## УДК 538.975

## ИОННО-ПЛАЗМЕННЫЕ МЕТОДЫ В ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПЛАНАРНЫХ ЧАСТОТНЫХ ФИЛЬТРОВ

Илья Евгеньевич Пименов  $^{(1)}$ , Алексей Дмитриевич Купцов  $^{(2)}$ , Андрей Михайлович Руденко  $^{(3)}$ ,

Магистр 2 года <sup>(1)</sup>, аспирант 1 года <sup>(2)</sup>, студент 3 курса <sup>(3)</sup>, кафедра "Электронные технологии в машиностроении" Московский государственный технический университет

Научный руководитель: С.В. Сидорова, кандидат технических наук, доцент кафедры "Электронные технологии в машиностроении"

Связь и передача информации являются неотъемлемой частью современного общества. Объемы передачи информации растут с каждым годом. Для удовлетворения спроса необходимо постоянное развитие и совершенствование средств телекоммуникации. Для решения данных задач используется высокочастотная электроника, посредством которой на определённой частоте производится передача сигнала, однако есть ограничение по скорости передачи сигнала, именно по этому число частотных канало все время увеличивается. Но для перехода на частоты свыше 1ГГЦ требуется кардинально новое оборудование. Для разделения сигнала на отдельные каналы используются частотные фильтры, которые выделяют из всего спектра волн именно те, на которых происходит передача данных [1–3].

Частотные фильтры прошли несколько поколений развития и наиболее современным является использование планарных фильтров, представляющих из себя плоскую структуру из проводников – микрополосков. Но актуальной задаче й является технология получения таких структур, так как необходима высокая чистота материала проводников и малая их толщина.

Целью работы является отработка режимов ионно-плазменных методов при формировании топологии микрополосковых частотных фильтров.

Для решения задач получения микрополосковых фильтров была предложена и апробирована технология изготовления с применением ионно-плазменной обработки. Осаждение материала проводится метом магнетронного распыления в вакууме, что позволяет получать покрытия с толщиной от 50 нм с высокой чистотой. Травление образцов и очистка подложек образцов в едином вакуумном цикле с помощью ионного источника позволяет контролируемо обрабатывать поверхности из любого материала, не допуская вторичного загрязнения.

Одной из наиболее актуальных сфер применения фильтров является мобильная связь. Поэтому была выбрана полоса пропускания n79, для которой проведено моделирование в программном пакете iFilter design системы автоматизированного проектирования AWR Design Environment. По результатам проектирования получены геометрические параметры, которым должна соответствовать топология фильтра (рисунок 1).

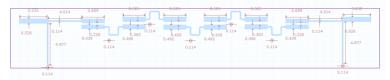


Рисунок 1. Размеры элементов топологии

С учетом заданных характеристик была разработана технология формирования топологии, состоящая из следующих этапов: ионно-плазменная обработка подложки для повышения адгезионных свойств, магнетронное осаждение проводящего медного слоя, формирование фоторезистивной маски, ионное травление меди через окна фоторезистивной маски и жидкостное удаление фоторезистивной маски.

Формирование фильтра и исследования проводились на вакуумной установке MBTУ-11-1MC, оснащенной безмасляной откачной системой на основе турбомолекулярного и спирального насосов, системой подачи рабочих газов (Ar,  $N_2$ ,  $O_2$ ), источником ионов и модулем магнетронного распыления, позволяющими проводить несколько этапов обработки подложек в одном вакуумном цикле.

На данном этапе были получены опытные образцы фильтров. Проведенный анализ полученной топологии фильтра показал, что толщина покрытия неравномерна (отклонение до 50%), однако геометрические параметры топологии отличаются от требуемых не более чем на 10%. Для получения более равномерного покрытия были проведены эксперименты и отработаны режимы, при которых достигается высокая равномерность покрытий с отклонением не более 5% от заданной. Такие характеристики достигнуты при следующих параметрах: давление в камере  $2 \cdot 10^{-3}$  Па, мощности высокочастотного блока питания 75 Вт, расстояние до подложки 80 мм и потоке рабочего газа 30 sccm.

Проведенные исследования показали применимость технологии магнетронного распыления и ионного травления для получения микрополосковых фильтров на основе тонкопленочного проводящего слоя высокой чистоты. Исследования топологии позволили определить характеристики образца. Сравнение размерных характеристик топологии образца с требуемыми позволило выявить проблему равномерности осаждаемого покрытия.

В дальнейшем будет проведена серия экспериментов по получению топологии с отработанными режимами магнетронного распыления. Определение характеристик фильтра позволит сделать заключительные выводы о применимости предложенной технологии для изготовления микрополосковых фильтров с заданными характеристиками.

## Литература

- 1. 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)
- 2. *Пименов И.Е.* Разработка технологии создания планарного частотного фильтра для систем телекоммуникации // Сборник тезисов докладов региональной научно-технической конференции «Молодежь Зауралья III тысячелетию». 2022. с. 12-14.
- 3. *А. А. Данилин*. Методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Измерения на СВЧ». СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2021. 26 с.