

# **ИОННО-ПЛАЗМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕМЕНТОВ СВЯЗИ И ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ**

А.М. Руденко, С.В. Сидорова

## **АННОТАЦИЯ**

Работа посвящена изучению процесса нанесения слоя металлизации на подложки для создания радиопередающих компонентов. Основными методами реализации являются ионное травление и магнетронное распыление. В ходе исследований были получены математические зависимости толщин слоев металлизации и травленных слоев от технологических режимов. Данные исследования выполнены на вакуумной установке МВТУ11-1МС. Топология будущего передающего устройства формируется через шаблон с размерами в доли микрометра. Перспективами развития являются создание полноценного радиопередающего устройства на микрополосковых компонентах.

## **КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА**

ЭЛИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ИОННОПЛАЗМЕННЫЕ МЕТОДЫ, МАГНЕТРОННОЕ РАСПЫЛЕНИЕ

## **ION-PLASMA TECHNOLOGIES IN COMMUNICATION AND INFORMATION TRANSMISSION ELEMENTS PRODUCTION**

A.M. Rudenko, S.V. Sidorova

## **ABSTRACT**

The work is devoted to the study of the process of applying a metallization layer to substrates to create radio transmitting components. The main methods of implementation are ion etching and magnetron sputtering. In the course of the research, mathematical dependences of the thicknesses of the metallization layers and the etched layers on the technological modes were obtained. These studies were performed on a vacuum installation MVTU11-1MS. The topology of the future transmitting device is formed through a template with dimensions in fractions of a micrometer. The prospects for development are the creation of a full-fledged radio transmitting device based on microstrip components.

## **KEYWORDS**

ION TECHNOLOGIES, ION PLASMA METHODS, MAGNETRON SPUTTERING

## **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время актуальными сферами развития являются средства связи и передачи информации. Объемы передаваемой и получаемой информации растут с геометрической прогрессией. Чтобы решить данную проблему, необходимо улучшать и развивать производство отрасли радиопередающих устройств.

Для решения такой потребности используется сверхвысокочастотная электроника, которая может работать в широкой полосе частот, при этом имея малые габариты и вес. Основными типовыми устройствами являются микрополосковые платы, которые могут создаваться с помощью элионных технологий.

Одним из главных компонентов такой микрополосковой платы является слой металлизации, который формирует топологию всего устройства. Для получения

топологии возможно применение методов ионного травления (ИТ) и магнетронного распыления (МР).

Целью работы является отработка режимов ионно-плазменных процессов при формировании топологии микрополосковых устройств связи и передачи информации.

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Для получения топологии микрополоскового устройства – антенны – было проведено моделирование в программе AWR Design Environment. Для получения топологии необходимо было определиться с её формой (самая простая в виде прямоугольника или диполя), далее выбирается актуальная частота пропускания антенны. Подходящей частотой является 2,4 ГГц, которая используется практически в любом современном устройстве.

Полученные в результате моделирования размеры полосков антенны находятся в диапазоне от 450 до 350 нм. Толщины слоев топологии необходимо выдержать в допуске около 40 нм.

Процесс формирования слоя металлизации был реализован на установке MBTU11-1МС (МГТУ им. Н.Э. Баумана) методом магнетронного распыления в вакууме, что позволит получить покрытия высокой чистоты с толщиной от 200 нм и повысить точность получения математической регрессии, которая в дальнейшем позволит быстро и с высокой точностью подбирать требуемые режимы распыления металлов [1-2].

Предварительная обработка покрытия (удаление поверхностных загрязнений) и травление слоя металлизации (получение необходимой глубины травления) проводились ионно-плазменными методами. Использование «сухого» ионного травления имеет ряд преимуществ: повышение адгезии металлизации и качества протравленного слоя.

Для измерения выходного параметра (толщины) использовался прибор профилометр, который может определить высоту слоя металлизации с погрешностью около 2 процентов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для возможности прогнозирования и упрощения производства микрополоскового устройства были получены математические регрессии, которые проверены на воспроизводимость по критерию Кохрена и адекватность по критерию Фишера.

В качестве метода исследования процесса выбран полный факторный эксперимент (ПФЭ). В этом случае учитывается влияние на функцию отклика исследуемого процесса не только каждого рассматриваемого в эксперименте фактора в отдельности, но и их взаимодействий. Для обеих моделей рассматриваем гипотезу линейной зависимости выходного фактора от режимов технологического процесса.

Магнетронное распыление зависит в первую очередь от мощности на блоке источника, а другим не маловажным фактором является время. Диапазон варьирования этих факторов, следующий: для мощности от 60 Вт до 100 Вт и для времени осаждения от 30 до 50 минут.

Таблица 1

Матрица планирования ПФЭ для МР

№	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_1X_2$	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$\bar{Y}_i$	$S_i^2$
1	+1	-1	-1	+1	0,474	0,472	0,540	0,496	0,001497

2	+1	+1	-1	-1	1,119	0,960	1,013	1,031	0,006554
3	+1	-1	+1	-1	0,573	0,463	0,781	0,606	0,0261
4	+1	+1	+1	+1	1,635	1,368	1,197	1,400	0,0487

Для ионного травления важными факторами является сила тока на блоке ионного источника и время травления слоя металлизации. Диапазон варьирования этих факторов, следующий: для силы тока от 0,2 до 0,3 мА и для времени травления от 5 до 15 минут.

Таблица 2

Матрица планирования ПФЭ для ИТ

№	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	$\bar{Y}_i$	S <sub>i</sub> <sup>2</sup>
1	+1	-1	-1	+1	0,12	0,15	0,14	0,1366	0,00023333
2	+1	+1	-1	-1	0,20	0,23	0,24	0,2233	0,00043333
3	+1	-1	+1	-1	0,29	0,32	0,28	0,2966	0,00043333
4	+1	+1	+1	+1	0,36	0,39	0,38	0,3766	0,00023333

Обработка данных режимов позволила получить математические регрессии: для ионного источника (1) в зависимости от двух параметров (времени и тока ионного источника) и для магнетронного распыления (2) в зависимости от двух параметров (времени и мощности магнетронного блока распыления).

$$Y_{ИТ} = 0,26 + 0,08x_1, \quad (1)$$

где  $x_1$  – время травления, б/р.

$$Y_{МР} = 0,88 + 0,33x_1 + 0,12x_2, \quad (2)$$

где  $x_1$  – время осаждения, б/р,  $x_2$  – мощность блока питания, б/р.

Анализ полученной модели ионного травления (1) показал, что ток ионного источника в выбранном диапазоне варьирования (0,20–0,30 мА) не оказывает существенного влияния на толщину стравленного слоя. А время травления влияет на толщину стравленного слоя меди. Значение стравленной толщины слоя меди уменьшается, если увеличить время травления, что не противоречит логике эксперимента. Выявлено, что незначимым является эффект взаимодействия варьлируемых факторов.



Рис. 1. Образцы после процесса ИТ



Рис. 2. Образцы после процесса МР

Анализ полученной модели магнетронного распыления (2) показал, что окончательный вид модели адекватен и полностью воспроизводим. Присутствует линейная зависимость от двух входных параметров.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе проведены полный факторный эксперимент влияния тока ионного источника и времени травления тонких пленок меди на ситалле и полный факторный эксперимент влияния времени магнетронного распыления и мощности магнетрона на толщину тонких медных пленок.

В дальнейшей работе планируется получение топологии элементов электроники по отработанным режимам ионного травления и магнетронного распыления и сопоставление моделей с экспериментальными данными.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пименов И. Е., Купцов А. Д., Руденко А. М. Ионно-плазменные методы в технологии производства планарных частотных фильтров. [Электронный ресурс] // Всероссийская научно-техническая конференция «Студенческая научная весна: Машиностроительные технологии»: материалы конференции, 3 – 7 апреля, 2023, Москва, МГТУ им.

- Н.Э.Баумана. – М.: ООО «КванторФорм», 2023.– URL:  
studvesna.ru?go=articles&id=3775 (дата обращения: 24.02.2024)
2. Руденко А. М., Купцов А. Д., Сидорова С. В. Ионное травление в технологии формирования топологии изделий электроники // 15-я Международная научно-техническая конференция «Наукоемкие технологии в машиностроении», 3 – 7 октябрь, 2023, Москва, МГТУ им. Н.Э.Баумана.

#### **СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ**

Руденко Андрей Михайлович – студент 4 курса МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва. e-mail: [syg26mail.ru@gmail.com](mailto:syg26mail.ru@gmail.com)

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