

# Как не попасть в ловушку при выборе материалов для производства печатных плат

**В статье рассматриваются нюансы выбора материалов для производства ПП с учетом таких факторов, влияющих на электрические характеристики, как структура и рельеф медных слоев.**

**Рой Акбер (Roy Akber)**

**Перевод: Ольга Очур**

В последнее время все чаще возникает ситуация, когда разработчики печатных плат (ПП) выбирают материалы только на основе электрического гистерезиса и электромагнитных свойств. Но это может привести к тому, что изготовители ПП добровольно сузят для себя выбор, и если в дальнейшем по каким-либо обстоятельствам материал не будет использоваться на производстве, подобрать ему адекватную замену окажется очень сложно. Хотя в платах для применений в изделиях, где появление помех сигнала вследствие электромагнитных явлений критично, часто востребованы только материалы со специфическими электрическими характеристиками. Чем обусловлен такой подход? Тому есть две причины.

Во-первых, из-за требований к характеристикам продукта разработчики, выбирая материалы, часто основываются на спецификации, полученной от производителя, и опираются только на электрические характеристики материала, искренне веря, что это лучший и/или единственный доступный вариант.

Во-вторых, разработчики обычно полагают, что выбор базового материала по его электрическим характеристикам гарантирует стабильность работы, снизит вероятность появления колебаний и потерь и в результате при эксплуатации изделия на его основе возникнет меньше проблем.

Конечно, существуют продукты, для которых спектр материалов очень ограничен, и они, как правило, проходят жесткий контроль при отборе. Но применений подобного рода немного, и в большинстве случаев настолько строгий контроль электрических характеристик не нужен, а следует учитывать другие факторы, влияющие на работоспособность и надежность изделий. Вряд ли конечному пользователю выгодно, чтобы производитель был ограничен в выборе материалов, а значит, и их поставщиков. Неужели есть преимущества у столь жесткого контроля и подобных ограничений?

Для ответа на эти вопросы необходимо рассмотреть недостатки и риски, которые сопровождают такие ограничения. Обычно при выборе материалов по электрическим характеристикам за основу берут заявленные в спецификации теоретические показатели. Если учитывать только электрические параметры диэлектриков и не принимать во внимание другие показатели, критичные для процесса изготовления плат,

то такой, достаточно однобокий подход к разработке и производству изделий может привести к увеличению времени создания продукта, ограничению в выборе ресурсов и в итоге к повышению конечной цены.

Изначально при выпуске многих стандартных продуктов материалы отбирали производители ПП, но теперь этот процесс все больше переходит в сферу ответственности разработчиков. Поскольку электрические характеристики и надежность являются самыми главными показателями, проектировщики ПП стали активнее участвовать в данном процессе. Рассмотрим, на чем, собственно, основывается их выбор.

Некоторые материалы заняли лидирующие позиции на рынке только благодаря рабочим характеристикам используемого диэлектрика, расположенного между медными слоями. Керамика, PTFE, стеклоткань E, специальные смолы, сложные наполнители и другие диэлектрики имеют различные свойства и по-разному влияют на конечные характеристики продукта.

Иногда эти материалы применяют только из-за их диэлектрических свойств — например, для высокоскоростной связи или изделий, в которых необходимо максимально снизить потери сигнала (сотовая связь, высокочастотные применения), употребляются строго определенные материалы с указанием фирмы-изготовителя, модели и серийного номера. И несмотря на все преимущества, недостатки таких материалов нередко обнаруживаются в процессе производства, когда возникают трудности их использования (в частности, требуется специальное оборудование), или в дальнейшем, при низком уровне выхода годных, отсутствии стабильности геометрии, увеличении сроков выпуска и т. д.

Обычно внимание уделяется таким характеристикам, как коэффициент затухания  $D_f$  или тангенс угла диэлектрических потерь, величина диэлектрической постоянной  $D_r$ , относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрика, находящегося между медными слоями.

Выбранный по этим характеристикам диэлектрический материал может соответствовать заданным условиям, но не гарантировать нужную производительность и надежность ПП. И случается так, что некоторые из стандартных материалов будут подходить гораздо лучше, при этом их стоимость ниже, а значит, и меньше издержки — они имеют лучшую технологичность и удовлетворяют характеристикам конечного изделия.

Мы рассмотрим вопрос, который почти не обсуждался разработчиками и производителями ПП и остался не изученным до конца. Речь идет о том, что главной целью остается не прекрасная работа печатной платы, а ее надежное функционирование.

Хотя фторопласт PTFE и другие материалы на его основе обладают хорошими диэлектрическими показателями, другие факторы, относящиеся к химическому и молекулярному составу, могут также значительно влиять на работу ПП. Они способны как улучшить рабочие характеристики, так и привести к снижению продуктивности и надежности платы. Один из подобных факторов — структура и рельеф меди, расположенной с одной или двух сторон диэлектрика.

Обычно нижний слой базового материала — это медная поверхность, соприкасающаяся с ядром из смолы, находящейся на С-стадии (конечной стадии отверждения), а верхний слой — медная поверхность рядом со слоем из материала, находящегося на В-стадии (промежуточной стадии полимеризации), и/или паяльной маской (рис. 1).

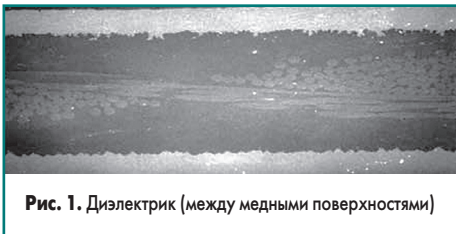


Рис. 1. Диэлектрик (между медными поверхностями)

Форма и размер дендритов на меди (по форме напоминают зубы — рис. 1) играют значительную роль, влияя на электрические характеристики материала и в конечном счете на характеристики и надежность ПП. На величину  $D_f$  показанная структура и рельеф медной поверхности влияет на 35% и больше.

При изучении структуры и рельефа медных поверхностей в первую очередь следует проверить фольгу на наличие зубцов и прочих шероховатостей, поскольку они имеют тенденцию проникать в ядро диэлектрика (материал в С-стадии). Разные типы медной фольги отличаются разной формой дендритов. В частности, стандартная электролитическая медная фольга является фольгой высокого профиля и, соответственно, имеет более широкие и длинные зубцы по сравнению с другими типами фольги, перечисленными ниже:

- RTF — фольга с обработанной обратной стороной (и DSTF — фольга с поверхностью, обработанной со стороны барабана);
- LP — с низким профилем;
- VLP — с очень низким профилем;
- E или H-VPL — фольга с ультранизким профилем.

### Какое различие между ними?

У фольги с высоким профилем зубцы могут достигать длины до 0,5 мил (0,0005"), тогда как низкопрофильная фольга имеет зубцы на порядок меньшего размера. А значит, при использовании медной фольги низкого профиля площадь контакта с поверхностью диэлектри-

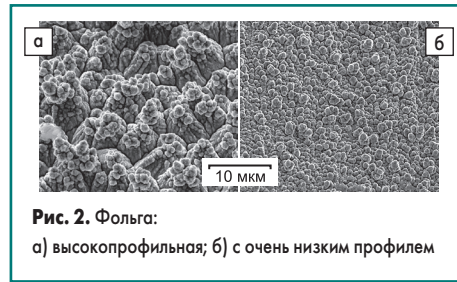


Рис. 2. Фольга: а) высокопрофильная; б) с очень низким профилем

ка увеличивается. Это улучшает целостность сигнала и уменьшает его потери, а также позволяет провести более однородное травление медной разводки. Большие по размеру дендриты высокопрофильной фольги могут стать причиной изменения толщины медного слоя, а также привести к неоднородному травлению, когда они полностью погружаются в диэлектрик, — возникает так называемый эффект «звездного неба» (рис. 2).

Большинство высокопроизводительных ламинатов уже поставляется вместе с низкопрофильной медной фольгой (которая и будет соприкасаться с ядром), хотя для стандартных ламинатов предпочтительна фольга с еще более низким профилем. При использовании в любом базовом материале или с любым диэлектриком фольги более низкого профиля можно снизить значение коэффициента затухания  $D_f$  и сократить потери, уменьшить величину отклонения полного сопротивления и величину пассивной интермодуляции (PIM).

На рис. 3 верхняя часть меди представляет собой поверхность, регулируя свойства которой, удастся улучшить результаты прессования и надежность ПП. Поскольку медная разводка внутреннего слоя платы готовится для ламинирования или внешний слой меди протравливается перед нанесением паяльной маски, можно использовать несколько методов для подготовки поверхности, то есть сделать ее более шероховатой. Подобные методы предусматривают механическую или химическую обработку, а также их комбинацию. Например, перед ламинированием выполняют микропротравы — некоторые из них склонны к сильному распространению, некоторые нет. Кроме того, наблюдается замещение окиси и другие явления. Все они появляются с различной скоростью и частотой и зависят от структуры поверхности, но на них можно влиять, корректно подготовив поверхность.

В прошлом основной проблемой было обеспечение достаточной адгезии при нанесении паяльной маски либо при прессовании,

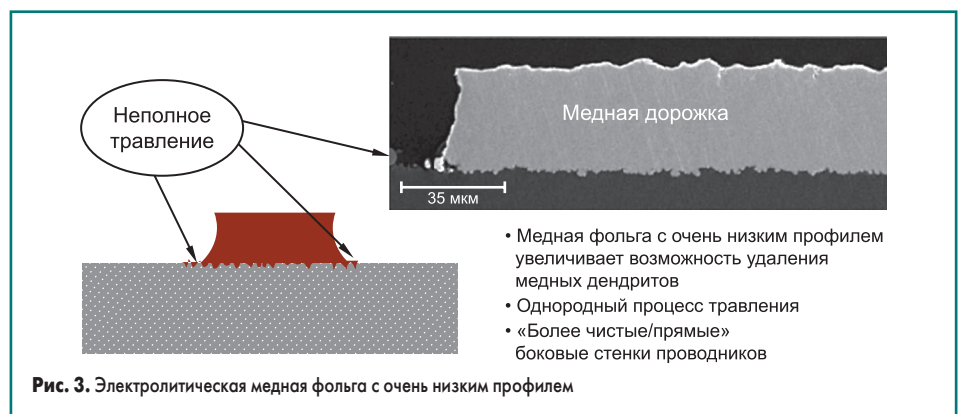


Рис. 3. Электролитическая медная фольга с очень низким профилем

однако сегодня, с развитием технологий производства, необходимо все-таки глубже анализировать эти процессы, чтобы понять, как они влияют на электрические характеристики ПП.

Структура верхней стороны медной фольги, соприкасающейся с поверхностью в В-стадии (внутри многослойной сборки), также приносит определенный вклад, как и структура меди на нижнем слое в С-стадии. Поскольку сама структура изменяется в ходе процесса, то и величины  $D_f$  и других показателей будут меняться. Верхняя сторона меди, на которую будет наноситься паяльная маска (или финишное покрытие), также влияет на электрические характеристики ПП.

Структура и рельеф медной поверхности — один из значимых, но не единственный влияющий на электрические характеристики ПП фактор. Другие факторы — это финишные покрытия, тип используемой паяльной маски, технология их нанесения и т. д. Если подробно изучить их влияние, то можно, даже используя не специальные, а стандартные базовые материалы, улучшить рабочие характеристики и надежность печатных плат.

### Заключение

Зачастую при выборе материалов для производства ПП оценивают только характеристики диэлектрика базового материала, но не рассматривают множество других факторов, в частности структуру и рельеф медных слоев, также оказывающих значительное влияние на электрические характеристики ПП. Подобрать таким способом материал или тип материала, можно решить одну проблему, но столкнуться с множеством других. Изучение и понимание того, как структура и рельеф меди влияют на характеристики и надежность ПП, позволит улучшить эти показатели. Во многих случаях для изготовления конкретного продукта достаточно лишь определить правильную структуру меди и рельеф ее поверхности, чтобы вместо сложных дорогостоящих материалов применить более дешевые стандартные варианты.

### Литература

1. Hinaga S., Koledintseva M. Y., Annulla P. K. R., Drewniak J. L. Effect of Conductor Surface Roughness upon Measured Loss and Extracted Values of PCB Laminate Material Dissipation Factor. IPC Apex Expo Proceedings, March 2009.