

УДК

Технология сверхширокополосных квадратурных мостов

А.В. Бобров¹, В.Н. Вьюгинов², И.Г. Киселев¹, В.В. Попов^{2,3}, М.Ш. Тугушев¹

¹АО «Светлана-Электронприбор»

²Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

³ПАО «Светлана»

Аннотация: Традиционная тонкопленочная технология гибридных интегральных схем обеспечивает минимальный размер элементов порядка 100 мкм с точностью 10%. Для производства сверхширокополосных квадратурных мостов требуется технология с размером элементов на порядок меньше – до 10 мкм. Кроме СВЧ-параметров, она должна обеспечивать низкую стоимость производства.

В настоящей статье предложена серийно способная реализация такой технологии.

Ключевые слова: сверхширокополосные системы, ГИС, МИС, мост Ланге.

1. Введение

В последние годы получили развитие радиолокационные системы с применением сверхкороткоимпульсных и шумоподобных сигналов, требующих мгновенной полосы приемного и передающего тракта более октавы. Такие системы принято называть сверхширокополосными (СШП).

СШП усилители приемного и передающего трактов реализации гибридных интегральных схем (ГИС) выполняются преимущественно по балансной схеме, обладающей повышенной устойчивостью, малой неравномерностью АЧХ и хорошим согласованием входа и выхода. Для их построения требуются СШП квадратурные мосты, технология изготовления которых накладывает ограничения на полосу рабочих частот. Балансные усилители по технологии монолитных интегральных схем (МИС) широкого распространения не получили [1].

Традиционная ГИС-технология обладает рядом недостатков. К ним относится минимальный размер порядка 100 мкм, трудоемкость и низкая повторяемость монтажа проволочных соединений элементов топологии с такими размерами. Для преодоления этих недостатков в АО «Светлана-Электронприбор» создана технология, в которой используются процессы ГИС и МИС. Она прошла апробацию при разработке СШП квадратурного моста типа Ланге.

2. Технология СШП квадратурных мостов

Первый этап технологии СШП квадратурных мостов заключается в изготовлении сквозных металлизированных отверстий. Они необходимы для соединения заземляющих площадок топологии ГИС с нижней металлизированной стороной подложки. Отверстия диаметром 300 мкм пробиваются в подложке на автоматизированном лазерном оборудовании с точностью позиционирования 5 мкм. После очистки поверхности от продуктов лазерного испарения материала подложки они заполняются серебросодержащей пастой по толстопленочной технологии. Одновременно с отверстиями топологии ГИС изготавливаются также реперные отверстия в диагональных углах подложки.

На следующем этапе производится фотолитография (ФЛГ) резисторов СШП квадратурных мостов. Реперные лазерные отверстия в углах подложки используются для совмещения исключительно при первой ФЛГ. В качестве резистивного материала

используется Та, который напыляется магнетронным способом на поверхность подложки. Выбор Та в качестве материала для резистора обусловлен тем, что по сравнению с другими резистивными материалами типа Cr (NiCr), Ti, Mo и Re он обладает высокой химической стойкостью и наиболее подходящими температурными и мощностными свойствами: температурный коэффициент сопротивления составляет $\pm 20 \cdot 10^{-8} / \text{градус}$, допустимая рассеиваемая мощность на пленке – 10 Вт/см². Топология резистора травится под защитой маски фоторезиста (ФР). Необходимое удельное сопротивление пленки резистивного материала обеспечивается технологическим оборудованием с точностью 5%. Технологический контроль производится на следующем этапе с помощью измерений параметров тестовых элементов типа «длинной линии». На этом этапе изготавливаются также металлизированные элементы совмещения.

На третьем этапе технологии осуществляется ФЛГ основных элементов СШП квадратурного моста и подводящих микрополосковых линий. В этом процессе напыляется композиция Ti/Au толщиной 50нм/500 нм и травится топология под защитой маски ФР.

Для диэлектрической изоляции перемычек СШП квадратурного моста на поверхность подложки осаждается слой SiO₂, производится ФЛГ и травление диэлектрика в индуктивно связанной плазме.

На следующем этапе изготавливаются перемычки шириной 10 мкм СШП квадратурного моста. Процесс осуществляется аналогично ФЛГ на третьем этапе с тем отличием, что металлическая композиция напыляется также на обратную сторону подложки для последующей операции гальваники.

На топологии ГИС и обратной стороне подложки с помощью гальванического процесса наращивается Au толщиной 3..4 мкм для снижения сопротивления металлизации с целью уменьшения СВЧ-потерь.

Отказ от соединений проволокой в пользу многослойных интегральных перемычек шириной 10 мкм обеспечил высокую повторяемость СВЧ-параметров и выход годных изделий выше 70%.

СШП квадратурный мост типа Ланге, изготовленный по описанной технологии, показан на рисунке 1. Габаритный размер подложки – 3×9×0,5 мм. Кроме самого моста Ланге на ней расположены также тестовые элементы типа «длинной линии» для технологического контроля удельного сопротивления металлизации.

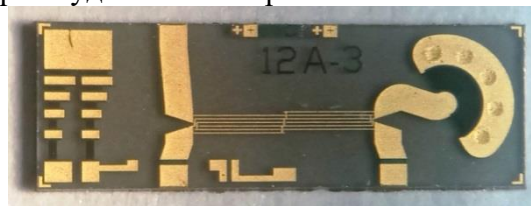


Рисунок 1. Подложка с мостом Ланге.

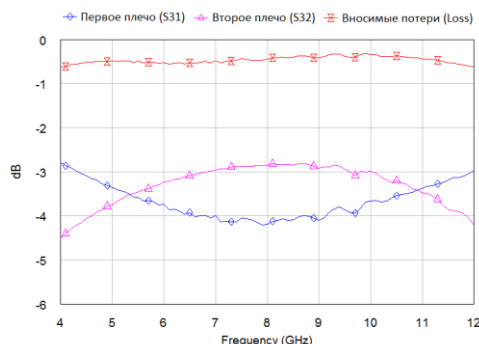


Рисунок 2. Коэффициенты передачи моста.

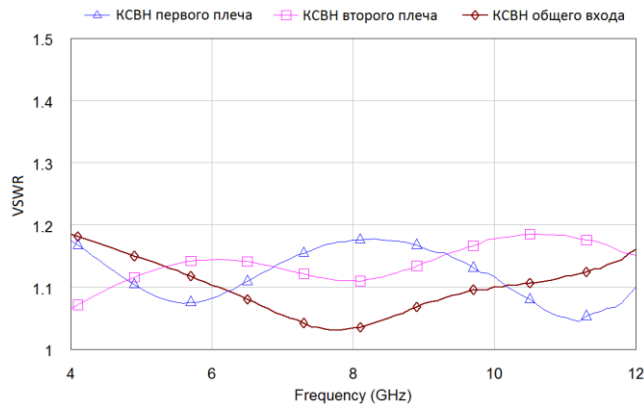


Рисунок 3. КСВН входа/выходов моста.

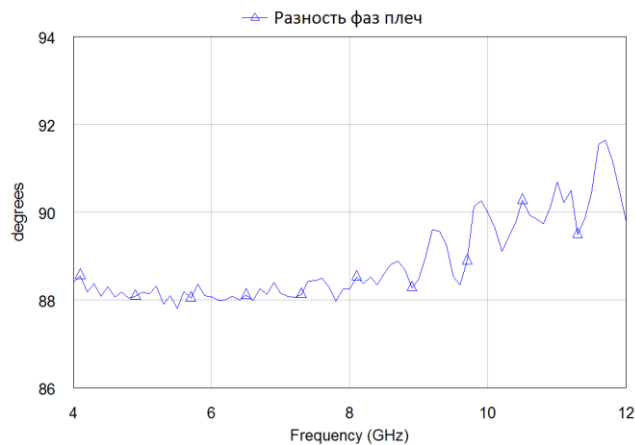


Рисунок 4. Разбаланс фаз плеч моста.

СВЧ-параметры моста Ланге, изготовленного по описанной технологии, не уступают параметрам квадратурных мостов сантиметрового диапазона серии РК-КДМ предприятия ООО «Радиокомп», но превосходят их в два раза по ширине полосы [2].

3. Заключение

Разработанная технология СШП квадратурных мостов может использоваться для создания балансных усилителей радиолокационных систем с применением сверхкороткоимпульсных и шумоподобных сигналов, а также активных фазированных антенных решеток сантиметрового диапазона длин волн.

Список литературы

1. Кищинский А.А., Радченко А.В., Радченко В.В. Широкополосные квадратурные делители/сумматоры для применения в усилителях СВЧ мощности. Материалы 23-й Крымской международной конференции «СВЧ техника и телекоммуникационные технологии». Севастополь, Вебер, 2013, с.6 – 10.
2. <http://www.radiocomp.ru/>