

# ПРОТОТИПНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

## ПОДХОД ОТ КОМПАНИИ "РЕЗОНИТ"

1 октября компания "Резонит" — известный производитель печатных плат — открыла специализированный участок их прототипного изготовления. В нашей стране примечателен каждый факт организации нового производства в области электроники, тем более если речь идет о принципиально не массовой сфере, призванной обеспечить процесс разработки радиоэлектронных устройств. Почему же фирма, специализирующаяся на серийном выпуске печатных плат, столь энергично вторглась в область прототипного производства, наш разговор с генеральным директором компании "Резонит" Андреем Ильичом Кучерявым.

**Андрей Ильич, почему вы решили обратиться к столь специфичному и новому для вашей компании направлению — к прототипному производству печатных плат?**

Нельзя сказать, что прототипное производство — это абсолютно новое для нас направление. "Резонит" стремится оказывать своим клиентам как можно более широкий комплекс услуг в области изготовления печатных плат (ПП), и опытное их производство — важный элемент этого комплекса. Другой вопрос, как подходить к решению такой задачи. Ведь только на первый взгляд кажется, что опытные ПП — это нечто простое, и делать их можно разве что не вручную. В действительности ситуация гораздо серьезнее.

Начнем с того, что потребность в прототипах ПП по числу их типономиналов может существенно превышать серийные заказы. Устройство может и не дойти до серии, но стадию опытного образца оно пройдет обязательно. Уровень же современных электронных изделий таков, что зачастую даже для макета требуется печатная плата с большой плотностью проводников, с несколькими слоями и высоким качеством — иначе не удастся получить адекватный результат при макетировании. Скажем, как с низким уровнем технологии произвести даже одну печатную плату для монтажа СБИС в столь популярных сегодня корпусах типа BGA?

Специалисты компании "Резонит" провели анализ потребности в прототипных печатных платах. Результаты показали, что ежемесячный объем этого рынка в России — порядка 50 тыс. дм<sup>2</sup> печатных плат около 6 тыс. типономиналов. Причем значительная их часть требует высокого качества изготовления и сложности вплоть до 5 класса по ГОСТ 23751-86. Постоянно растет доля заказов и на многослойные прототипные ПП.

Однако изготовить сложные печатные платы в единичных количествах не так просто. Ведь здесь требуется обеспечить по крайней мере три плохо совместимых производственных показателя — сжатые сроки, высокое качество и приемлемую стоимость при штучных



тиражах. Известны три реальных технологических подхода к прототипному производству ПП: изготавливать их в рамках серийного производства, использовать лабораторное (низкопроизводительное) оборудование или создавать специализированный участок на основе серийных установок. Наша компания в той или иной степени на собственном опыте опробовала их все. Мы пытались производить штучные партии ПП в рамках нашего массового производства, обращались к партнерам, использующим как лабораторное, так и серийное оборудование. Но результаты подобной деятельности нас не удовлетворяли. А компания "Резонит" очень трепетно относится к качеству своей продукции и соблюдению обязательств перед клиентами. К сожалению, опробованные нами пути не позволяли добиться совокупности ряда обязательных показателей, таких как качество, высокая сложность, гарантированные сроки изготовления и стабильность производства. Последнее означает, что мы должны быть готовы выполнить заказы клиентов на объявленных условиях всегда — независимо от наступления конца месяца, череды праздников или неизбежных проблем с оборудованием. При прототипном производстве все это особенно важно, не забывайте — в ходе разработки время стоит весьма дорого, и задержки в изготовлении ПП даже на один день очень чувствительны.

**А чем вас не устроило собственное серийное производство, почему пришлось создавать новый участок?**

Любое серийное производство, наше в том числе, ориентировано на крупные и средние партии ПП при небольшом относительном числе их типономиналов. Оно подразумевает жесткий заранее определенный график, плановость. Срочное же изготовление прототипов ПП требует обратного — заказы невозможно заранее предвидеть, каждая ПП в той или иной степени требует индивидуального подхода и определенной подготовки производства. В условиях массового производства отследить отдельную заготовку крайне сложно — она может просто затеряться в массе других. Фактически к каждой такой заготовке приставляют специального человека, который сопровождает ее по всем технологическим операциям. Очевидно, что подобным способом можно выполнить не слишком много заказов. Более того, опытные печатные платы серьезно ме-



шают серийному производству – в размеренный отлаженный процесс вносятся сумятица, сталкиваются плановые и незапланированные операции, появляются лишние люди и т.д. Страдают все.

Многие серийные изготовители печатных плат, по разным причинам, не отказываются и от выполнения срочных заказов. Так можно работать – но лишь пока объем срочных заказов достаточно мал.

### **Но ведь существует технологическое оборудование, специально предназначенное для производства макетов ПП?**

Действительно, ряд фирм – например, Bungard, Mega Electronics, Walter Lemmon, LPKF – производят малогабаритное оборудование для штучного производства ПП. Это – лабораторное (настольное) оборудование, позволяющее построить полный технологический цикл изготовления печатных плат на основе фрезерования (так называемый "сухой" процесс – на нем специализируется немецкая компания LPKF) или электрохимических методов.

Однако следует помнить, что с помощью такого оборудования практически невозможно достичь высокого качества и сложности ПП. Прежде всего, малые размеры химических ванн (травильных, гальванических) приводят к очень быстрой деградации растворов (к нестабильности их параметров), что влечет нестабильность скорости травления и серьезно снижает качество печатных плат – появляются пере- и недотравленные фрагменты, разрывы металлизации отверстий, паразитные соединения и т.д. Качественная коррекция растворов в оборудовании данного класса практически невозможна. Частая же смена растворов (с интервалом в несколько часов) абсолютно нереальна – себестоимость ПП возрастет во много раз.

С эффектом "малых ванн" можно бороться, увеличивая минимальные топологические размеры элементов печатных плат, т.е. делая ПП нечувствительной к большому разбросу топологических параметров. Это ограничивает реальную разрешающую способность производства на базе лабораторного оборудования третьим классом сложности ПП по ГОСТ 23751-86.

Стоит отметить, что лабораторное оборудование перечисленных фирм само по себе не плохое – оно просто не предназначено для сколь-нибудь интенсивной эксплуатации. Если на участке опытного производства изготавливают одну-две платы в месяц, каждый раз со свежими растворами, с очень малым износом оборудования, проблем не возникает. Несколько известных нам предприятий именно так и поступают и вполне довольны качеством. Экономическими вопросами при этом никто не задается или они не играют определяющей роли. Но многие ли отечественные предприятия настолько богаты, чтобы позволить себе подобную роскошь? Ведь лабораторное оборудование весьма недешево.

Во всех же остальных случаях изготавливать печатные платы с толщиной проводников/зазоров 0,15 мм и менее на лабораторном оборудовании практически нереально – из-за нестабильности как состава растворов, так и параметров самого оборудования, не рассчитанного на интенсивную эксплуатацию.

### **Получается, что единственный путь для сколь-нибудь серьезного прототипного производства ПП – организация специального производства на основе серийного оборудования?**

Да, но и этот путь сам по себе не гарантирует высокого качества печатных плат. Проблема в том, что при создании прототипного производства естественно стремление максимально сократить время выполнения заказа – вплоть до нескольких часов. Самый оче-

видный способ достичь этого – использовать так называемый тентинг-процесс (от tent – навес). Его уместно сравнить с наиболее распространенным для сложных ПП позитивным процессом с металлорезистом (см. врезку).

Тентинг-метод позволяет существенно сократить число технологических операций – он избавляет от нанесения и удаления металлорезиста, предусматривает одну (вместо двух в позитивном процессе) операцию гальванического осаждения меди, соответственно снижается число операций подготовки поверхности и межпроцессного контроля. При этом сокращается необходимый набор оборудования. Процесс можно вести в одной гальванической установке. Все это упрощает и ускоряет процесс изготовления ПП. Именно поэтому ряд специалистов считают тентинг-метод наиболее прогрессивным при получении простых печатных плат.

Но у тентинг-процесса есть серьезный недостаток. Как известно, травление меди происходит не только в глубину (от поверхности к подложке), но и вбок – под слой фоторезиста. В результате проводники приобретают в плане форму трапеции – в грубом приближении, реально профиль проводников более сложен. Большим основанием трапеция обращена к подложке. Когда ширина проводника в несколько раз больше его толщины, это не слишком существенно. Однако в тентинг-методе общая толщина проводников превышает 48 мкм, и о воспроизводимой ширине проводников менее 200 мкм, равно как их электрофизических параметров, говорить не приходится.

В позитивном процессе влияние эффекта бокового подтравления существенно ниже, поскольку стравливаемый слой меди по крайней мере вдвое тоньше (толщина фольги плюс 5-мкм слой химически осаждаемой меди). Для более точного формирования рисунка зачастую используют заготовки с толщиной меди 9 мкм. Иными словами, в позитивном методе процесс формирования проводящего слоя разбит на два этапа, причем фактически процесс – полуаддитивный. Это приводит к усложнению производства, процесс длится дольше, но качество печатных плат существенно возрастает.

В тентинг-процессе, при всех его достоинствах, фактор бокового подтравливания принципиально неустраним и определяет физические ограничения данной технологии – такова плата за простоту и скорость. До определенного момента прототипные печатные платы, производимые тентинг-методом, устраивали многих заказчиков. Сегодня ситуация изменилась. Современная элементная база развивается в сторону увеличения плотности выводов (уменьшается шаг между выводами, все активнее используются корпуса типа BGA), что неизбежно влечет рост плотности элементов топологии ПП. Печатные платы 3 класса сложности даже в качестве макетных уже не соответствуют требованиям подавляющего большинства заказчиков.

**Есть ли выход из столь противоречивой ситуации?**

Надеюсь, такой выход мы нашли, спроектировав и организовав новый технологический участок прототипного производства ПП. Он базируется на позитивном технологическом процессе. Его проектная мощность достигает 50 тыс. дм<sup>2</sup> в месяц, до 200 типономеров ПП в день. Иными словами, производительности нашего производства достаточно, чтобы удовлетворить потребности всех отечественных разработчиков РЭА.

**Но ведь компания расположена в Москве. Как вы планируете обслуживать заказчиков в других городах, учитывая требование срочности изготовления и доставки ПП?**

"Резонит" обладает собственной развитой сетью доставки продукции, используемой и при серийном изготовлении ПП. Так, готовые ПП в Москве и Санкт-Петербурге бесплатно доставляются до офиса заказчика, в ряде крупных промышленных центров России –

во Владимире, Екатеринбурге, Ижевске, Кирове, Краснодаре, Нижнем Новгороде, Саратове, Смоленске, Уфе – до представительств нашей компании. В остальных случаях можно воспользоваться службой экспресс-доставки, стоимость услуг которой сопоставима со стоимостью срочного заказа на прототипное производство ПП.

**Но ведь позитивный процесс существенно дороже тентинг-процесса. Как вы добываетесь конкурентоспособной цены ПП?**

Разумеется, за высокое качество приходится платить, но в данном случае – не деньгами, а невозможностью изготовить печатную плату за несколько часов (что позволяет только тентинг-метод). Участок "Резонита" рассчитан на цикл производства в четыре-пять рабочих дней с момента получения заказа.

При организации нового производства во главу угла ставилось – и достигнуто – высокое качество и сложность продукции, беспере-

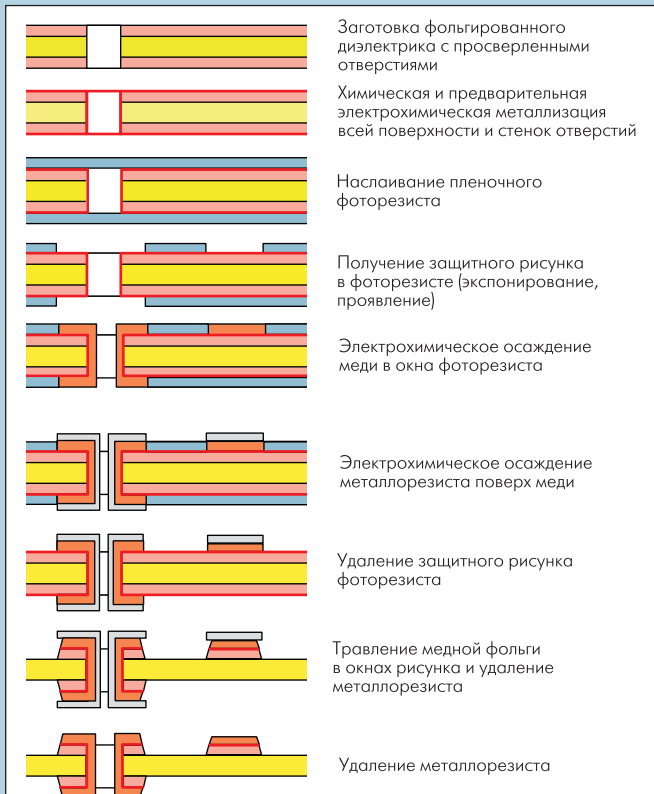
**ПОЗИТИВНЫЙ ПРОЦЕСС С МЕТАЛЛОРЕЗИСТОМ И ТЕНТИНГ-МЕТОД**

Чтобы понять суть тентинг-метода, сравним его со стандартным позитивным процессом с металлорезистом – наиболее распространенным при серийном производстве печатных плат.

В позитивном процессе используют фольгированный диэлектрик (стеклотекстолит). Толщина фольги, как правило, – 18 мкм. В заготовке высверливают отверстия, после чего на всю плату химическим (или электрохимическим) способом осаждают тонкий (5 мкм) слой меди (рис. 1). Затем заготов-

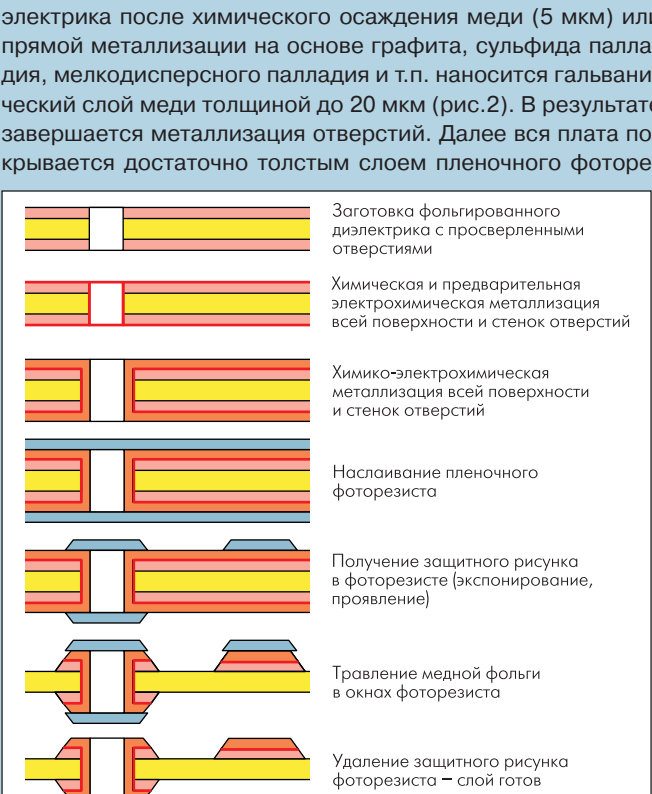
носят металлорезист – никель, сплав олово/свинец, серебро и т.д. Затем фоторезист удаляют и травят не защищенный металлорезистом исходный слой меди (5 + 18 мкм). Наконец, стравливают металлорезист и наносят финишное покрытие – например, олово/свинец. После лужения (например, оплавлением) плата готова. Разумеется, мы перечислили лишь самые основные технологические операции.

Тентинг-процесс принципиально отличается тем, что изначально на рассверленную заготовку фольгированного диэлектрика после химического осаждения меди (5 мкм) или прямой металлизации на основе графита, сульфида палладия, мелкодисперсного палладия и т.п. наносится гальванический слой меди толщиной до 20 мкм (рис. 2). В результате завершается металлизация отверстий. Далее вся плата покрывается достаточно толстым слоем пленочного фоторезиста



**Рис. 1. Позитивный процесс с металлорезистом**

ку покрывают фоторезистом, который экспонируют и проявляют – при этом фоторезист остается на тех участках, которые впоследствии должны быть удалены. Далее на незащищенные фоторезистом участки платы, в том числе на стенки отверстий, гальваническим методом наносят слой меди толщиной 20–25 мкм. Поверх этого слоя гальванически на-



**Рис. 2. Тентинг-метод**

зиста (порядка 50 мкм) так, чтобы он прочно закрыл отверстия (отсюда и название "тентинг-процесс" – навес над отверстиями). Фоторезист экспонируют и проявляют, на незащищенных участках медь вытравливается. Далее следуют операции удаления фоторезиста, нанесения финишного покрытия, лужения.





бойность работы и гарантия минимальных сроков выполнения заказов. Благодаря уникальному сочетанию этих показателей наши немалые производственные мощности вполне загружены. А большие суммарные объемы производства, даже при разнообразии типономиналов ПП, позволяют удерживать цены на общепринятом уровне. Более того, с 1 октября по 31 декабря 2004 года всем нашим клиентам предоставляется скидка 20% на прототипное производство ПП.

### **Вы строили совершенно новый производственный участок?**

Нет. Компания "Резонит" на долгосрочной основе арендовала цех производства печатных плат зеленоградского завода "Квант" и провела его полную модернизацию. Цех полностью переоснастили, провели полное инженерное переустройство помещений. Установили автономные источники тепла, сжатого воздуха, обычной и деионизированной воды. Фактически из прежних коммуникаций остались задействованными только кислотно-щелочные сливы. В результате никакие сбои на заводе "Квант" не могут повлиять на работу участка производства печатных плат.

Все устаревшее технологическое оборудование в цехе было заменено новым, разработанным и изготовленным в Германии специально под данное производство. По производительности оно предназначено именно для прототипного производства печатных плат, но ориентировано на позитивный процесс и обеспечивает технологическое разрешение и качество, не уступающее серийной продукции. В частности, все установки оснащены системой автоматической коррекции растворов, что гарантирует стабильность технологического процесса. В работе используются материалы только ведущих зарубежных производителей – например, химические растворы компании J-Kem (Швеция), стеклотекстолит фирмы KingBoard (Китай), сверла компании Kemmer (Германия), паяльные маски фирмы Tamura (Япония), фоторезист компании Hitachi (Япония) и т.д. Были заменены все установки фотовывода, гальванические линии, зачистные машины. Часть уже установленного в цехе оборудования удалось использовать, проведя ремонтно-наладочные работы.

**Оборудование периодически останавливается – из-за поломок, от которых не застрахован никто, или для профилактического обслуживания. Это может оказаться несущественным при серийном производстве со сроком выполнения заказа в две-три недели, но в опытном производстве важен каждый день, и остановка оборудования влечет ощутимую задержку заказа. Однако "Резонит" гарантирует клиентам жесткое соблюдение сроков. Как вам это удается?**

Во-первых, как я уже говорил, наш цех автономен и не зависит от проблем на самом заводе "Квант". Кроме того, все наши технологические линии дублированы. Поэтому выход из строя или плановое отключение любой единицы оборудования не приведет к остановке всего производства. Устаревшее технологическое оборудование цеха мы заменили – но при этом вместо одной старой установки монтировали по крайней мере две новых. Все остальное оборудование дублировано новым. В частности, были установлены дополнительные линии травления, снятия фото- и металлорезиста, экспонирования и т.д.

**Высокого качества вам удалось добиться благодаря применению нового специального оборудования?**

Не только. Участок оснащен специальной лабораторией, позволяющей контролировать как параметры технологических процессов, так и качество готовых печатных плат. Не менее важно, что к работе привлечены высококвалифицированные специалисты, в частности сотрудники бывшего цеха печатных плат завода "Квант" и других предприятий Зеленограда с большим опытом. Не стоит объяснять, насколько опыт и квалификация персонала сказываются на качестве продукции.

### **Строительство прототипного производства завершено?**

Изначально предусматривалось поэтапное освоение всего спектра сложности печатных плат. К 1 октября мы завершили пусконаладочные работы технологического оборудования для производства одно- и двухсторонних печатных плат. Благодаря кредиту СМД-Банка на этом этапе компания смогла инвестировать в проект примерно 500 тыс. долл. Вскоре ожидается завершение второго этапа, цель которого – создание прототипного производства многослойных печатных плат.

### **В заключение, можно ли кратко сформулировать основные особенности созданной компанией "Резонит" прототипного производства ПП?**

Наше производство отличают:

- высокое качество и сложность производимых печатных плат, что обеспечивается позитивным технологическим процессом, специальным оборудованием, лабораторией выходного и межоперационного контроля, а также высокопрофессиональным техническим персоналом;
- высокая производственная мощность – общая производительность до 50 тыс. дм<sup>2</sup> в месяц, до 200 типономиналов печатных плат в день. Эти показатели достигнуты благодаря специализации производства на прототипном изготовлении печатных плат;
- высокая надежность производства, гарантируемая автономностью инженерных коммуникаций цеха и дублированием всех технологических линий.

"Резонит" всегда с особым вниманием относился к выполнению своих обязательств перед клиентами – по качеству продукции, срокам исполнения и поставкам заказов. Поэтому новое прототипное производство лишь продолжает генеральную линию компании в области изготовления печатных плат. Надеюсь, наши клиенты существенно выиграют от расширения ее технологических возможностей.

С А.И.Кучерявым беседовал И.В.Шахнович