

ВАКУУМНОЕ ИОННО-ПЛАЗМЕННОЕ ТРАВЛЕНИЕ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ЭЛЕМЕНТОВ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

И.Е. Пименов, С.В. Сидорова

АННОТАЦИЯ

В работе приведены результаты исследований травления металлов методом ионно-плазменной обработки. Приведены результаты изготовления экспериментальных образцов частотных фильтров, полученных с использованием ионного травления. Приведены результаты исследования геометрических параметров полученной топологии.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ВАКУУМНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ИОННО-ПЛАЗМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ИОННОЕ ТРАВЛЕНИЕ, ФОРМИРОВАНИЕ ТОПОЛОГИИ

VACUUM ION-PLASMA ETCHING IN MICROELECTRONICS ELEMENTS FORMATION

I.E. Pimenov, S.V. Sidorova

ABSTRACT

The paper presents the results of metal etching studies by ion-plasma treatment. The results of frequency filters manufacturing experimental samples obtained using ion etching are presented. The results of the obtained topology the geometric parameters study are presented.

KEYWORDS

VACUUM TECHNOLOGIES, ION-PLASMA TECHNOLOGIES, ION ETCHING, TOPOLOGY FORMATION

ВВЕДЕНИЕ

Скачок в развитии микроэлектроники и удешевление технологий изготовления привели к тому, что без нее не обходится ни одна сфера жизни. Промышленность, медицина, транспорт и даже бытовые приборы, все они укомплектованы рядом микроэлектронных систем. Но каждая из сфер использует информацию и нуждается в обмене ею с другими устройствами. Поэтому системы связи являются необходимыми во всех сферах применения микроэлектроники. Большой поток и объем информации не позволяют использовать для обмена проводное соединение, поэтому наиболее актуальными являются беспроводные каналы связи, позволяющие быстро передавать информацию вне зависимости от расположения объекта в пространстве. Передача сигналов происходит с помощью ВЧ и СВЧ, однако тенденции ежегодного увеличения объема передаваемой информации приводят к расширению диапазона волн свыше 1 ГГц. Ярким примером перехода на сверхвысокие частоты является пятое поколение сетей мобильной связи, диапазон испытываемых частот которых составляет от 800 мГц до 71 ГГц.

Для приема и передачи сигнала используются различные устройства и системы, однако все они представляют собой комплекс устройств, состоящих из антенн, усилителей, смесителей, дуплексеров, фильтров и иных элементов. Одним из важнейших

И.Е. Пименов, С.В. Сидорова Вакуумное ионно-плазменное травление при формировании элементов микроэлектроники [Электронный ресурс] // Вестник РВО. – 2023. – № 2 (30.09.2023). – Режим доступа: <https://www.vestnik-rvo.ru/ru/issues/2023-01/5802/>

является фильтр частот, так как передача информации происходит одновременно между множеством устройств, ее необходимо разделять на каналы – частотные полосы. Именно фильтры частот выполняют частотно-селективную функцию, выделяя из общего потока радиоволн только волны с определенной частотой [1, 2].

Одновременная передача информации по нескольким каналам требует от приемо-передающего оборудования наличия комплекта фильтров. Таким образом, увеличение количества каналов связи приводит к укрупнению и усложнению конструкции базовых станций. Поэтому важной задачей становится миниатюризация и удешевление элементов систем передачи информации посредством радиоволн [3–5].

Технология изготовления микроэлектронных компонентов с применением ионно-плазменной обработки позволит уменьшить габаритные размеры в 2–4 раза по сравнению с аналогами, а также даст возможность формировать несколько элементов радиочастотного тракта на одной подложке за один цикл, что снизит стоимость изготовления и потери уровня сигнала. Особенно важной задачей при изготовлении является сохранение геометрических размеров топологии при травлении слоя проводника [6].

Целью данной работы является исследование процесса ионно-плазменного травления в вакууме слоев металлов для формирования топологии частотного полосно-пропускного фильтра (ЧППФ).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОПОЛОГИИ ЧППФ

Одной из наиболее актуальных сфер применения фильтров является мобильная связь. Современным поколением связи являются сети пятого поколения, поэтому для моделирования топологии фильтра была выбрана одна из полос пропускания. Моделирование проводилось в программном пакете «iFilter design» системы автоматизированного проектирования AWR Design Environment. Была задана полоса пропускания от 4400 ГГц до 5000 ГГц с вносимым ослаблением 30 дБ, что соответствует 79-й полосе пропускания сетей пятого поколения.

По результатам проектирования получены геометрические параметры, которым должна соответствовать топология фильтра. Размеры элементов топологии приведены на рис. 1. Варьирование параметрами геометрических размеров элементов топологии показало, что изменение более чем на 10 % изменяет характеристики полосы пропускания, что является недопустимым.

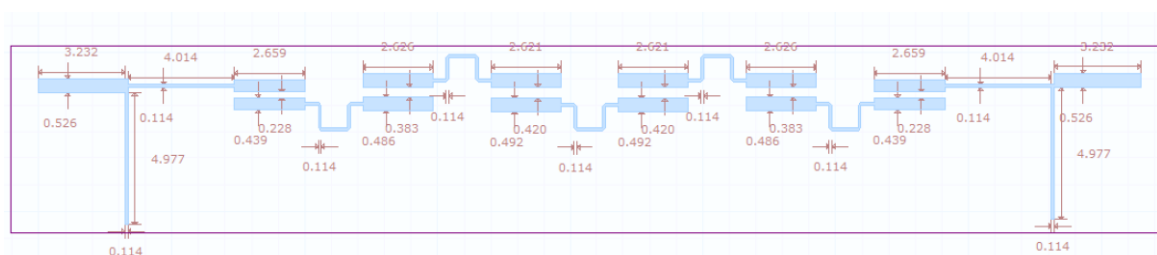


Рис. 1. Размеры элементов топологии

Топология представляет собой зеркальную структуру состоящую из резонаторов, проводящих линий и шунтирующих заглушек. Ширина проводящих линий и шунтирующих заглушек должна составлять 114 мкм, а ширина резонаторов 439, 486 и 492 мкм с зазором между ними 228, 383 и 420 мкм соответственно.

ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ЧППФ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИОННО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ В ВАКУУМЕ

В качестве материала подложки для формирования топологии был выбран ситалл СТ-50, так как он имеет высокую диэлектрическую проницаемость ($\epsilon_0 = 9,7$) и низкий тангенс угла диэлектрических потерь ($1 \cdot 10^{-4}$) [7].

Проводящий материал фильтров должен обладать малым сопротивлением, поэтому для изготовления фильтров используют золото, серебро, медь, алюминий. Так как предполагается массовое применение фильтров, то наиболее подходящим материалом является медь, из-за низкой стоимости относительно благородных металлов, хорошей спаиваемости и химических свойств, подходящих для процесса фотолитографии.

Для формирования слоев металлизации был выбран метод магнетронного распыления, так как в отличие от термического испарения или электронного лучевого испарения этот метод позволяет обеспечить лучшую равномерность за счет возможности точно контролировать скорость осаждения плотность тока и плазмы. Формирование проводящего слоя осуществлялось на магнетроне с 2'' медной мишенью при давлении 0,35 Па, с потоком аргона 30 сссм, мощность ВЧ-блока питания составляла 150 Вт, время распыления – 1230 с (результат обработки скоростей нанесения [8]).

Для травления металлизации микрорезистивных компонентов применяются 2 метода: ионно-плазменное (рис. 2, а) и жидкостное травление (рис. 2, б). Жидкостное травление характеризуется высокой скоростью, однако при этом неизбежен боковой подтрав, что приводит к искажению топологии, также для травления каждого материала требуется индивидуальный травитель. Метод ионно-плазменной обработки характеризуется возможностью одновременно травить разнородные материалы, контролировать плотность ионного тока, скорость травления и минимизировать боковой подтрав за счет точной фокусировки столба плазмы.

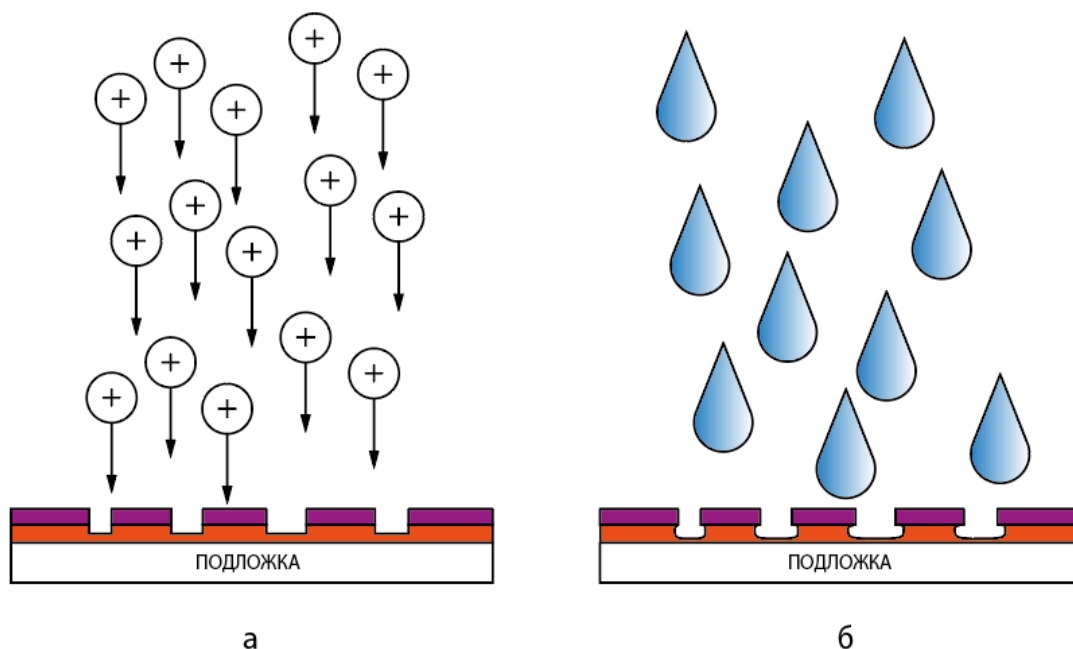


Рис. 2. Схемы ионно-плазменного (а) и жидкостного (б) травления

Для сравнения методов травления были проведены базовые эксперименты. Жидкостное травление проводилось в 2 %-ном растворе NaOH при температуре раствора 50 °С в течение 120 с. Эксперименты показали сильное искажение топологии фильтра с превышением заданных размеров на 50...300%. Ионно-плазменное травление проводилось в среде аргона методом ионно-лучевой обработки с потоком 2 ссм, при давлении 0,07 Па, напряжение на блоке питания составляло 1,8 кВ, а ток 30 мА. Отклонение размеров топологии составило менее 10 %.

С учетом результатов базовых экспериментов был разработан технологический маршрут формирования устройства микроэлектроники на примере фильтра частот (рис. 3).

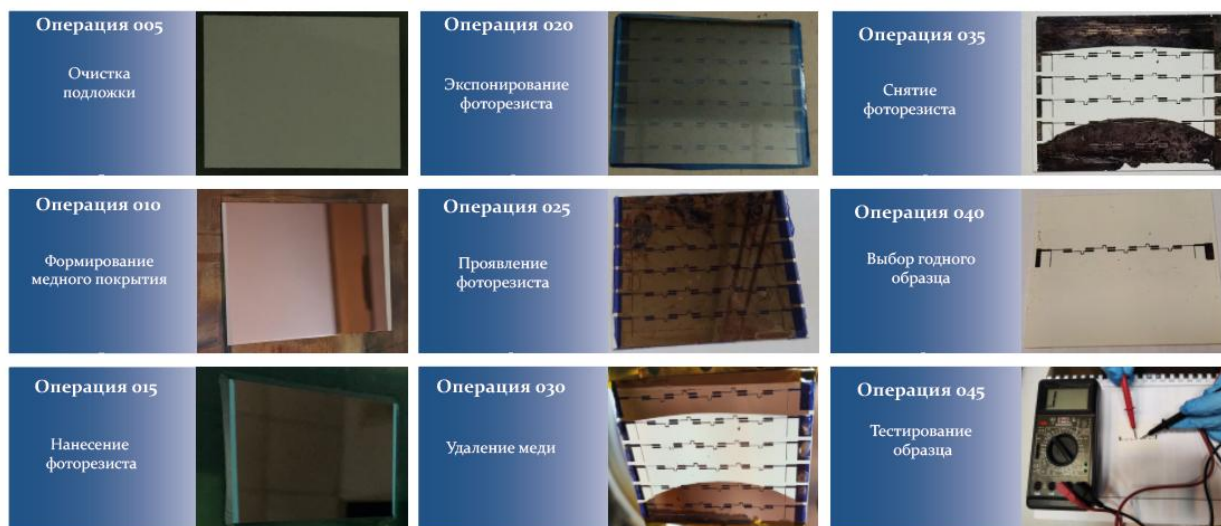


Рис. 3. Технология изготовления ЧППФ

Первым этапом является чистка подложек в ультразвуковой ванне с применением спирта, щелочных растворов для удаления загрязнений с поверхности. Второй этап подготовки подложек – обработка источником ионов в течение 10 минут в среде аргона с потоком 2,4 ссм, при давлении 0,07 Па, напряжение на блоке питания составляло 1,8 кВ, а ток 30 мА. Данная обработка позволяет удалить оставшиеся загрязнения и абсорбированные атомы газа с приповерхностных слоев, что повышает адгезионные свойства поверхности. В одном вакуумном цикле с обработкой источником ионов, проводилось формирование проводящего слоя меди толщиной 1,3 мкм методом магнетронного распыления.

Для формирования топологии на поверхности металлизированной подложки была произведена процедура фотолитографии с помощью, которой пленочным фоторезистом были защищены участки покрытия, неподлежащие травлению. После подготовки фоторезистивной маски подложки подвергались ионному травлению в течение 4 часов. После этого слой меди, не защищенный фоторезистом, был полностью удален. Заключительным этапом является удаление фоторезиста в 5 %-ном растворе NaOH.

ОЦЕНКА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТОПОЛОГИИ ЧППФ, ПОЛУЧЕННЫХ ИОННЫМ ТРАВЛЕНИЕМ

Полученные образцы фильтров необходимо проверить на соответствие заданным геометрическим характеристикам. Для измерения топологии были выбраны несколько элементов, указанных на рис. 4: шунтирующая заглушка (А), проводящая линия (Б) и резонатор (В). Измерения проводились на контактном профилометре TR 210.

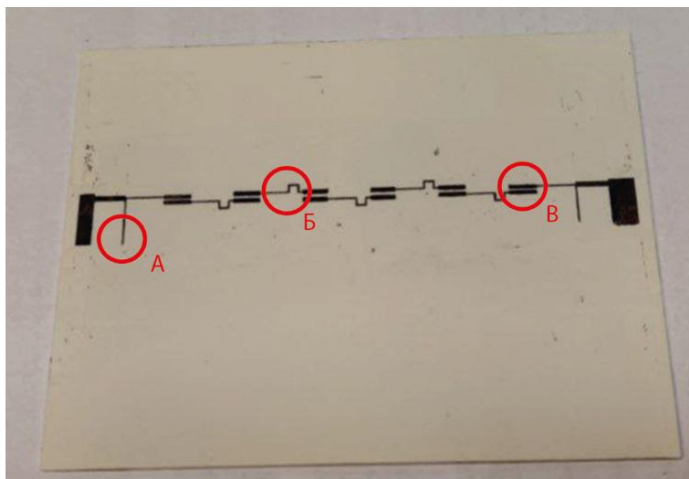


Рис. 4. Области оценки геометрических параметров топологии ЧППФ

Измерения показали отклонение заданной толщины в пределах 5 %, а отклонение геометрических параметров менее 10 %.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведенный анализ показал, что планарные технологии с применением методов ионно-плазменной обработки позволяют решить задачу миниатюризации и уплотнения компонентов микроэлектроники.

Проведен анализ методов ионно-плазменной обработки. Для изготовления образцов были выбраны методы магнетронного распыления и ионного травления, обеспечивающие наибольшую равномерность толщины металлизации и точность топологии.

Разработан технологический процесс создания планарных компонентов микроэлектроники методами ионно-плазменной обработки: магнетронным распылением и ионным травлением.

Применение ионного травления позволило получить неискаженные геометрические параметры топологии, в отличие от жидкостных методов травления, при которых неизбежно появление бокового подтравы.

Исследования структуры на профилометре показали, что отклонения толщины от заданных по итогам моделирования значений составляют менее 5 %, отклонения геометрических параметров менее 10 %, что является допустимым для экспериментальных образцов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате работы было проведено исследование процесса ионно-плазменного травления металлов в вакууме на примере топологии полоснопропускного фильтра частот. С применением данного типа травления были получены образцы по экспериментально подобранным режимам. Исследования топологии фильтров проведены на профилометре.

В дальнейшем планируется проведение моделирования процесса ионно-плазменного травления, а также исследование характеристик плазмы и их влияние на морфологию травящегося слоя металла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беляев Б. А., Ходенков С. А., Шабанов В. Ф. Исследование частотно-селективных устройств, построенных на основе микрополоскового двумерного фотонного кристалла // Доклады Академии наук. – Федеральное государственное бюджетное учреждение "Российская академия наук", 2016. – Т. 467. – №. 4. – С. 400-400.
2. Элементы СВЧ-цепей // (https://wl.unn.ru/study/courses/EIDyn_G&M/PDF/Part3.pdf)
Просмотрено: 21.12.2021.
3. Фильтры СВЧ: [электронный ресурс]. URL: <https://www.radiolab.ru/forcable/filters.htm>
(Дата обращения: 25.03.2022).
4. Разработка СВЧ-фильтра на дискретных элементах и микрополоскового СВЧ-фильтра – Руководство с демонстрационными примерами: [электронный ресурс]. URL: <https://www.keysight.com/ru/ru/assets/7018-05293/technical-overviews/5992-1624.pdf>
5. А. А. Данилин. Методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине “Измерения на СВЧ”. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2021. 26 с.
6. Фильтры ВЧ/СВЧ и устройства на их основе. Каталог продукции: [электронный ресурс]. URL: http://filin-rf.ru/_content/brochure/radiocomp_filters_catalog.pdf (Дата обращения: 25.04.2022).
7. Подложки: [электронный ресурс]. URL: <https://www.polikor.net/katalog/podlozhki.html>
(Дата обращения: 25.03.2022).
8. Пименов И.Е., Купцов А.Д., Сидорова С.В. Исследование технологии создания частотного фильтра // XV Всероссийской конференции молодых учёных и специалистов (с международным участием) «Будущее машиностроения России»: [электронный ресурс]. – 2022. – URL: <https://bmr.bmstu.press/preprints/3529/> (дата обращения: 28.01.2023)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Пименов Илья Евгеньевич – магистр 2-го года. МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, e-mail: ilyapimenov2004@gmail.com

Сидорова Светлана Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры (ORCID: 0000-0002-3002-1246). МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, e-mail: sidorova_bmstu@mail.ru