ТЕХНОЛОГИЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО МЕДНЕНИЯ И ЗОЛОЧЕНИЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СВЧ ПЛАТ

Б.А. Косарев, О.И. Солодовникова

Омский научно-исследовательский институт приборостроения, Омск, Российская Федерация

Рассмотрены способы гальванического меднения и золочения при изготовлении СВЧ плат. Разработан технологический процесс гальванического золочения и меднения с использованием тонкопленочной технологии, и отработаны режимы гальванического осаждения металлов. Согласно разработанному технологическому процессу, изготовлены тонкопленочные платы с финишным покрытием золотом контактных площадок. Отмечены особенности гальванического меднения и золочения при использовании тонкопленочной технологии.

Ключевые слова: гальваническое осаждение металлов, меднение, золочение, тонкопленочная технология, плотность тока, электрохимическая ячейка, анод, катод.

TECHNOLOGY OF GALVANIC COPPER AND GOLDING IN THE MANUFACTURING OF MICROWAVE PLATES

B.A. Kosarev, O.I. Solodovnikova

Omsk Scientific-Research Institute of Instrument Engineering, Omsk, Russian Federation

Methods of galvanic copper plating and gilding in the manufacture of microwave circuit boards are considered. The technological process of galvanic golding and copper plating using thin-film technology is developed, and the modes of galvanic metal deposition are worked out. According to the developed technological process, thin-film plates with a gold-plated contact pads are made. The features of galvanic copper plating and gilding using thin-film technology are noted..

Keywords: galvanic metal deposition, copper plating, gilding, thin-film technology, current density, electrochemical cell, anode, cathode.

При изготовлении тонкопленочных СВЧ плат зачастую возникает необходимость гальванического осаждения меди и золота, являющегося толстопленочной технологией. В этой связи существует потребность в разработке эскизного технологического процесса гальванического осаждения металлов с учетом особенностей тонкопленочной технологии.

Цель работы – разработка эскизных технологических процессов гальванического осаждения медных и золотых покрытий при изготовлении тонкопленочных СВЧ плат, определение режимов гальванического осаждения.

Гальваническое осаждение металлов на платы

Гальваническое осаждение металлов на СВЧ платы выполняется в электрохимических ячейках (гальванических ваннах) с электролитами, содержащими соответствующие ионы. Электрохимическая ячейка представляет собой ванну с электродами (рис. 1).

Электроды с положительным потенциалом называются анодами, а с отрицательным – катодами. При использовании растворимых анодов источником ионов металла электролита в большей степени является сам анод (до 95 %). При использовании нерастворимых анодов ионы осаждаемого металла содержит электролит.

Рис. 1. Двухэлектродная ячейка осаждения металлов

При осаждении ионов металлов плата является катодом и ионы восстанавливаются на ее поверхности, формируя металлическую пленку. Структура и состав пленки определяется параметрами технологического процесса (состав и температура электролита, плотность тока и др.). Поэтому для получения качественных покрытий необходимо перемешивание, фильтрация, поддержание заданной температуры, анализ состава электролита [1].

Перемешивание электролита осуществляется барботажем или механически. Перемешивание барботажем нежелательно, так как происходит пенообразование.

Необходимость фильтрации электролита возникает за счет выпадения осадков различных солей и образования примесей в процессе работы электрохимической ячейки. В частности, при использовании растворимых анодов образуется шлам. Для борьбы с выпадением шлама аноды помещают в мешки из специальной ткани (бэлтинг). Фильтрация может быть непрерывной или осуществляется периодически.

Поддержание температуры электролита осуществляется водяным охлаждением или нагреванием стенок электрохимической ячейки. Также охлаждение может быть организовано при помощи элементов Пельтье, а нагревание – резистивными элементами.

Анализ состава электролита выполняют методами аналитической химии, в частности, при помощи кондуктометрического титрования, контроля pH раствора. Толщина гальванически осажденной пленки определяется согласно законов Фарадея с поправкой на эффективность процесса.

Неравномерность толщины гальванического покрытия зависит от расположения катода в ванне относительно стенок и электродов. Аноды и катоды должны располагаться в параллельных плоскостях. Платы располагают в одной плоскости и на некотором расстоянии от дна ванны (не менее 2 мм). Между крайней платой и стенкой ванны необходимо выдерживать расстояние не менее 1 мм. Платы должны располагаться симметрично относительно зеркала раствора (поверхность электролита) и нижнего края анодов.

Также на неравномерность толщины гальванического покрытия влияет краевой эффект. За счет краевого эффекта толщина гальванического покрытия по краям платы несколько больше чем в центре. Основными методами борьбы с увеличением толщины покрытия по краю платы является использованием проводящих и непроводящих экранов и биполярных электродов.

На качество структуры покрытия положительно влияет высокая частота обновления раствора на границе электролит-плата. Для поддержания высокой частоты смены раствора используют возвратно-поступательные движения плат в плоскости параллельной или перпендикулярной анодам. Особенно это полезно в случае металлизации переходных отверстий.

Большинство СВЧ плат, используемых в микроэлектронике, выполняются из диэлектрического материала. Для гальванического осаждения металлов плата должна обладать отрицательным потенциалом. Поэтому перед гальваническим осаждением на плате формируют проводящий слой. Проводящий слой может быть сформирован химическим осаждением или напылением металлизации в вакууме [2].

Гальваническое осаждение меди

Гальваническое меднение плат выполняется в медь содержащих электролитах. Используются для односторонних плат двухэлектродные ячейки и трехэлектродные ячейки – для двухсторонних плат. Для осаждения ионов меди на платы подается отрицательный потенциал, а на растворимые медные аноды положительный. Толщина осажденной пленки определяется плотностью тока и временем осаждения.

Для получения оптически гладкого покрытия меди используют электролиты с блескообразующей добавкой. На слой химически осажденного никеля или меди в гальванической ячейке наносят слой меди 3–5 мкм, затем гальванически наносят слой меди с блескообразующей добавкой.

По результатам исследований предложен эскизный технологический процесс изготовления СВЧ плат с гальваническим осаждением меди:

1. Очистка плат перед напылением («жесткая отмычка» в хромовой смеси).
2. Напыление металлизации V-Cu-V 1.0 мкм.
3. Фотолитография (формирование топологии).
4. Пробивка отверстий (лазерная установка).
5. Гальваническое осаждение меди (групповой метод осаждения).
6. Резка платы на модули.
7. Контроль толщины металлизации h_m на интерферометре МИИ-4.

Операция гальванического осаждения меди состоит из следующих операций:

1. Приготовление сульфатного электролита (табл. 1).

Таблица 1

Состав сульфатного электролита [3]

Медь сернокислая, кг	0,2–0,22
Кислота серная, л	0,022–0,025
Кислота винная, кг	0,002
Спирт этиловый ректификат, л	0,05
Дистиллированная вода, л	1

2. Сборка схемы с электрохимической ячейкой (рис. 2).

Рис. 2. Цепь с трехэлектродной ячейкой для проработки электролита меднения:

- 1 – амперметр; 2 – таймер; 3 – источник питания (Б5-48); 4 – электролитическая ячейка;
5 – анод; 6 – катод

3. Проработка сульфатного электролита.
4. Удаление защитного слоя ванадия.
5. Гальваническое осаждение меди.

Рассмотрим подробно операцию проработки электролита.

Перед использованием для стабилизации состава электролит прорабатывают 5–8 часов при плотности тока 1–1,5 А/дм². Собрать цепь с трехэлектродной ячейкой согласно рис. 2.

Формула расчета тока в цепи для поддержания заданной плотности тока:

$$I = S \cdot j,$$

где I – ток в цепи (А); j – плотность тока (А/ дм²); S – площадь части катода, погруженной в электролит (дм²).

Показания тока в цепи измеряют при помощи амперметра 1.

При проработке электролита применяется двухсторонний фольгированный стеклотекстолит с площадью 0,576 дм². Пусть необходимо получить плотность тока на катоде 1 А/дм². Тогда ток в процессе проработки электролита необходимо поддерживать 0,576 А.

Катод в ячейке фиксируется параллельно анодам. Таймером 2 (рис. 2) задается время процесса t . На источнике питания 3 (рис. 2) ток $I_{\text{ист.}} = 1,9$ А, $U_{\text{ист.}} = 0,1$ В. Наполняем ячейку электролитом до достижения площади погруженной поверхности катода S . Включаем таймер 2 (одновременно включается устройство возвратно-поступательных параллельных перемещений катода) и источник питания 3. Увеличиваем напряжение $U_{\text{ист.}}$ до достижения показаний амперметра 1 0,576 А. Длительность проработки электролита составляет 5 часов.

В процессе проработки температура электролита оставалась неизменной (25 °С). На дно электролитической ячейки выпал черный осадок (анодный шлам). На анодах кристаллизовался сульфат меди.

После проработки электролит фильтруется через фильтровальную бумагу.

Была проведена оценка при помощи лакмусовой индикаторной бумаги значения pH проработанного и непроработанного растворов гальванического меднения. pH непроработанного электролита составил 2, проработанного – 1.

Рассмотрим операцию гальванического осаждения меди. Для гальванического осаждения меди на платы из диэлектрического материала предварительно сформировали металлизацию V-Cu-V 1,0 мкм магнетронным распылением.

Непосредственно перед операцией гальванического осаждения меди на плату стравливали защитный слой ванадия в растворе следующего состава: калий железосинеродистый 25 % 50 мл; едкий калий 20% 10 мл; вода дистиллированная 60 мл.

Время удаления ванадия при температуре раствора 20–25 °С составляет не менее 25 сек., иначе при гальваническом осаждении кристаллы меди образуют островковую структуру и не покрывают поверхность платы сплошным слоем (рис. 3).

Рис. 3. Осаждение меди на недоснятый ванадий:

а) увеличение 20 крат (черные точки – островки гальванически осажденной меди;
б) увеличение 350 крат

После стравливания верхнего слоя ванадия плата фиксируется в ячейке параллельно аноду. Задается таймером **2** время процесса t , на источнике питания **3** ток $I_{\text{ист.}} = 1,9 \text{ А}$, $U_{\text{ист.}} = 0,1 \text{ В}$. Ячейка наполняется электролитом до достижения площади погруженной поверхности катода S . Включаем таймер **2** (одновременно включается устройство возвратно-поступательных параллельных перемещений катода) и источник питания **3**. Увеличиваем напряжение $U_{\text{ист.}}$ до достижения показаний амперметра **1** $I = 8,1 \text{ мА}$. Длительность процесса осаждения 82 минуты.

Предполагалось, что контроль толщины гальванически осажденной меди будет осуществлен стандартным методом подсчета числа смещенных интерференционных полос на МИИ-4. Однако на поверхности гальванически осажденной меди невозможно было различить интерференционных полос из-за значительной шероховатости (рис. 4).

Рис. 4. Поверхность гальванически осажденной меди (слева) и металлизации, нанесенной магнетронным распылением (справа)

Поэтому был использован электронный микроскоп Xirox. Плата фиксировалась при помощи магнитов на предметном столике в вертикальном положении. Затем на увеличении 150 крат непосредственно измерялась суммарная толщина металла $h_s = 10 \text{ мкм}$ (рис. 5), из которой необходимо было вычесть предварительно измеренную перед гальваническим осаждением толщину металлизации модуля $h_m = 1,0 \text{ мкм}$, чтобы вычислить толщину гальванически осажденной меди h : $h = h_s - h_m = 10 - 1,0 = 9,0 \text{ мкм}$.

Рис. 5. Контроль толщины гальванически осажденной меди

По результатам экспериментальных работ определены режимы гальванического осаждения меди на металлизацию V-Cu, нанесенную магнетронным распылением: при плотности тока $0,26 \text{ А /дм}^2$ время осаждения 1 мкм меди составило 9 минут.

Гальваническое осаждение золота

Гальваническое золочение плат выполняется в золотосодержащих электролитах. Используются для односторонних плат двухэлектродные ячейки и трех-электродные ячейки – для двухсторонних плат. Для осаждения ионов золота на платы подается отрицательный потенциал, а на нерастворимые платинированные аноды положительный. Толщина осажденной пленки определяется плотностью тока и временем осаждения.

Эскизный технологический процесс изготовления СВЧ плат с гальваническим осаждением золота соответствует процессу меднения. Состав электролита для золочения указан в табл. 2 [4].

Таблица 2

Состав электролита золочения

Аммоний фосфорнокислый – однозамещенный, кг	0,040
Аммоний фосфорнокислый двухзамещенный, кг	0,080
Калий дициано-(1) аурат, кг	0,012
Дистиллированная вода, л	1

Следует отметить некоторые особенности гальванического золочения СВЧ плат.

Толщина золотых покрытий составляет 1–15 мкм. Обязательным условием гальванического осаждения золота является наличие слоя никеля между медью и золотом. Толщина слоя никеля варьируется от 0,5 до 9 мкм. Слой никеля предотвращает диффузию меди в золото [5].

Для отработки гальванического золочения используются платы с металлизацией V-Cu-Ni-V. Верхний слой ванадия удаляется непосредственно перед гальваническим золочением.

Температура электролита золочения в процессе осаждения составляла 72–74 °С.

Измерение толщины осажденного слоя золота при помощи микроскопа Xirox приведена на рис.6.

Рис. 6. Контроль толщины гальванически осажденного золота

По результатам экспериментальных работ определены режимы гальванического осаждения золота на металлизацию V-Cu-Ni, нанесенную магнетронным распылением: при плотности тока $1,1 \text{ А /дм}^2$ время осаждения 1 мкм золота составило 2,5 минуты.

Выводы

Разработаны эскизные технологические процессы гальванического осаждения меди и золота при изготовлении СВЧ плат. По результатам экспериментальных работ определены режимы гальванического осаждения меди и золота.

Время осаждения 1 мкм меди составило 9 минут при плотности тока 0,26 А /дм².
Время осаждения 1 мкм золота составило 2,5 минуты при плотности тока 1,1 А /дм².

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ажогин Ф.Ф.* Гальванотехника. М.: Металлургия, 1987. 736 с.
2. *Ильин В.А.* Металлизация диэлектриков. Л.: Машиностроение, 1977. 80 с.
3. *Лаворко П.К.* Пособие мастеру цеха гальванических покрытий. М.: Машиностроение, 1969. 272 с.
4. *Буркат Г.К.* Электроосаждение драгоценных металлов. СПб.: Политехника, 2011. 188 с.
5. *Груев И.Д., Матвеев Н.И., Сергеева Н.Г.* Электрохимические покрытия изделий радиоэлектронной аппаратуры. М.: Радио и связь, 1987. 300 с.