

Фольга

Цикл статей: Разработка стека сложных многослойных печатных плат. Особенности формирования стека с учетом контроля импеданса проводников. Часть 2.

Автор: **Игорь Барановский**

В предыдущей части статьи мы рассмотрели основные методы изготовления МПП. Как уже говорилось, на уровень работоспособности и надежности многослойных печатных плат (особенно плат высокой сложности) во многом влияет качество и свойства базовых материалов.

Основные базовые материалы:

- фольга;
- изоляционный прокладочный материал (склеивающие прокладки – препреги);
- фольгированные армированные диэлектрики (ламинаты).

Рассмотрим каждый из этих типов материалов более подробно, так как их свойства, в первую очередь механические, играют важную роль при прессовании МПП.

Назначение фольги:

- создание проводящего рисунка печатных проводников;
- создание полигональных слоев питания;
- формирование теплоотводящих слоев.

По типу материала фольга делится на следующие типы :

- медная фольга;
- никелевая фольга;
- алюминиевая фольга;
- фольга из нержавеющей стали;
- фольга из бронзы.

Фольга из никеля и нержавеющей стали применяется крайне редко. Как правило, основная область применения такой фольги – изготовление наружных слоев печатных плат, на которые монтируются компоненты методом разварки выводов.

Альтернативой применения фольги из никеля и стали стало использование (в качестве финишного покрытия) “мягкого” золота толщиной до 3,0 мкм поверх обычной медной фольги.

Электролитическая фольга (ED foil – electrodeposited copper foil) - изготавливается путем гальванического осаждения меди из сернокислого электролита на полированную поверхность вращающегося барабана. Барабан изготовлен из высококачественной нержавеющей стали или титана. В результате осаждения со стороны барабана фольга получает ровную блестящую поверхность, а со стороны

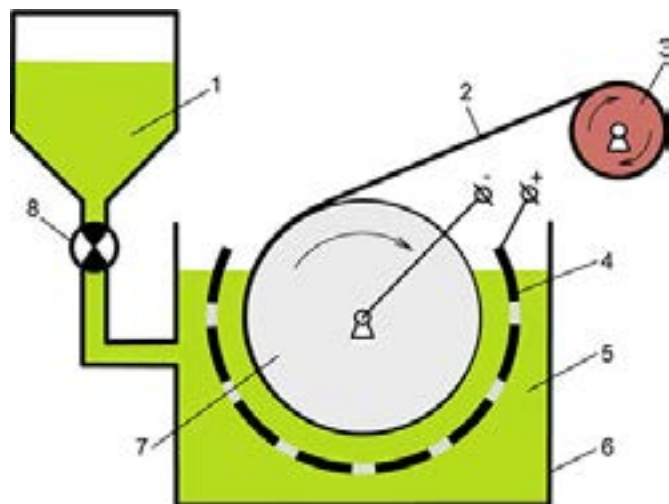
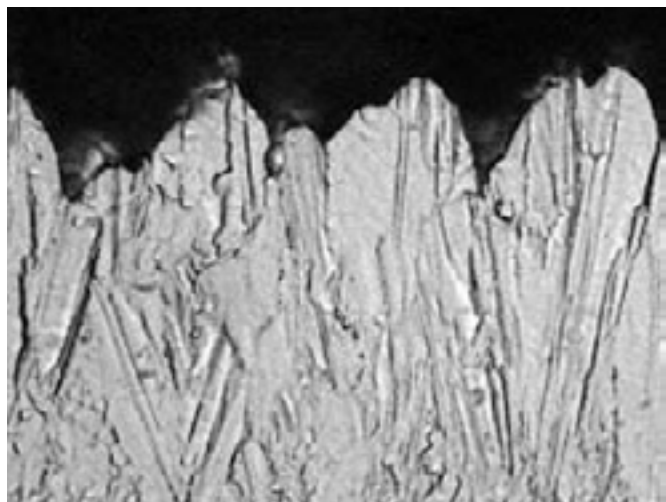


Схема техпроцесса изготовления электролитической фольги: 1 – емкость с электролитом; 2 – фольга; 3 – рулон фольги; 4 – перфорированный нерастворимый анод; 5 – электролит; 6 – бак электролизера; 7 – полированный цилиндр из нержавеющей стали; 8 – вентиль.

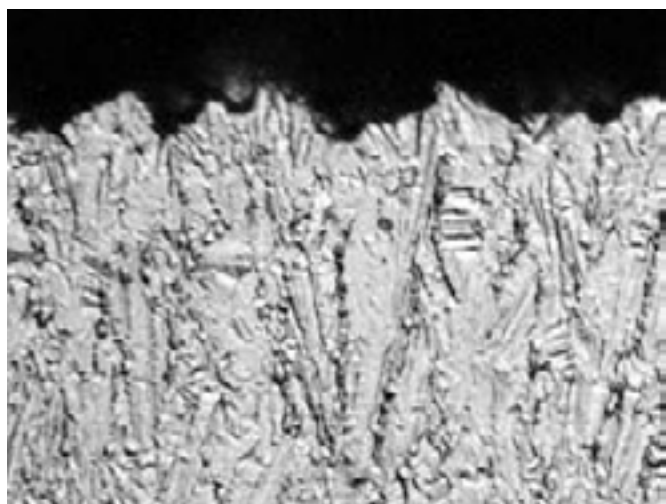
электролизера — матовую поверхность. При изготовлении ламинатов или выполнении наружных слоев МПП фольга матовой стороной припрессовывается к диэлектрическому основанию. Таким образом обеспечивается хорошая адгезия фольги с диэлектриком. Ровная блестящая поверхность создает благоприятные условия для выполнения тонкого рисунка проводников и зазоров с высокой точностью.

Следует учесть, что полученная сразу после осаждения фольга еще не может быть использована для изготовления печатных плат. Причина — наличие неурегулированной кристаллической решетки. Медь (при осаждении) под воздействием электрического тока переносится на барабан, в первую очередь в центрах кристаллизации, а затем нарастает на всей поверхности. Таким образом, структура “сырой” фольги представляет собой по сути конгломерат макрокристаллов меди. Если использовать такую медь при изготовлении печатных плат, то можно столкнуться с рядом неразрешимых технологических проблем: неравномерностью травления, неоднородностью линейного расширения при нагревании и охлаждении фольги, нестабильностью электрических параметров меди (прежде всего, проводимости). По этой причине полученная в электролизере фольга требует нормализации. Эта процедура совершается путем отжига фольги в инертной атмосфере. При этом в значительной степени нормализуется микроструктура фольги, снимаются внутренние механические напряжения.

Улучшить адгезионные свойства фольги можно не только созданием повышенной шероховатости. Для многих типов тонкомерной (малой толщины – 5 мкм, 9 мкм) фольги такая мера недопустима, поскольку глубина неровностей становится соразмерна с толщиной фольги. Это может привести к возникновению разного рода дефектов изготовления тонких проводников, ухудшению качества изготовления печатного монтажа, ненормированному значению величины подтравки проводников. По этой причине при изготовлении многих типов фольги вводится дополнительная технологическая операция оксидирования. Оксидный слой очень тонкий. При его нанесении уменьшается величина неровностей, но значительно улучшается качество поверхности – она становится более зернистой и развитой. Как следствие, значительно улучшается ад-



Поперечный микрошлиф матовой поверхности электролитической фольги

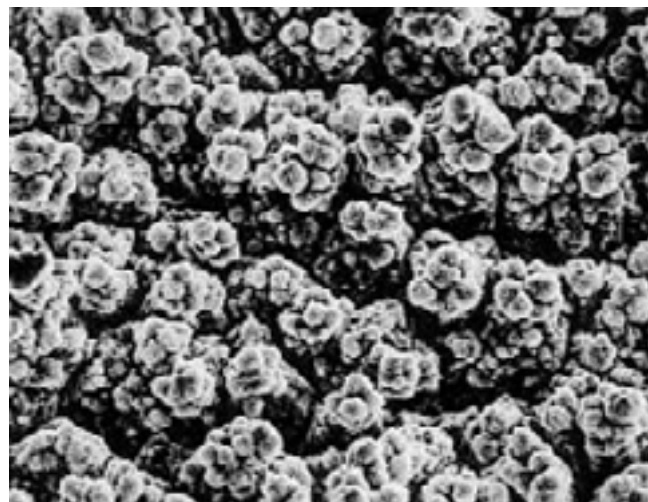


Поперечный микрошлиф матовой поверхности электролитической фольги после оксидирования



Внешний вид матовой поверхности электролитической фольги

гезия фольги к таким материалам как полиимид, полиэфир и др. Дополнительной мерой, служащей для улучшения адгезии фольги к диэлектрикам является аппретирование. Эта технологическая операция заключается в нанесении на матовую поверхность фольги кремнийорганического высокомолекулярного соединения, имеющего хорошую растворимость в смолах диэлектрических оснований и высокую смачиваемость меди. При этом происходит глубокое проникновение аппрета в поры матовой поверхности фольги. При классическом изготовлении плат, без использования аппретов, смолы из диэлектрического основания плат не могут проникать в поры так глубоко по причине недостаточной смачиваемости и наличия в пустотах микронеровностей фольги газовых остатков.



Внешний вид матовой поверхности электролитической фольги после оксидирования

Основное преимущество электролитического метода — возможность создания фольги самых различных толщин, в том числе и тонкомерной. Кроме того, при соблюдении высокой культуры производства химическая чистота полученной фольги очень высока. Именно поэтому для создания тонкомерной фольги используется более перспективный метод осаждения меди на поверхность полированных алюминиевых плит. Заготовки, состоящие из листового алюминия и осажденной с одной или двух сторон тонкомерной меди, имеют множество технологических преимуществ перед обычной тонкомерной медью. Алюминиевый лист в процессе прессования осуществляет в пресс-пакете МПП функцию разделителя, выравнивающего тепловой профиль пресс-пакета. После прессования фольга легко отделяется от алюминия. Полученные таким методом материалы более удобны в применении и повышают уровень качества печатных плат: жесткая алюминиевая основа предотвращает образование складок тонкой фольги при укладке пакета, нормализует толщину диэлектрика под фольгой. Эти материалы получили название СА (в случае осаждения меди на одной стороне алюминиевого листа) и САС (для трехслойной комбинации — медь-алюминий-медь)

Отожженная катаная фольга производится путем многочисленных последовательных операций отжига и проката до нужной толщины. В качестве основы используются заготовки из металлургической меди. После последней стадии отжига фольга имеет очень высокую пластичность. Это свойство является главным ее преимуществом и позволяет использовать катаную фольгу при изготовлении гибких и гибко-жестких печатных плат. Поверхность катаной фольги гладкая, поэтому для того, чтобы придать ее поверхности нужную шероховатость, фольгу обрабатывают различными методами. Так же, как и для электролитической фольги, поверхность катаной фольги подвергается оксидации и аппретированию для улучшения качества адгезии к диэлектрикам.

Помимо высокой пластичности, высокой равномерности микроструктуры фольги, этот метод обладает еще одним преимуществом – возможностью создания фольги больших толщин.

Особенностью данного вида фольги является возможность создания развитой шероховатой поверхности, равномерной с обеих сторон. Такой тип фольги получил название «фольга с двусторонней обработкой» (DTF – Double-Treated Copper Foil). Развитая внешняя поверхность фольги обеспечивает особо прочную связь в пакете слоев сложных многослойных плат.

По толщине фольга делится на следующие типы: тонкомерные, стандартные и толстые.

Стандартная толщина фольги, используемая для большинства плат – 35 мкм. В весовом

эквиваленте, принятом у многих производителей, это равно одной унции меди на квадратный фут площади (имеет обозначение 1 oz). Для изготовления сложных многослойных плат (особенно при необходимости использования полуаддитивных методов изготовления проводящего рисунка) очень часто используют более тонкую фольгу – 18 мкм (1/2 oz) и 12 мкм (1/3 oz). При изготовлении МПП (по технологии HDI) для формирования сверхплотного печатного рисунка используется тонкомерная фольга – 9 мкм (1/4 oz), 7 мкм (1/5 oz) и меньше [7]. Все эти типы фольги изготавливаются электролизным способом. Исключение составляют материалы толщиной 35 мкм, которые могут быть изготовлены и из катаной фольги. Для изготовления печатных плат силовой электроники часто используют медную фольгу большой толщины. Материалы большой толщины изготавливаются из катаной фольги и также нормируются по толщине. Типовые значения толщин – 70 мкм (2 oz), 90 мкм, 105 мкм (3 oz), 210 мкм (6 oz).

Применение фольги большей толщины позволяет выполнять проводники более узкими, по сравнению с фольгой стандартной толщины при тех же значениях протекающего тока. Кроме того, следует учесть, что допустимая плотность тока катаной фольги больше, чем электролитической [10]. Более высокая плотность тока катаной фольги обусловлена высокой упорядоченностью внутренней структуры фольги, возникшей благодаря многочисленным отжигам. Удельное сопротивление катаной фольги составляет $1,72 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$, а осажденной из электролитов – $1,9 \dots 2,1 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$ [1], [10]. При малейших загрязнениях электролитов (в особенности примесями органического происхождения) удельное сопротивление повышается еще на 20-30%. Еще один важный показатель – коэффициент линейного расширения фольги. $\alpha_{Cu} = 17 \cdot 10^{-6} \text{ мм/мм} \cdot \text{°C}$. Эта величина очень важна при расчете стека многослойных плат, правильном выборе толщин фольги и препрегов, выборе диаметров отверстий и количества осажденной в них меди.