

ПРОДУКЦИЯ КОМПАНИИ ION BEAM MILLING

КРАТКИЙ ОБЗОР

В.Кочемасов, С.Хорев inbox@radiocomp.ru

Наиболее распространенный метод получения СВЧ-компонентов с помощью фотолитографии (химического травления) имеет ряд недостатков. В первую очередь, это невозможность создания прецизионных компонентов и низкая повторяемость процесса. Технология фрезерования ионным пучком (сухое ионное травление) лишена этих недостатков. Продукция фирмы Ion Beam Milling (США), изготовленная по этой технологии, удовлетворяет требованиям военных и космических стандартов США.

Компания Ion Beam Milling (IBM, www.ionbeammilling.com) была основана в 1982 году супругами Куаган (Quagan). Свое имя получила по названию широко используемой ею технологии ионного травления – с самого начала деятельности компании основным направлением стала технология тонких пленок. Первоначальным капиталом послужили средства Научного содружества Александрии (Вирджиния, США). Через три года супруги Куаган выкупили контрольный пакет акций и получили полный контроль над компанией. В настоящее время IBM – ведущая компания в области применения технологии фрезерования ионным пучком при производстве электронных компонентов со штаб-квартирой в Манчестере (Нью-Гэмпшир, США).

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПРОДУКЦИИ КОМПАНИИ IBM

Существуют разные технологии изготовления ВЧ- и СВЧ-устройств, но только две из них обеспечивают точную реализацию расчетных размеров и параметров – химическое травление (фотолитография) и сухое ионное травление.

При химическом травлении участки подложки, которые требуется сохранить, покрываются защитным слоем – фоторезистом. Затем подложка помещается в ванну со специальным составом, растворяющим незащищенные участки. Этот

метод – изотропический; его недостаток заключается в том, что раствор для травления действует и на защищенные участки, затекая под фоторезистивный слой (так называемый подтрав (undercut), рис.1). При этом изменяются волновое сопротивление полосковых линий и характеристики всего изделия. Подтрав не очень заметен при относительно широких токопроводящих линиях, но становится критичным при формировании узких проводников – от степени подтравы прямо зависит разрешающая способность процесса. Кроме этого, фотолитография не обеспечивает высокой повторяемости процесса, а некоторые материалы, например, платина, несовместимы с составами для травления.

Альтернативой фотолитографии является метод сухого ионного травления, называемый также

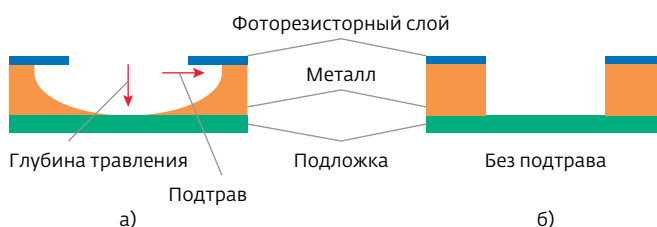


Рис.1. Сравнение химического травления (а) и фрезерования ионным пучком (б)

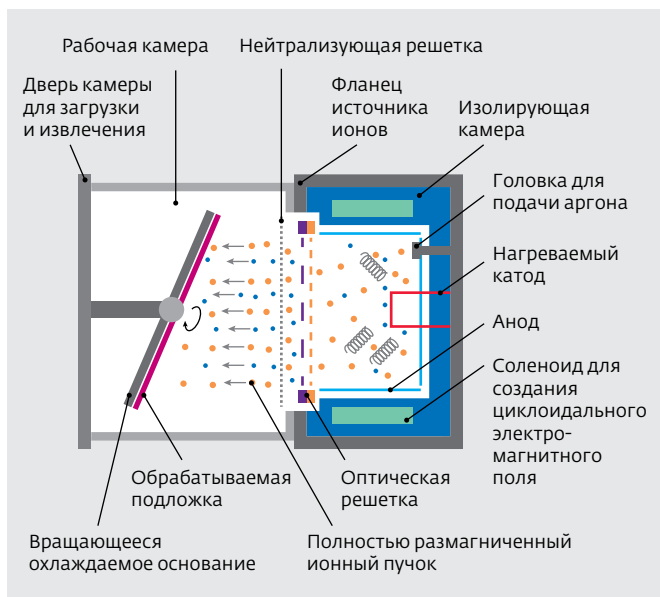


Рис.2. Схема камеры для ионного фрезерования

методом фрезерования ионным пучком (ion beam milling). При ионном травлении, как и в случае фотолитографии, сохраняемые участки металлизации подложки покрываются фоторезистом. Однако это покрытие обеспечивает защиту поверхности в течение всего времени травления, которое может составлять 4 ч и более (в зависимости от материала и размеров обрабатываемой поверхности).

Травление происходит в камере для ионного фрезерования (рис.2). Сфокусированный электромагнитным полем пучок ионов аргона проходит через оптическую выравнивающую

решетку и бомбардирует подложку, установленную на вращающемся охлаждаемом основании. Нейтрализующая решетка предотвращает накопление положительного заряда на рабочем основании. В результате обеспечивается однородное удаление лишнего материала и ровные срезы без подтравы с нулевым подрезанием кромок (см. рис.1). Ионное фрезерование отличается точностью, полной идентичностью и повторяемостью процесса. Этот метод также универсален с точки зрения применяемых материалов.

Компания IBM проводит также все необходимые подготовительные процессы, в том числе нарезание пластин из полупроводниковых заготовок и иных материалов. Применяемый в компании программируемый полуавтомат для резки алмазными дисками Disco DAD321 оснащен микроскопом и видеокамерой, благодаря чему обеспечивается высокая точность резки. Устройство позволяет работать с заготовками диаметром до 150 мм и резать большинство материалов, используемых компанией в производстве, – стекло, оксиды бериллия, кварц, нитрид алюминия, корунд, арсенид галлия, высокочастотную керамику и т.д. Стандартная толщина пластины – 300 мкм, для некоторых материалов она может быть уменьшена до 50 мкм.

ПРОДУКЦИЯ КОМПАНИИ IBM

Вся продукция удовлетворяет требованиям военных стандартов, т.е. относится к классу Н. Индуктивности и аттенуаторы могут выпускаться и в космическом исполнении (класс К). Эти изделия сертифицируются в соответствии

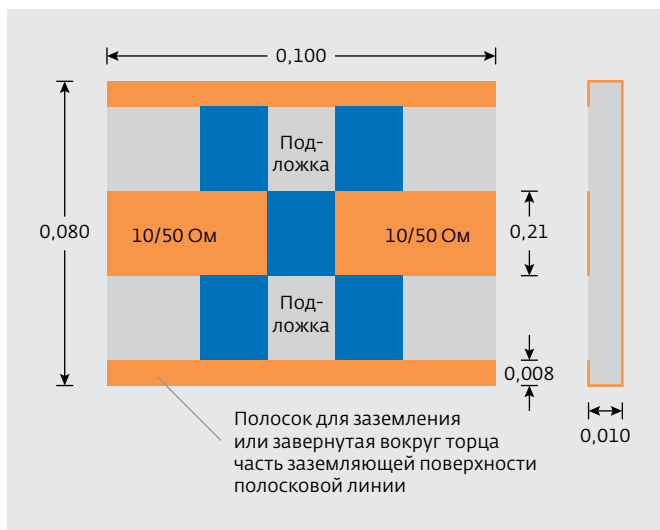


Рис.3. Аттенуатор

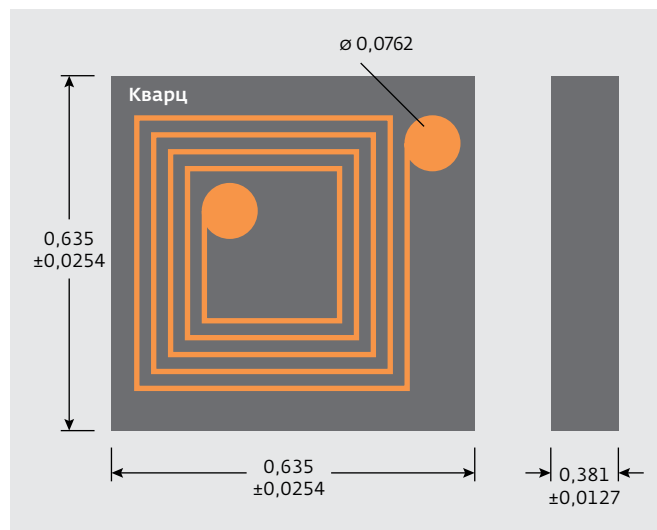


Рис.4. Интегральная спиральная индуктивность

Требования, предъявляемые к индуктивностям и аттенюаторам, выпускаемым в исполнении Space

Параметры	Испытания
Электрические параметры	Все изделия проходят проверку на соответствие характеристикам требованиям технического задания. Изделия, не прошедшие проверку, бракуются
Механические дефекты	Все изделия визуально проверяются на наличие дефектов по стандарту MIL-STD-883 по методу 2032. Изделия, не прошедшие проверку, бракуются
Физические размеры	Образцы из каждой партии проверяются по методу 2016 (MIL-STD-883) м на соответствие геометрических размеров (длина, ширина, толщина) требованиям технического задания. В случае несоответствия бракуется вся партия
Электрические параметры	Отдельные образцы из партии, прошедшей первоначальную проверку, снова проходят испытания. В случае несоответствия бракуется вся партия
Визуальная проверка	Проверку на наличие дефектов методом 2032 (MIL-STD-883) проходят изделия, выбранные случайно из партии, прошедшей первоначальную проверку. При наличии дефектов бракуется вся партия
Толщина проводящих слоев	Отдельные образцы из партии проверяются на соответствие толщины проводящего слоя требованиям технического задания. При любом несоответствии бракуется вся партия
Адгезия металлизации	Отдельные образцы из партии проверяются на качество адгезии проводников с поверхностью подложки. При любом нарушении адгезии бракуется вся партия
Оценка соединения проводников	Отдельные образцы из каждой партии в соответствии с методом 2011 (MIL-STD-883) проверяются посредством растяжения на отсутствие разрывов в местах металлизации. При наличии дефектов бракуется вся партия
Наличие сколов на краях образцов	Образцы, отобранные для оценки качества проводящих участков, тестируются в соответствии с методом 2019 (MIL-STD-883). При отклонениях от стандарта бракуется вся партия
Качество пайки	Проверяются отдельные образцы из каждой партии. Изделия, не прошедшие проверку, бракуются. Это испытание проводится по требованию заказчика, поскольку не все потребители используют соединение пайкой
Температурный коэффициент сопротивления (ТКС)	Отдельные образцы из каждой партии проходят проверку на то, чтобы их ТКС не выходил за пределы $\pm 10^{-4}$ в диапазоне температур от -55 до 125°C . При любом несоответствии бракуется вся партия. Это испытание проводится только для аттенюаторов, в которых наряду с проводящими имеются и резистивные слои, определяющие необходимое затухание

со стандартами MIL-STD-883 и MIL-PRF-38534 и проходят в процессе изготовления многочисленные испытания (см. таблицу). Количество тестируемых образцов и порядок их отбора при каждом испытании определяются стандартами.

Аттенюаторы и согласующие элементы класса К (Space Attenuators, рис.3). Компания IBM выпускает микрополосковые СВЧ-аттенюаторы в космическом исполнении с габаритами $2,5 \times 2 \times 0,25$ мм, погрешностью $0,05$ мм по длине и ширине и $0,01$ мм – по толщине. Производятся аттенюаторы с ослаблением сигнала в диапазоне $1-20$ дБ с шагом в 1 дБ с рабочими частотами $0-26,5$ ГГц. Неравномерность ослабления в диапазоне до 18 ГГц

не превышает $0,3$ дБ. КСВН в диапазоне до $12,4$ ГГц равен $1,20:1$, для частот $12,5-18,0$ ГГц – $1,30:1$, для

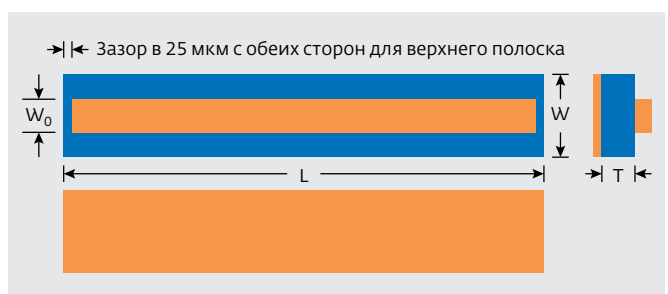


Рис.5. Микрополосковая передающая линия

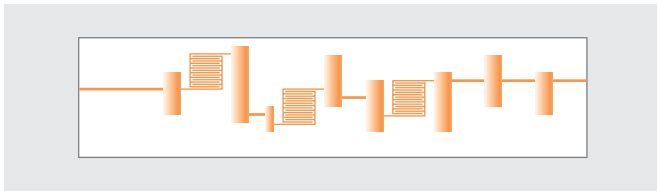


Рис.6. Микрополосковый фильтр

частот 18,1-26,5 ГГц – 1,40:1. Металлизация выполняется никелем, соединениями титана или тантала с покрытием из золота толщиной 120 мкм.

Спиральные индуктивности в интегральном исполнении класса К (Space Inductors, рис.4) для условий космоса изготовлены на основе кварца или корунда, что позволяет применять их для точной настройки и подстройки сверхвысокочастотных усилителей, переключателей и умножителей. Стандартные размеры индуктивностей – 0,635×0,635×0,381 мм. Они могут применяться на частотах до 18 ГГц. Толщина полосков и зазоров не превышает 10 мкм. Металлизация выполняется титаном, платиной или золотом с обеих сторон. В зависимости от номинала индуктивности они могут иметь от 1 до 20 витков.

Микрополосковые передающие линии на подложке из корунда (рис.5) для применения



Рис.7. Ответвитель Ланге

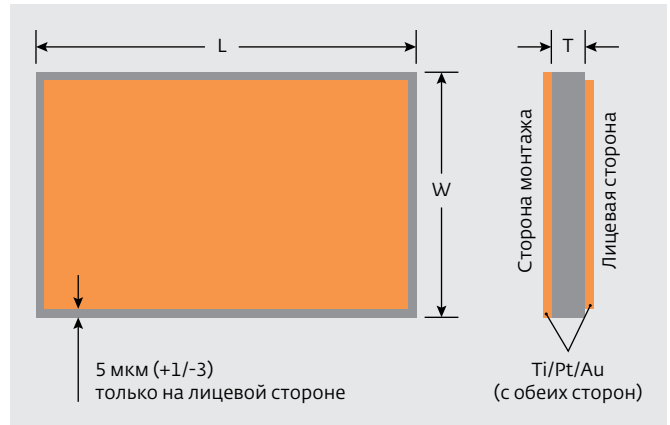


Рис.8. Однослойный конденсатор

в ВЧ- и СВЧ-устройствах с волновым сопротивлением 50 Ом. В зависимости от частоты ширина полоска составляет 0,118-0,635 мм, а толщина – 0,127-0,635 мм с погрешностью ±0,0254 мм. Полосковые линии выпускаются на рабочие частоты до 30 ГГц с потерями на прохождение 0,006-0,662 дБ в зависимости от частоты и толщины подложки.

Микрополосковые СВЧ-фильтры (рис.6) самого разного назначения – фильтры высокой и низкой частоты, полосовые пропускающие и заградительные фильтры, в том числе с исключительно узкими полосами пропускания или подавления. Технология ионного фрезерования позволяет получить ширину проводников и зазоров между ними менее 10 мкм, что обеспечивает исключительно высокую повторяемость характеристик этих фильтров.

Ответвители Ланге относятся к микроволновым устройствам общего назначения и могут применяться в самых разных СВЧ-устройствах – в усилителях, смесителях, модуляторах сигналов и т.д. В общем виде ответвители Ланге компании IBM представляют собой



Рис.9. Микрополосковый чип-резистор

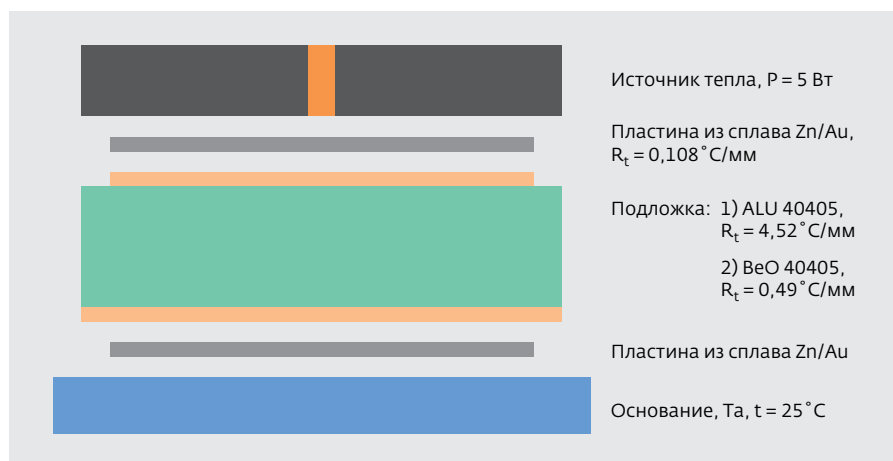


Рис.10. Теплораспределительная подложка

устройства с четырьмя портами (рис.7). В зависимости от конфигурации ответвитель может иметь от четырех до восьми внутренних конфигурирующих полосков. Ширина полосков и зазоров – не больше $10 \pm 1 \text{ мкм}$.

При производстве **однослойных конденсаторов** в качестве подложки применяются корунд чистотой 99,6%, оксид бериллия или нитрид алюминия толщиной 0,381, 0,25 или 0,127 мм с погрешностью $\pm 0,0127 \text{ мм}$. Двухсторонняя металлизация выполняется титаном, платиной или золотом. Резонансная частота последовательного контура для конденсаторов номиналом менее 1 пФ – более 30 ГГц, номиналом 1-2 пФ – более 22 ГГц. Напряжение пробоя – более 100 В. Все конденсаторы имеют на верхней поверхности зазор шириной 5 мкм для предотвращения спаивания при монтаже пайкой или затекания эпоксидной смолы при герметизации (рис.8).

Микрополосковые чип-резисторы в интегральном исполнении (рис.9) производятся как на малые, так и на большие мощности и имеют

низкий ТКС. В качестве резистивного материала применяется нитрид тантала, который пассивируется пентаксидом тантала, если предполагается работа резистора на открытом воздухе. Подложка изготавливается из нитрида алюминия или оксида бериллия, в особых случаях – из химического алмаза. Стандартный размер отдельного чип-резистора или резистивной сборки – $0,5 \times 0,5 \text{ мм}$.

Подложки для равномерного распределения тепла. Эта категория устройств компании IBM предназначена для эффективного отвода тепла от мощных полупроводниковых диодов, в том числе и лазерных. Вафельная конструкция подложек и применяемые материалы обеспечивают длительную работоспособность устройств на основе арсенида галлия или кремния, а также предотвращают преждевременный выход из строя полосковых линий из-за отслоения проводящего слоя и разрушения диэлектрика при перегреве (рис.10).

Для разработчиков СВЧ-изделий компания IBM выпускает инженерные наборы (Engineering Kits) аттенюаторов, спиральных индуктивностей и микрополосковых линий передачи. Набор аттенюаторов содержит 45 образцов с ослаблением от 1 до 20 дБ на кварцевой подложке толщиной 0,025 мм. Набор спиральных индуктивностей включает 50 образцов размером $0,064 \times 0,064 \times 0,038 \text{ мм}$ и пятью значениями индуктивности с 2,5, 3,5 и 4,5 витками. Наборы микрополосковых линий передачи выпускаются в семи вариантах с различными образцами. ●

Для разработчиков СВЧ-изделий компания IBM выпускает инженерные наборы (Engineering Kits) аттенюаторов, спиральных индуктивностей и микрополосковых линий передачи. Набор аттенюаторов содержит 45 образцов с ослаблением от 1 до 20 дБ на кварцевой подложке толщиной 0,025 мм. Набор спиральных индуктивностей включает 50 образцов размером $0,064 \times 0,064 \times 0,038 \text{ мм}$ и пятью значениями индуктивности с 2,5, 3,5 и 4,5 витками. Наборы микрополосковых линий передачи выпускаются в семи вариантах с различными образцами. ●