

УДК 621.3.049.75

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОФИЛЯ ПРОВОДНИКОВ ПРИ ТРАВЛЕНИИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ ДЛЯ СВЧ-ТЕХНИКИ

Алексей Александрович Бушмаков

*Студент 6 курса,*

*кафедра «Электронные технологии в машиностроении»*

*Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Ю.С. Боброва,*

*ассистент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»*

### **Введение**

В настоящее время востребованными становятся печатные платы, рассчитанные на работу в диапазоне частот 1...20 ГГц (и более). Изготовление такого типа плат требует максимально точного получения геометрических параметров профиля проводниковых структур, так как от этих параметров напрямую зависят выходные характеристики СВЧ устройств. Одним из основных параметров, характеризующих площадь сечения проводника, является фактор травления. В статье представлены способы контроля и управления величиной фактора травления при изготовлении печатных плат для СВЧ-техники.

### **Типы печатных плат**

Печатные платы делят на несколько типов, с разными рабочими частотами:

Печатные платы – платы, работающие в диапазоне от 3 до 3000 кГц.

ВЧ платы – платы, работающие в высокочастотном диапазоне от 3 до 30 МГц с декаметровыми волнами

ОВЧ платы – платы, работающие на очень высоких частотах от 30 до 300 МГц с метровыми волнами

УВЧ платы – платы, работающие с ультравысокими частотами от 300 до 3000 МГц с дециметровыми волнами

СВЧ платы – платы, работающие со сверхвысококачественными сигналами от 3 до 30 ГГц с сантиметровыми волнами

При повышении частоты подаваемых сигналов на проводниках печатных плат толщина скин-слоя, по которому проходит сигнал, значительно уменьшается, и это приводит к тому, что изменение профиля проводника может значительно увеличить или уменьшить площадь поперечного сечения скин-слоя (см. рис. 1.). Так например, для меди толщина скин-слоя при 3 ГГц – 1206 нм, а при 30 ГГц – 381 нм. Таким образом, такой тонкий проводящий слой накладывает определенные требования к качеству проводников вплоть до понижения шероховатости. Помимо изменения размеров скин-слоя профиль проводников оказывает влияние на их сопротивление, что также влияет на характер передаваемых электромагнитных волн.

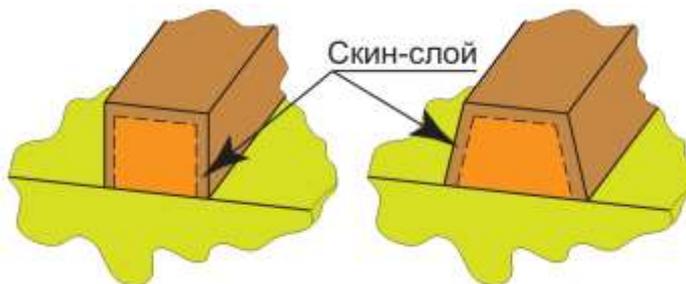


Рис. 1. Изображение скин-слоя

Формирование проводников заданных параметров является очень серьезной проблемой. К этому нужно еще прибавить то, что в современном производстве с каждым днем растут требования к размерам проводников, их стремятся как можно больше уменьшить. Сейчас уже стало реальностью изготовление печатных плат с шириной проводников до 70 мкм. Основным лимитирующим этапом при формировании таких проводников является качественное травление.

Под качественным травлением понимается как равномерность травления, так и фактор травления. Остановимся более подробно на факторе травления

Под фактором травления понимают коэффициент, отражающий отношение толщины медного слоя к изменению ширины проводника после травления или тангенс угла наклона боковой поверхности проводника к плоскости диэлектрика (см. рис. 2.). Чем больше фактор травления, тем меньшего размера проводники можно изготовить. Многие вместо термина фактор травления используют - термин боковой подтрав. Боковой подтрав – расстояние на которое изменилась ширина проводника с одной стороны (см. рис. 2.)

$$\Phi = \operatorname{tg} \alpha = t/x$$

где  $\Phi$  – фактор травления,  $x$  – боковой подтрав,  $t$  – толщина медного слоя;

Подтравливание происходит неизбежно во время процесса травления и зависит как от раствора и рабочих режимов, так и от самой топологии печатной платы. Равномерность же травления, или равномерность величины фактора подтравливания, зависит главным образом от параметров оборудования.

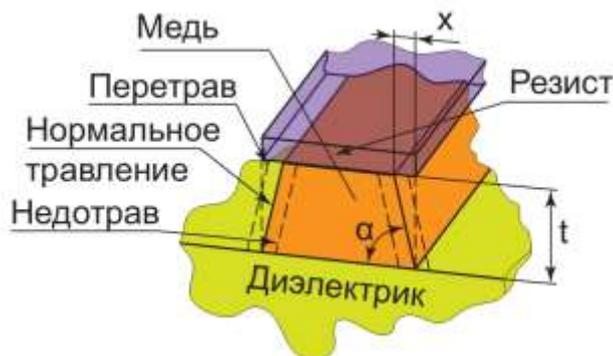


Рис. 2. Фактор травления

На графике (см. рис. 3.) приведены результаты исследований японских ученых по расчетной взаимосвязи между шириной проводника/зазора и толщиной фольги на стеклотекстолите [1]. Сплошная линия на графике показывает максимально возможную толщину меди как функцию ширины проводника/зазора. Например, для проводников/зазоров 100 мкм был изготовлен фотосаблон с зазором 65 мкм и проводником 135 мкм. После травления ширина меди на верхушке проводника составила 85 мкм при толщине медной фольги 33 мкм. По мере сужения зазоров между проводниками коэффициент отношения

глубины канавки к ее ширине растет. Так как ширина зазоров на фотошаблоне снижается с 65 до 10 мкм, а толщина резиста остается постоянной (25 мкм), фактор травления катастрофически ухудшается с 2,7 до 1,6.

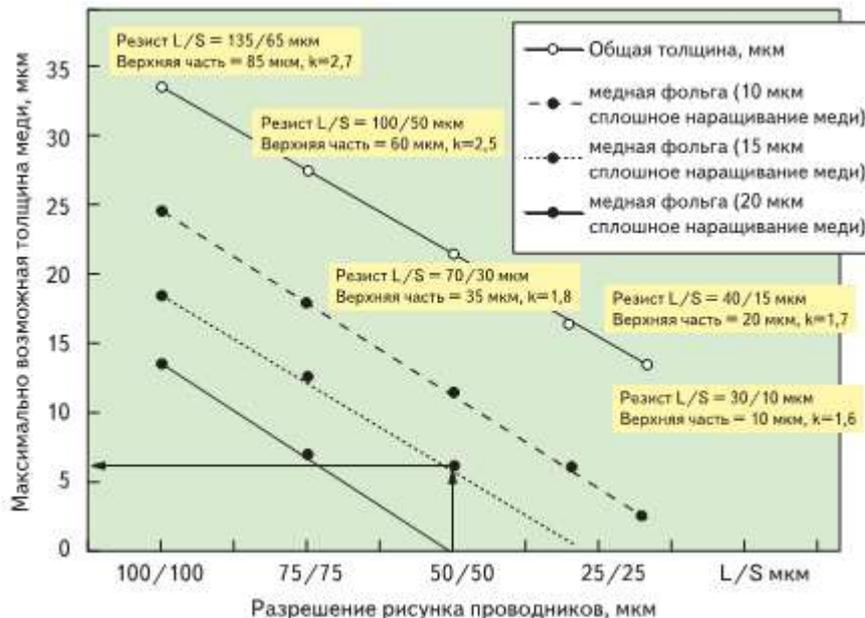


Рис. 3. Уменьшение фактора травления (k) по мере уменьшения ширины проводника/зазора [2]

Причиной существенного ухудшения фактора травления при ширине каналов травления менее 75 мкм являются потери турбулентного потока, то есть трудности проникновения свежего раствора травления, поскольку на входе в пространство травимой канавки образуется пограничный диффузионный слой [1].

Облегчить проникновение травителя можно путем уменьшения соотношения глубины канавки к ее ширине. Поэтому для способствования анизотропному травлению необходимо уменьшать как толщину меди, так и толщину резиста.

### Методы контроля бокового подтравы

Для отработки режимов травления, и для контроля бокового подтравы существует не так много методов его контроля.

Для быстрой оценки фактора травления обычно используют осмотр заготовки под микроскопом, осматривая заготовку сверху можно увидеть как ширину нижнего основания проводника, так и ширину верхнего основания проводника (см. рис. 4.). Этот метод позволяет быстро оценить фактор травления. Но это действует только в том случае, если проводник имеет форму как на рис. 1. Если же проводник будет иметь другой профиль, как, например, на рис. 5., то точно измерить фактор травления станет невозможно.



Рис. 4. Изображение проводника под микроскопом



Рис. 5. Один из типов профиля проводников

Для увеличения точности измерений фактора травления используется электрический метод измерения сопротивления проводника. Сопротивление проводника рассчитывается теоретически, и на технологическом поле заготовки формируется проводник с заданными параметрами. По измеренному сопротивлению проводника и его ширине можно судить о том насколько уменьшился проводник.

Для расчета используется следующая формула

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S}; \Phi = \frac{h^2 * R}{\rho l - bhR}$$

где  $R$  – сопротивление проводника, Ом;  $l$  – длина проводника, м;  $S$  – площадь поперечного сечения проводника, мм<sup>2</sup>;  $h$  – толщина медного слоя, мм,  $\rho$  – удельное сопротивление проводника (для меди  $\rho = 0,01724 \dots 0,018 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ );  $b$  – ширина нижнего основания проводника, мм.

Используя данный метод можно определить среднее значение фактора травления по длине проводника. Но данный метод не дает точной картины профиля проводника. Это связано с тем, что медный слой может состоять как из одной фольги, так и из фольги с гальванически нанесенной медью, это приводит к невозможности предугадать удельное сопротивление слоя, так как удельное сопротивление гальванической меди различно в зависимости от режимов осаждения. К этому нужно еще прибавить, что сопротивление фольги в различных партиях также может отличаться. Следовательно, пользуясь данным методом, не стоит забывать о значительной погрешности в определении фактора травления.

Наиболее точным методом определения профиля проводника является метод разрушающего контроля, это изготовление микрошлифов.

Суть метода заключается в том, что из заготовки печатной платы вырезается тест-купон, заливается смолой, шлифуется и полируется. Шлифование производят в плоскости перпендикулярной направлению проводника. Этот метод позволяет увидеть полностью профиль проводника и измерить его параметры сразу в нескольких точках.

### Профили проводников

Проведенные исследования показали, как может выглядеть профиль проводников на заготовках печатных плат с различной толщиной медного слоя 18, 35, 70, 100 мкм, причем слои с толщиной 70 мкм и 100 мкм гальванически доращивались из фольги толщиной 18 мкм (см рисунок). Проводники были получены на конвейерной линии щелочного травления с вакуумными отсосами.

Во время испытаний все опыты проводились с использованием одного раствора при температуре 46 °С с неизменным давлением раствора в форсунках.

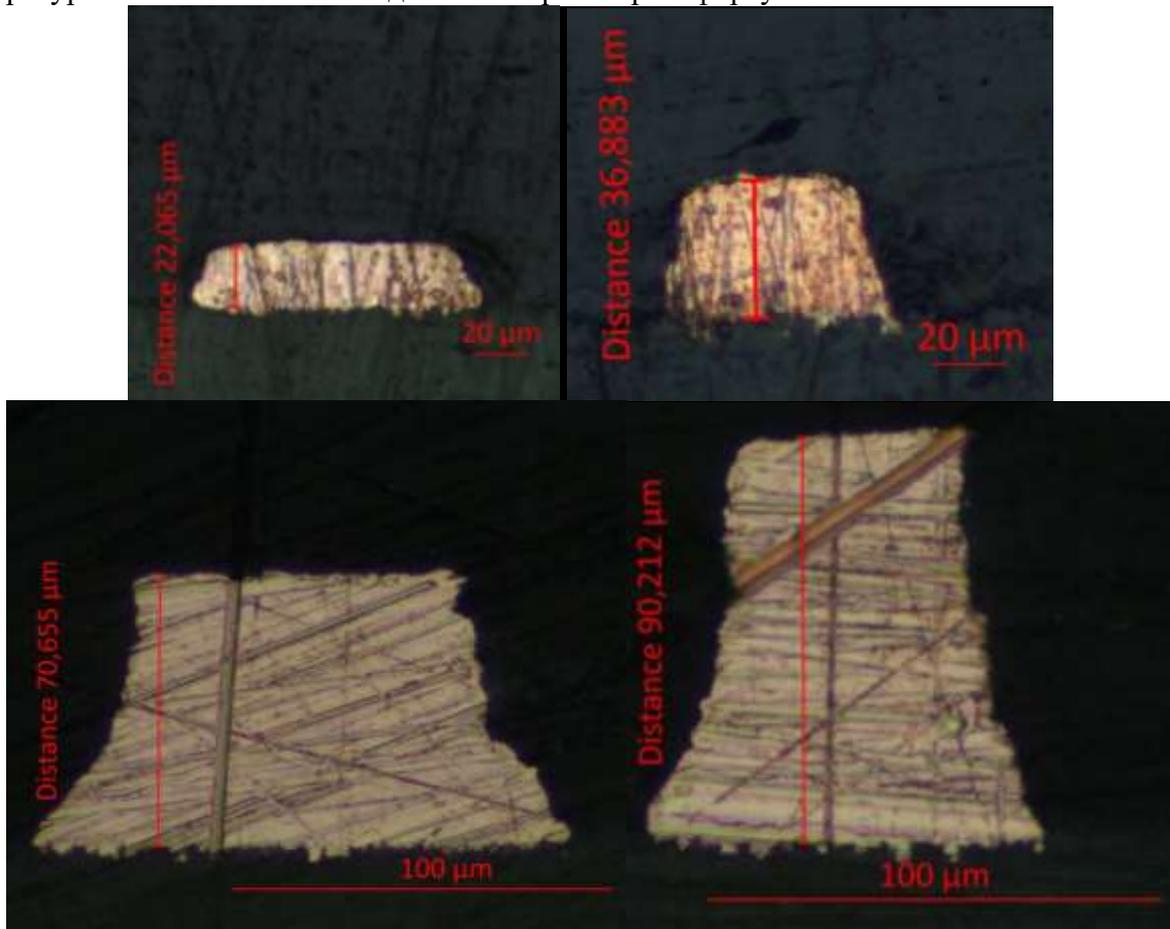


Рис. 6. Изображение профиля проводников

На основе проведенных исследований можно сделать вывод о том, что действительно форма профиля проводника не является трапецией и не всегда можно точно измерить фактор травления без изготовления микрошлифов.

В некоторых случаях профиль проводников не являлся симметричным (см. рис. 7.), с одной стороны проводник имел боковую поверхность максимально приближенную к прямой, с другой стороны боковая поверхность имела явно вогнутый характер. Такой профиль встречается в основном на проводниках, расположенных перпендикулярно направлению подачи конвейерной линии и объясняется тем, что раствор травления по разному скапливается с двух сторон проводника. За счет этого и получается различный профиль.



Рис. 7. Изображение проводника с несимметричным профилем

Также в ходе эксперимента встретились проводники с профилем как на рис. 8. Здесь сверху до середины слоя фактор травления близок к 4-5, после чего резко уменьшается до 1.1. Это связано с тем, что в данном случае коэффициент отношения глубины канавки к ее ширине становится выше 1. Чтобы избежать такого профиля проводников необходимо увеличивать давление раствора в форсунках. Это приведет к вымыванию перенасыщенных остатков раствора из зазоров и к уменьшению бокового подтравки. Подача раствора под давлением в зазор между проводниками приведет к тому, что быстрее будет травиться медь непосредственно на пути струи, то есть травление будет направлено вниз, а не в стороны.

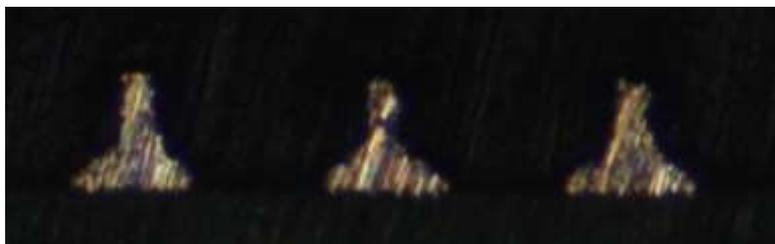


Рис. 8. Изображение проводника с вытянутым профилем

### Заключение

Для оценки методов травления проводящих слоев необходимо помнить, что на правильную форму проводника может влиять не только операция травления, но и многие другие факторы. Такие как подготовка поверхности перед нанесением фоторезиста, нанесение фоторезиста, его задубливание, проявление, экспонирование. Также не стоит забывать и о самих материалах, качество фольги, базового материала и тип резиста также может влиять на профиль проводника. Но при этом если все предыдущие операции хорошо отработаны и не вызывают никаких сбоев, то примерно на 70 – 80 % профиль проводника зависит от операции травления.

Результатом работы стало выявление того, что помимо типа раствора травления, его концентрации, температуры, давления в форсунках, а также самого типа применяемого оборудования на форму профиля проводника также влияет и сама топология печатной платы. То есть при проектировании СВЧ – плат конструктор должен знать эти зависимости и проектировать отталкиваясь от них.

### Литература

1. *Dietz K.* Fighting the Etch Factor and Etch Non-Uniformity. July 1, 2002. Fine Lines in High Yield (Part LXXXII)
2. *Т. Смертина.* Высокоточное травление. От теории к практике//Технологии в электронной промышленности, №3, 2008.– 12-19 с.