуществляет фрезерование на заданную глубину с точностью 50 мкм.

А. Сержантов: Установка совмещения Targomat IV способна «видеть» не только в отраженном свете, но и на просвет. Таким образом, она может фиксировать реперные знаки одновременно в нескольких слоях МПП. К тому же в установленном здесь образце реализована опция Optima test. Используя отфрезерованные по углам отверстия, она позволяет точно измерить усадку всей заготовки и каждого слоя в отдельности и величину рассовмещения слоев. По полученной информации Targomat высверливает новые отверстия идеальной базы, располагая ее с учетом выявленных размерных отклонений. Кроме того, эта информация может быть использована для корректировки программы сверления. Такой тест проводится, как правило, для первой партии плат новой конструкции (с новым десятичным номером) и при поступлении в производство новой партии базового материала. В случае особо сложных плат 5-го и более высоких классов тест надо проводить для каждой заготовки.

МПП с просверленными отверстиями новой идеальной базы собирается в пакет для сверления, штифтуется на установке Pinning Twin рис 15 и устанавливается на сверлильный станок — тот же, который используется при сверлении внутренних слоев с межслойными переходами. После сверления производится расштифтовка сверлильного пакета для его разборки.



15 Pinning Twin – установка одновременного штифтования двух отверстий в пакете печатных плат. Производитель: VF (Италия)

Чем отличается дальнейший маршрут МПП от последовательности операций, производимых при изготовлении внутренних слоев с межслойными переходами?

Д. Карпов: В части химико-гальванических операций эти два процесса очень похожи. Производится механическая очистка поверхности и удаление заусенцев; химическое меднение и гальваническая затяжка; фотолитография внешних слоев: нанесение фоторезиста,

экспонирование, проявление; гальваническое осаждение меди с последующим нанесением металлорезиста; травление; снятие металлорезиста; отмывка и сушка.

А дальше начинаются отличия. Во-первых, все платы — а на данном этапе это уже практически готовая МПП — проходят электрическое тестирование: контроль сопротивления проводников и сопротивления изоляции между ними. Оно выполняется на установке ELX6146 фирмы MicroCraft (Япония), представляющей собой тестер с «летающими щупами». Установка оснащена высокоточным прибором для контроля низкоомных сопротивлений и двухзондовыми пробниками, что позволяет контролировать сопротивления металлизированных отверстий и печатных проводников.

Далее надо подготовить плату к пайке компонентов, для чего нанести на нее паяльную маску и финишное покрытие. Порядок этих двух операций определяется типом финишного покрытия. На предприятии приняты два типа: горячее облуживание и иммерсионное золочение.

Облуживание производится припоем ПОС-63 на установке Quicksilver компании Semco рис 16, в которой реализован классический HASL-процесс с горячими воздушными ножами. Quicksilver — лучшее по качеству оборудование этого класса из всего, что поставляется в Россию. К тому же оно очень удобно в эксплуатации и обслуживании.

На линии Pre-Hall осуществляется микротравление меди и флюсование, на линии Post-Hall — охлаждение и отмывка от флюса.

А. Сержантов: Стоит отметить одну важную тонкость: перед облуживанием МПП необходимо хорошо высушить. Если в ней останется влага, то МПП может быть просто разорвана образовавшимся при облуживании паром. Платы сушатся в специальных шкафах, и у технологов существует незыблемое правило: сушка и облуживание — в одну смену.



16 Участок горячего облуживания. Слева: установка горячего облуживания Quicksilver; справа: весь комплект оборудования, на переднем плане линия подготовки к облуживанию Pre-Hall (правая) и линия заключительных операций Post-Hall (левая)

Д. Карпов: Для иммерсионного золочения имеется компактная установка Comtracta 40 2Cu немецкой компании Bungard Elektronik рис 17. А нанесение защитной паяльной маски производится на установке струйно-факельного нанесения типа all4 PCB швейцарской фирмы all4 PCB с буферным накопителем, оснащенный модулем переворота обрабатываемых плат. Нанесенная в жидком состоянии защитная паяльная маска подсушивается, затем экспонируется на той же установке прямого экспонирования Apollon-D1 и проявляется на еще одной линии Frezer Style.

После отмывки и просушки МПП уже физически готова к монтажу, но на нее надо еще нанести границы расположения компонентов, их позиционные обозначения, названия, маркеры 1-го вывода или полярности; идентификаторы платы — десятичный номер, может быть, заводской номер, может быть, штрихкод или баркод и т. д.

Эта работа выполняется автоматическим маркировщиком Orbotech Sprint 100 рис 18. По существу, эта машина представляет собой специализированный каплеструйный принтер. Специализация выражается, например, в том, что машина сама находит базы. Оператору достаточно просто положить плату в угол рабочей зоны, и через несколько секунд плата выходит с готовой маркировкой. Разрешение принтера, равное 720/1440 точек на дюйм, позволяет наносить линии с минимальной шириной 0,2 мм в обычном режиме и 0,1 мм в режиме высокой точности; минимальная высота текста при этом составляет 0,9 и 0,5 мм соответственно.

Последняя операция в цехе — финальное электрическое тестирование на установке с «летающими щупами», после чего плата уходит в отдел технического контроля.

Как вам видится перспектива дальнейшего развития производства печатных плат в концерне «Автоматика»?

А. Сержантов: Если говорить о локальных планах, то имеются намерения по приобретению ряда единиц нового оборудования. Так, используемая модель тестера с «летающими щупами» уже довольно старая, и мы должны поставить две новых установки этого назначения. Одна из них будет способна, используя метод вихревых токов, измерять сопротивление металлизированных переходных отверстий с такой точностью, что можно будет определять толщину меди на их стенках.

Собираемся приобрести установку PerFix Automated Optical Repair компании Orbotech для устранения коротких замыканий и излишков меди на слоях печатных плат — с ее помощью возможно устранять дефекты, которые не поддаются ручному ремонту. Ждем выхода автоматического маркировщика с новыми возможностями: перед маркировкой он сам будет наносить паяльную маску по рисунку проводящей структуры.



17 Установка струйно-факельного нанесения защитной паяльной маски KU 453 швейцарской фирмы all4 PCB

Если же говорить о планах более общих, то в них мы закладываем принципиальное расширение возможностей производства. Сейчас цех оборудован для выполнения полного цикла работ по изготовлению многослойных печатных плат высокого уровня сложности. А мы со специалистами концерна прорабатываем стратегию модернизации, в результате которой можно будет производить и гибко-жесткие печатные платы, и гибридные МПП. А еще можно сказать, что технология металлизации сквозных отверстий, по которой сейчас работает цех, уже становится пройденным этапом, и мы просматриваем возможности перехода к тому, что идет ей на смену, — к технологии послойного наращивания. Интересно, что именно по этой технологии в Советском Союзе были изготовлены первые МПП, и вот теперь спираль замыкается — разумеется, на новом уровне. Что ж, у технического прогресса свои законы... ▽



18 Автоматический маркировщик Orbotech Sprint 100