



НИЦЭВТ и печатные платы: история и действительность

Вот уже более 50 лет Научно-исследовательский центр электронной вычислительной техники (НИЦЭВТ) занимает ведущее положение в области разработок технологий и производства печатных плат. Для построения вычислительной техники требовались печатные платы, превосходящие по плотности межсоединений и степени интеграции элементной базы все другие печатные платы, используемые в приборостроении, медицине, оборонной технике, авиации и т. д. Поэтому именно в вычислительной технике опережающими темпами велись работы по созданию самых современных и перспективных технологий изготовления печатных плат.

**Аркадий Сержантов,
к. т. н.**

Nicevt-op125@nicevt.ru

В НИЦЭВТе, еще до внедрения в производство технологии изготовления многослойных печатных плат (МПП) методом металлизации сквозных отверстий, использовались технологии открытых контактных площадок, попарного пресования и др. В конце 1960-х — начале 1970-х была разработана и внедрена в производство путем создания отдельных участков технология изготовления МПП методом послойного наращивания. До сих пор эта технология обеспечивает производство МПП с самыми высокими показателями по надежности. И наконец, НИЦЭВТ был лидером в освоении и внедрении технологии изготовления МПП методом металлизации сквозных отверстий. Данный проект НИЦЭВТ осуществлял на серийных заводах в Минске, Бресте, Кишиневе, Каменск-Уральском, Волжском, Астрахани и других городах. Одним из первых НИЦЭВТ разработал, освоил и внедрил в производство варианты и разновидности технологии металлизации сквозных отверстий — с межслойными и «глухими» переходами, с попарным соединением МПП, с внутренним теплостокком, с наружным теплостокком или МПП и ДПП на металлическом основании, крупноформатные МПП, гибко-жесткие МПП и т. п. Кроме того, непрерывно велись работы по обеспечению выпуска прецизионных МПП во всех конструктивных вариантах, и всегда стояла задача, решение которой позволяло обеспечивать выпуск всех типов ПП, как сейчас говорят, 5-го класса точности. Традиционно в Центре ведется активное освоение полиимидных материалов в технологии ПП. Так, разработаны и внедрены в производство технологии изготовления полиимидных прецизионных МПП на металлическом или другом основании 5-го класса точности методом изопланарной технологии для

многокристалльных модулей с использованием жидкого полиимидного лака, технология изготовления полиимидных МПП методом послойного наращивания, в том числе и на металлическом основании. Сегодня специалисты вплотную подошли к созданию технологии изготовления МПП методом металлизации сквозных отверстий из неармированных материалов с помощью чистого пленочного полиимида.

Следует также отметить, что в НИЦЭВТе всегда выпускались и гибкие печатные кабели (гибкие шлейфы) — односторонние, двусторонние и двусторонние с металлизированными отверстиями, обеспечивающими межслойные переходы. И если вначале они изготавливались из тонких отечественных фольгированных стеклотекстолитов, то затем их стали выполнять и из тонких фольгированных полиимидов отечественного или импортного производства. В качестве защитной маски применялись жидкие эпоксидные композиции, а сейчас и полиимидные покровные пленки. Осваиваются и защитные гибкие пленочные полиимидные маски водно-щелочного проявления.

Гибко-жесткие МПП выпускались из фольгированных стеклопластиков, а сейчас их производство освоено и из комбинации фольгированных стеклопластиков (жесткая часть) и фольгированных полиимидов (гибкая часть).

Новые разработки всегда подтверждались и подтверждаются всеми видами испытаний. Качество плат обеспечивается действующей системой управления качеством продукции, работает военная приемка Министерства обороны.

В 1993–98 гг., несмотря на трудную ситуацию в промышленности, Центр не только не допустил разрушения производства, но и развил его, в том

числе в области печатных плат. Сейчас ОАО «НИЦЭВТ» имеет пакет разрешительных документов, обеспечивающих выпуск техники военного назначения, специальной техники и техники для атомной промышленности. Как известно, на столичных предприятиях существуют трудности, связанные с сохранением гальванических производств, однако в Центре действуют цех общей гальваники и химико-гальванический участок в цехе печатных плат, для которых предусмотрены очистные сооружения. В результате ОАО «НИЦЭВТ» признано правительством Москвы в качестве базового предприятия по гальваническим производствам Южного административного округа Москвы.

Коренная реконструкция и полное переоснащение цеха печатных плат проводились в 1989–90 гг. Уже тогда цех мог выпускать обычные ДПП и МПП, прецизионные, крупноформатные, с межслойными переходами, полиимидные, попарно соединенные. Цех обеспечивал и выпуск ГПК из стеклоэпоксидов и полиимидов. Основные конструктивные характеристики ПП и ГПК были следующие:

- максимальные габариты 460×540 мм;
- максимальная толщина 6 мм;
- минимальный диаметр сквозного отверстия 0,4 мм;
- максимальное соотношение толщины платы к диаметру металлизированного отверстия 15:1;
- минимальная ширина проводника и зазора 0,15 мм.

Производительность цеха составляла 350 тыс. дм² ППП в год при односменной работе.

Для обеспечения выпуска ПП таких конструктивных решений были закуплены за границей «чистые» комнаты с антистатическими полами. Участки фотошаблонов, «сухой» фотохимии, полиимидных плат располагались в «чистых» комнатах класса «1000» с локальными зонами класса «100». На участке сверления класс чистоты составлял «10 000». В данных комнатах автоматическая поддерживалась постоянная температура 22(±1) °С и относительная влажность 55(±5)% при работающем оборудовании во всех точках комнат.

Для обеспечения металлизации отверстий с соотношением толщины платы к диаметру отверстия 15:1 фирмой «Шеринг» по техническому заданию НИЦЭВТ была разработана, поставлена и введена в эксплуатацию гальваническая линия «Дина плюс 130 специаль». Уже тогда для подготовки отверстий под химическую металлизацию была приобретена и введена в эксплуатацию горизонтальная конвейерная линия «Юниплайт-П» фирмы «Шеринг», обеспечивающая подготовку отверстий в перманганатных растворах.

Для сверления заготовок ПП были закуплены у фирмы «Эксцеллон» одношпиндельные станки EX-132 в варианте «микродринлинг», что позволило сверлить тонкие отверстия в толстых платах в несколько заходов

или сверлить «глухие» отверстия на заданную глубину, а для обеспечения большей производительности предприятие закупило четырехшпиндельные сверлильные станки «Марк-6». Также у фирмы «Эксцеллон» впервые в СССР приобретен лазерный генератор изображения «ЛПП-2001» для прорисовки фотошаблонов, а у фирмы «Орбот» — установка автоматического оптического контроля фотошаблонов и внутренних слоев ПП. Фирма «Мульти-Лайн» поставила установки автоматической пробивки баз в фотошаблонах и внутренних слоях. Фирма «Бюркле» предоставила вакуумные прессы ЛАМ-В-175, все оборудование для мокрых процессов поступило от фирмы «Шмид». К началу 1990-х в НИЦЭВТе был создан и введен в эксплуатацию суперсовременный цех печатных плат, по некоторым технологическим операциям опережающий свое время на несколько лет. Все это позволило изготавливать на тот момент самые последние модели электронных вычислительных машин общего и специального назначения.

Но постепенно оборудование старело, а конструктивные решения ПП — усложнялись. В первую очередь это касалось уменьшения диаметров металлизированных отверстий. Обеспечить качественную металлизацию отверстий для соотношения толщины платы к диаметру отверстия 10:1 при диаметре отверстия 0,4 мм — одна проблема, а другая, причем гораздо более сложная, — металлизация при соотношении 7:1 и диаметре отверстия 0,2 мм. Постепенно прошел переход от фоторезистов и пленочных защитных органо-проявляемых масок на фоторезисты и маски водно-щелочного проявления. Рыночная экономика и работа «под заказ» заставили существенно расширить спектр покрытий ПП. Так были освоены процессы нанесения жидких защитных паяльных масок, наряду с традиционным для НИЦЭВТа шифром покрытия проводящего рисунка «медь-никель-олово-свинец гальванический» начали применяться процессы горячего облуживания ПП на установке «Пента-600» с воздушными ножами, гальванического осаждения золотого твердого покрытия на «врубных» контактах и ламелях, гальванического нанесения тонкого «мягкого» паяемого слоя золота и т. д. Для этого НИЦЭВТ проводил закупки необходимого технологического специального оборудования и модернизацию действующего, а также осуществлял внедрение новых электролитов и различных химических растворов для «мокрых» процессов.

В результате данных мероприятий цех ПП выпускает ДПП и МПП обычные, прецизионные, крупноформатные, с внутренним теплоотводом, на металлическом основании, с межслойными переходами с широким спектром различных покрытий. Кроме того, цех изготавливает гибкие печатные кабели и гибко-жесткие МПП.

Основные конструктивные характеристики следующие:

- максимальные габариты 460×540 мм;

- минимальный диаметр сверления отверстий 0,2 мм;
- максимальное соотношение толщины платы к диаметру металлизированного отверстия 7:1;
- минимальная ширина проводника 0,11 мм;
- минимальная ширина зазора 0,12 мм;
- минимальная разница диаметра контактной площадки и диаметра сверла 0,25 мм.

Исходя из представленных данных всегда можно рассчитать максимальное количество внутренних слоев и толщину платы.

Производительность цеха составляет 280 тыс. дм² ПП в год при односменной работе и в пересчете на двусторонние печатные платы.

Несколько слов о заказчиках. Если раньше основным заказчиком цеха ПП был сам Центр и ПП использовались для построения всего спектра разрабатываемых и изготавливаемых ЭВМ, то теперь ситуация резко изменилась. Основные заказчики цеха ПП требуют выполнения следующих условий:

- наличие пакета разрешительных документов для производства техники заказчика;
- наличие военной приемки Министерства обороны;
- действие системы управления качеством продукции;
- регулярное проведение периодических испытаний, подтверждающих качество продукции и стабильность технологических процессов.

Выполнение и анализ данных условий свидетельствуют о том, что основными заказчиками НИЦЭВТа являются предприятия, обеспечивающие выпуск электронной техники специального назначения, у которых нет собственного производства, пригодного для выпуска столь сложных ПП, а иногда и отсутствует свой монтажно-сборочный цех. В этом случае Центр берет на себя монтажно-сборочные работы и соответствующие процессы мехобработки, общей гальваники, лакокраски и т. д. Но, кроме того, принимает заказы на изготовление ПП, ГПК и ГЖ МПП коммерческого направления.

Следует также отметить, что в заказах доля сложных прецизионных плат постоянно возрастает. Как правило, во всех приборах, системах управления и т. д. используется цифровая система обработки сигналов, и любой прибор или система управления представляют собой ЭВМ, для которых необходимы ПП самых сложных конструктивных решений.

Еще одна проблема — использование импортных материалов для изготовления печатных плат. Некоторые заказчики категорически не разрешают использовать импортные материалы, а качество отечественных материалов, к сожалению, оставляет желать лучшего. В России до сих пор нет соответствующих разрешительных документов, некоторые фирмы-поставщики материалов пытаются разработать программы сравнительных испытаний и провести эти испытания, но дело с мертвой точки не сдвигается. И вот приходится прилагать героические усилия,



мириться с большим процентом брака, но полностью выполнять требования заказчика. Правда, в последнее время и в импортных материалах, например в фольгированных диэлектриках фирмы «Изола», стал появляться брак (в первую очередь вытечка смолы через поры фольги). Смолу практически невозможно удалить, и это приводит к увеличению процента брака.

Теперь о конструкторской документации (КД), необходимой для изготовления и сдачи продукции заказчику. НИЦЭВТ действует по принципу изготовления ПП по той документации, которая есть у заказчика. Хорошо, если у заказчика имеется полный комплект документации, но часто она предоставляется не в полном объеме, а иногда и вообще отсутствует, а платы надо изготовить. В этом случае предприятие разрабатывает конструкторскую документацию и на ячейки, и на платы, выполняя все необходимые этапы данного процесса. Иногда, при отсутствии РСВ-файлов на ПП, приходится использовать фотошаблоны заказчика, изготовленные несколько лет назад, самостоятельно разрабатывать программы сверления, электроконтроля и фрезерования.

Итак, конструктивы ПП непрерывно усложняются, а оборудование для производства ПП стареет, и его все труднее поддерживать в нормальном рабочем состоянии. Резкое усложнение конструктивов ПП произошло с начала использования больших интегральных схем в корпусах с шариковыми выводами, так называемых BGA-компонентов. НИЦЭВТ производит ПП под монтаж BGA-компонентов и выполняет его с шагом выводов 1,27 мм и 1,0 мм. Особо сложная задача — изготавливать платы на металлическом основании и выполнять на них монтаж BGA-компонентов. Есть у нас и такие заказы. Но при использовании BGA-компонентов с шагом выводов 1 мм и менее и другой современной элементной базы возникает проблема производства ПП 5-го класса точности и выше при наличии межслойных и «глухих» переходов. Естественно, перед нами стоит проблема существенного обновления парка технологического оборудования и связанная с ней задача обеспечения цеха ПП водой, электричеством и возду-

хом с более жесткими требованиями по чистоте и пульсациям. Необходимо также обеспечение производственных участков требуемым классом чистоты воздуха.

Но это — одна сторона вопроса. Другая — это непрерывное развитие и совершенствование отдельных технологических операций и техпроцессов в целом. Назовем некоторые из них:

- процессы прямой металлизации;
- процессы покрытия контактных площадок под пайку без использования свинца;
- процессы подготовки заготовок ПП под наплаивание фоторезистов, масок и покрытий на контактных площадках микроплавлением;
- процессы подготовки слоев под прессование;
- процессы гальванического осаждения меди с новым аппаратным оснащением;
- безштифтовое прессование заготовок ПП, так называемый «процесс масс-лам».

Первые пять процессов довольно тщательно описаны в литературе, подробные данные по этим процессам имеются у фирм-поставщиков. Такие процессы необходимо внедрять и предусматривать для этого соответствующее оборудование.

По процессу масс-лам в НИЦЭВТе возникло много вопросов, и на некоторые из них мы не могли получить аргументированных ответов. Главный вопрос: как удастся достичь стабильности линейных размеров по осям X и Y при бесштифтовом прессовании? Исходя из закона сохранения постоянного объема при сильном сдавливании плит пресса по оси Z (более 20 кг/см²), «блин», то есть заготовка платы, должен расплзтись по осям X и Y. Кстати, давным-давно, при освоении процессов прессования печатных плат, по этой причине и был выбран процесс прессования пин-лам, или штифтовое прессование. Некоторые фирмы — поставщики оборудования предпочитают процесс пин-лам, а некоторые придерживаются иного мнения. Конечно, если предприятие располагает рамой экспонирования с автоматическим совмещением фотошаблонов, вакуумным прессом, установкой вскрытия баз, установкой совмещения слоев и бондирования, комплектом пресс-форм, то процесс масс-лам более предпочтителен, хотя бы

с точки зрения производительности. Знакомство с одним европейским заводом по производству ПП, где используются процессы масс-лам и выпускаются платы 5-го класса точности, показало, что процесс масс-лам обеспечивает выпуск таких прецизионных плат. Исходя из этого, НИЦЭВТ закупил комплект необходимого оборудования для исследования, опробования и внедрения процесса масс-лам в техпроцесс изготовления МПП. В состав оборудования входит установка совмещения слоев и бондирования методом сварки, рентгеновская установка вскрытия баз, комплект пресс-форм и рабочее место сборки пакета прессования. Вакуумный пресс у нас уже был. Подробные исследования будут опубликованы позднее, но первые результаты показали, что процесс масс-лам не вносит в прессование дополнительных погрешностей и не создает нестабильности линейных размеров заготовок печатных плат больше, чем процесс пин-лам. Причем эту проверку мы провели и на МПП самых больших габаритов (500×600 мм). Во всех случаях были получены удовлетворительные результаты.

Для того чтобы соответствовать современным требованиям в области конструкций и технологий выпуска печатных плат, необходима дальнейшая модернизация цеха печатных плат, причем без остановки производства, так как заказчики ждать не будут. Мы хорошо понимаем это и намечаем планы по соответствующим направлениям. НИЦЭВТу предстоит закупить, освоить и внедрить комплект нового технологического оборудования, материалов и технологических процессов, провести необходимые строительные-монтажные работы. В настоящий момент уже существует техническое задание, подбираются поставщики оборудования, а также фирмы, выполняющие проектные решения. В результате модернизации производства предприятие сохранит всю номенклатуру изделий, имеющих основные конструктивные характеристики:

- максимальные габариты 460×540 мм;
- минимальный диаметр сверления сквозных и «глухих» отверстий 0,1 мм;
- максимальное соотношение толщины платы к диаметру металлизированного отверстия 10:1;
- максимальное соотношение глубины сверления «глухого» отверстия к диаметру 1:1;
- минимальная ширина проводника и зазора 80 мкм;
- минимальная разница диаметра контактной площадки и диаметра сверла 0,2 мм.

Производительность цеха будет составлять 350 тыс. дм² печатных плат в год при односторонней работе.

Показывая историю развития печатных плат на примере НИЦЭВТа, намечая перспективные планы, мы думаем, что эти проблемы актуальны для многих коллективов, и надеемся, что наш материал поможет им в этом.