

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНЫХ МИКРОПЛАТ ФОТОЛИТОГРАФИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

*Чухманов Евгений Петрович (niiis@niiis.nnov.ru), Негин Алексей Викторович,
Сергеев Вячеслав Евгеньевич*

Филиал РФЯЦ-ВНИИЭФ «НИИИС им. Ю. Е. Седакова», г. Нижний Новгород

В работе представлены результаты по совершенствованию технологии изготовления сверхвысокочастотных (СВЧ) микроплат. Усовершенствованная технология включает в себя фотолитографию с применением позитивного фоторезиста ФП-3515, золочение через технологические перемычки и травление структуры V-Cu в травителе меди и ванадия, характеризующимся фактором травления более трех единиц при использовании метода погружения.

Усовершенствованная технология позволяет изготавливать СВЧ микроплаты на основе проводящей структуры V-Cu-Au (6–8 мкм) с предельным допуском ширины элементов топологического рисунка ± 5 мкм.

Ключевые слова: СВЧ микроплаты, технология изготовления, фотолитография, травление.

IMPROVEMENT OF MANUFACTURING TECHNOLOGY OF PRECISION MICROWAVE MICROPLATES BY PHOTOLITHOGRAPHIC METHOD

*Chukhmanov Evgeny Petrovich (niiis@niiis.nnov.ru), Negin Alexey Viktorovich,
Sergeev Vyacheslav Evgenievich*

Branch of RFNC-VNIIEF «NIIS named after Yu. E. Sedakov», Nizhny Novgorod

The paper presents the results of improving the technology of manufacturing microwave microplates. The advanced technology includes photolithography using a positive photoresist FP-3515, gold plating through technological bridges and etching of the V-Cu structure in a copper and vanadium etchant, characterized by an etching factor of more than three units using the immersion method.

The improved technology makes it possible to manufacture microwave microplates based on the V-Cu-Au (6–8 μm) conductive structure with a maximum width tolerance of ± 5 μm for the topological pattern elements.

Keywords: microwave microplate, manufacturing technology, photolithography, etching.

СВЧ микроплаты – микроплаты, работающие со сверхвысокочастотными сигналами в диапазоне от 3 до 30 ГГц с сантиметровыми волнами. При повышении частоты подаваемого сигнала на проводниках микроплат толщина скин-слоя, по которому проходит сигнал, значительно уменьшается. Изменение профиля проводника может резко изменить значение площади поперечного сечения скин-слоя как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения. Также изменение профиля проводника влияет на его сопротивление. Все это сказывается на частотных характеристиках передаваемых электромагнитных волн. Поэтому очень важна в технологии изготовле-

ния воспроизводимость размеров и геометрии проводников.

К тому же в современном производстве постоянно возрастают требования к размерам проводников в сторону их максимального уменьшения.

Ранее разработанная в НИИИС технология (далее – технология 1) позволяет изготавливать прецизионные элементы с точностью ± 5 мкм по ширине проводника при толщине элемента 6–8 мкм с выходом годных микроплат до 90 %. Многочисленные исследования показали, что основными лимитирующими этапами при изготовлении таких элементов являются качественные фотолитография и травле-

ние. Поэтому была проведена работа по усовершенствованию технологии (далее – технология 2) изготовления прецизионных микроплат.

Основные технологические различия технологий 1 и 2 приведены в табл. 1.

Разберем каждое отличие технологий на разных этапах изготовления отдельно.

На поликоровых подложках была сформирована проводящая структура V-Cu-Cr толщиной 2–4 мкм методом вакуумного напыления на установке УВН-74П-3. Хром в данном случае выполняет роль защитного слоя, предотвращающего медь от окисления, толщина слоя хрома не превышает 0,5 мкм.

На этапе формирования топологического рисунка фоторезист наносился методом центрифугирования. Технология 1 подразумевает использование позитивного фоторезиста ФП-3515 с разрешающей способностью $\pm 0,5$ мкм, и в качестве альтернативы предполагает использование фоторезиста ФП-383 с разрешающей способностью ± 1 мкм. Технология 2 практически предполагает использование любого современного позитивного фоторезиста. После нанесения фоторезист экспонировали через металлизированный шаблон, затем проявляли в растворах бората или фосфата натрия. Толщина сформированного фоторезистивного слоя составила до 1,2 мкм.

Согласно Технологии 1 гальваническое золочение осуществлялось через сформированную фоторезистивную маску при температуре, близкой к 70 °С, в слабокислой среде электролита. Толщина золотого слоя составляет от 3 до 6 мкм. Естественно, при такой технологии изготовления неизбежно боковое раз-

растание золота поверх фоторезистивной маски (толщиной до 1,2 мкм) от $3-1,2 = 1,8$ до $6-1,2 = 4,8$ мкм на одну сторону проводника. В сумме это дает увеличение ширины проводников и, следовательно, уменьшение зазора между проводниками на величину от 3,6 до 9,6 мкм. После удаления фоторезиста часть золотого слоя оказывается не связанной с проводниковым слоем V-Cu. В дальнейшем даже простые операции измерения ширины проводников и транспортирования микроплат в технологической таре могут привести к задиру и отрыву золотого слоя. Технология 2 полностью исключила этот недостаток. Согласно технологии 2 золочение происходит в электролите «холодного» (при комнатной температуре) золочения по всей поверхности проводящей структуры, отсутствует золотой слой лишь в местах травления технологических перемычек.

В Технологии 1 травление осуществляется в щелочных травителях по сформированной золотой маске после удаления фоторезиста. Составы травителей приведены в табл. 2.

Из табл. 2 легко заметить, что при травлении ширина проводника в сумме может уменьшиться более, чем на 5 мкм. Однако, реальные размеры проводников V-Cu-Cr невозможно предугадать из-за бокового разрастания золота, от которого отталкивается оператор при травлении. Все это может оказывать негативное влияние на профиль skin-слоя. Кроме того, большинство микроплат просто забраковывалось по причине несоответствия размеров нормативной документации.

Таблица 1

Технологические различия технологии 1 и 2 изготовления прецизионных микроплат

	Технология 1	Технология 2
Марка используемого фоторезиста	ФП-3515, ФП-383	ФП-3515, ФП-383, Microposit S 1805
Технология золочения	Через фоторезистивную маску	Через технологические перемычки
Технология травления	Через гальваноосажденный слой золота	Через фоторезистивную маску
Среда используемых травителей	Щелочная (травители хрома, ванадия и меди)	Кислая (травитель хрома) Нейтральная (травитель меди, ванадия)
Способность к регенерации травителей	Нет	Да (травитель меди)
Последовательность травления Cr, Cu, V	Травление Cr, V и Cu в двух разных травителях	Травление Cr и Cu, V в двух разных травителях

Таблица 2

Составы щелочных травителей для травления структуры V-Cu-Cr согласно технологии 1 изготовления прецизионных микроплат

Стравливаемый слой	Состав травителя	Фактор травления F, max
Cr, V	Калия гексацианоферрат (III) – 19 г; калия гидроксид – 5 г; вода дистиллированная – 95 мл	2,5
Cu	Меди (II) хлорид дигидрат – 43 г; аммония хлорид – 35 г; аммиак водный – 100 мл; вода дистиллированная – 50 мл	1,5

В дальнейшем технология золочения была заменена на золочение через технологические перемычки. В таком случае травление проводящей структуры идет через фоторезистивную маску, а перемычки защищают фоторезистом непосредственно перед золочением. После золочения перемычки стравливают. Технология 2 позволяет избежать трудоемкой операции предварительных замеров проводников и зазоров непосредственно перед золочением за счет более качественного травления. Качественное травление определяют равномерность травления и фактор травления. Результатом равномерного травления является четкий, ровный, край проводников. А фактор травления F определяет суммарный подтрав проводника – чем больше F, тем меньше подтрав. Фактор травления измеряли с помощью микроскопа MICRO 200T-01.

В Технологии 2 используется новый, способный к полной регенерации, травитель меди, значение pH которого близко к 7. Это необходимо, поскольку позитивные фоторезисты разрушаются в сильнощелочной среде. Используемые травители приведены в табл. 3.

В Технологии 1 используется следующий порядок травления – верхний слой хрома и нижний слой ванадия стравливают в селективном по отношению к меди, а медь – в селективном по отношению к хрому и ванадию травителях.

В Технологии 2 используется иной порядок – хром стравливается в селективном по отношению к меди и ванадию, а медь и ванадий – в селективном по отношению к хрому травителях. Однако, в Технологии 2 используются травители с гораздо большим фактором травления (использовался метод простого жидкостного погружения), что в свою очередь определяет необходимый профиль проводника, который при большом подтраве принимает форму, близкую к трапеции. Также стоит отметить тот факт, что полная регенерация травителя меди в дальнейшем позволит существенно сэкономить ресурсы, поскольку регенерировать травитель оказалось на 30 % выгоднее, чем приготовить его заново.

Усовершенствованная Технология 2 изготовления прецизионных микроплат находится на стадии внедрения в серийное производство. Сравнение показателей выхода годных микроплат приведено в табл. 4.

Таблица 3

Составы травителей для травления структуры V-Cu-Cr согласно Технологии 2 изготовления прецизионных микроплат

Стравливаемый слой	Состав травителя	Фактор травления F, max
Cr	Соляная кислота конц. – 50 мл глицерин – 50 мл	2,7
Cu, V	Согласно патенту РФ № 2773180	3,6

Таблица 4

Количественные показатели до и после усовершенствования технологии изготовления прецизионных микроплат

Показатель	Технология 1	Технология 2
Выход годных микроплат, %	90	95–96
Боковой подтрав проводника толщиной 2–4 мкм на одну сторону, мкм	2,7–5	0,7–1,3
Ширина золотого слоя, не связанного со структурой V-Cu, на одну сторону, мкм	1,8–4,8	0,7–1,3 (только в местах травления перемычек)