

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра материаловедения, технологии
и управления качеством

**ПРОТОТИПИРОВАНИЕ СВЧ-КОМПОНЕНТ С ПОМОЩЬЮ
АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 4091 группы
направления 22.03.01 «Материаловедения и технологии материалов»,
профиль «Нанотехнологии, диагностика и синтез современных материалов»
института физики

Назаренко Александра Александровича

Научный руководитель,
доцент, к.ф.-м.н., доцент

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

А.А. Сердобинцев

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой,
д.ф.-м.н., профессор

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

С.Б. Вениг

инициалы, фамилия

Введение. В данный момент происходит быстрое развитие производства, применение автоматизированных машин и применение безлюдной технологии печати.

Целью выпускной квалификационной работы является создание СВЧ-компонентов при помощи аддитивных технологий и сравнение их с металлическими аналогами.

На основе поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- реализовать СВЧ-компоненты с помощью 3Д печати;
- магнетронное напыление СВЧ-компонентов;
- сравнить их с аналогами из металлов;
- провести проверку при помощи волновода в п-канале при различной мощности.

Выпускная квалификационная работа занимает 41 страницу, имеет 29 рисунков и 1 таблицу.

Обзор составлен по 21 информационному источнику.

Во введение рассматривается актуальность работы представляет собой разработку простых и доступных прототипов СВЧ-компонентов, целью выпускной квалификационной работы была разработка методики быстрого прототипирования СВЧ-компонентов и выдвигаются следующие задачи для достижения поставленной цели:

- 1) создать компьютерные трёхмерные модели СВЧ-компонент;
- 2) произвести моделирование прохождения СВЧ сигнала с использованием созданных трёхмерных моделей;
- 3) реализовать СВЧ-компоненты с помощью трёхмерной печати;
- 4) произвести магнетронное напыление медного проводящего покрытия на напечатанные СВЧ-компоненты.

Первый раздел представляет собой литературный обзор.

Во втором разделе работы прототипирование СВЧ-компонента, печать при помощи трёхмерной печати на 3Д принтерах, магнетронное напыление

медного проводящего покрытия на напечатанные волноводы и поворот и сравнение их с аналогичными СВЧ-компонентами из металлов.

Основное содержание работы

Для моделирования использовалась программа FreeCAD версии 0.21.1, а также программа Autodesk Fusion 360.

В ходе обдумывания, какие волноводы будут спроектированы, было решено создать волноводы в канале 11×5.5 мм и 16×8 мм вместе с фланцами и поворот в п-канале. Также было принято решение о создании волновода из двух половин скреплённых вместе винтами.

При создании волноводов нужно учитывать крепления, которыми волновод будет соединяться с другим креплением. Для этого при помощи [1] нашли обозначения фланцев в канале 11×5.5 и 16×8 (рисунки 1, 2).

На рисунках 3 и 4 представлены два волновода разных каналов. На рисунках 5 и 6 показан волновод в п-канале.

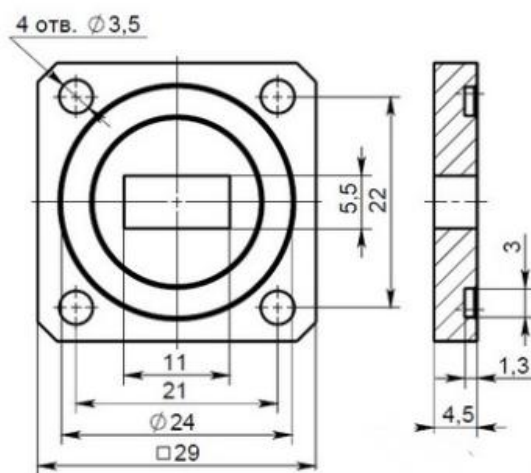


Рисунок 1 – Чертёж фланца в канале 11×5.5

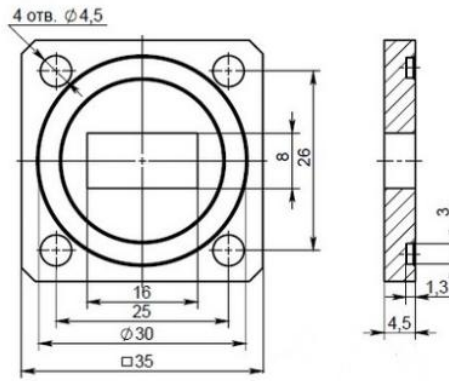


Рисунок 2 – Чертёж фланца в канале 16×8

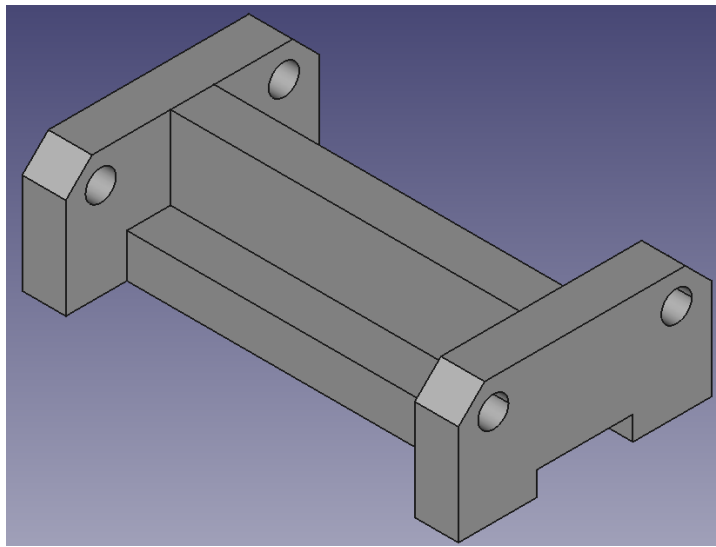


Рисунок 3 – Половина волновода с каналом 11×5,5

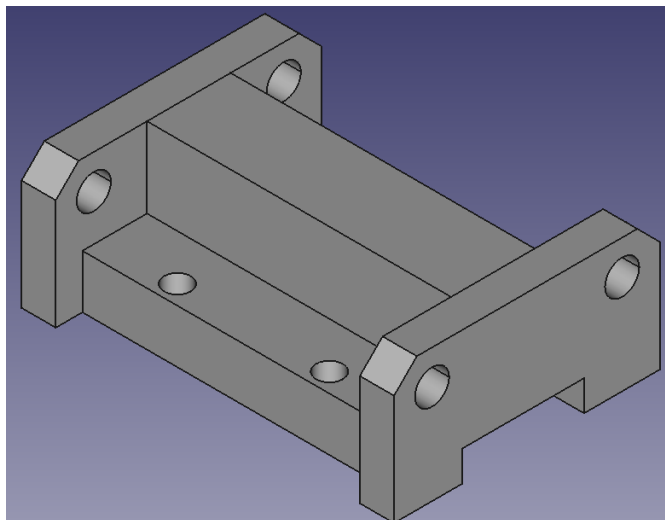


Рисунок 4 – Половина волновода с каналом 16×8

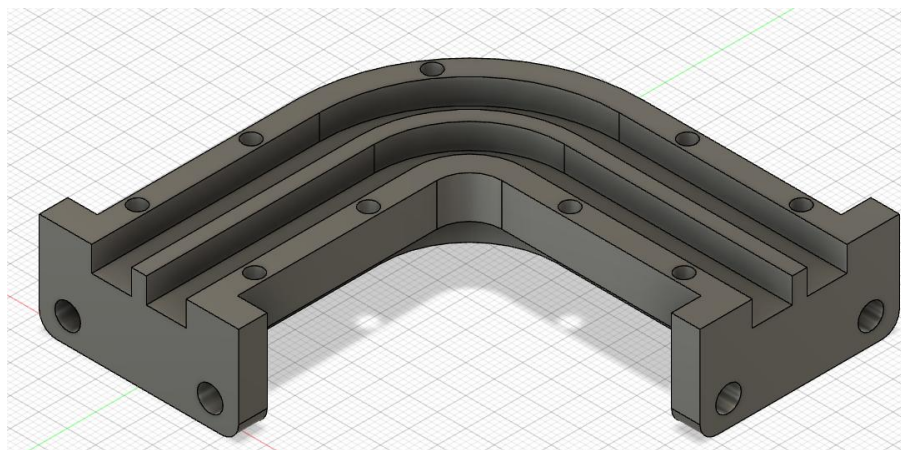


Рисунок 5 – Волновод в п-канале. Часть с каналом

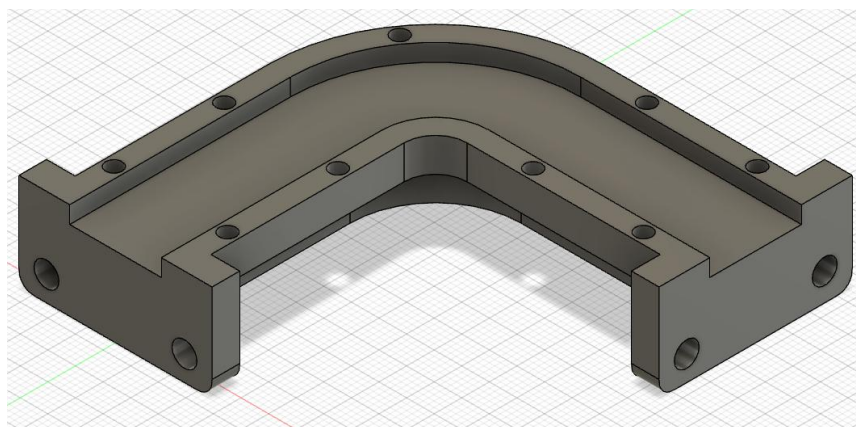


Рисунок 6 – Волновод в п-канале. Крышка

После моделирования при помощи программ Cura для принтера HERCULES 2018 и Asiga Composer для принтера phrozen SONIC MINI 4k настроили параметры печати.

На рисунке 7 показано то, как будут печататься волноводы.

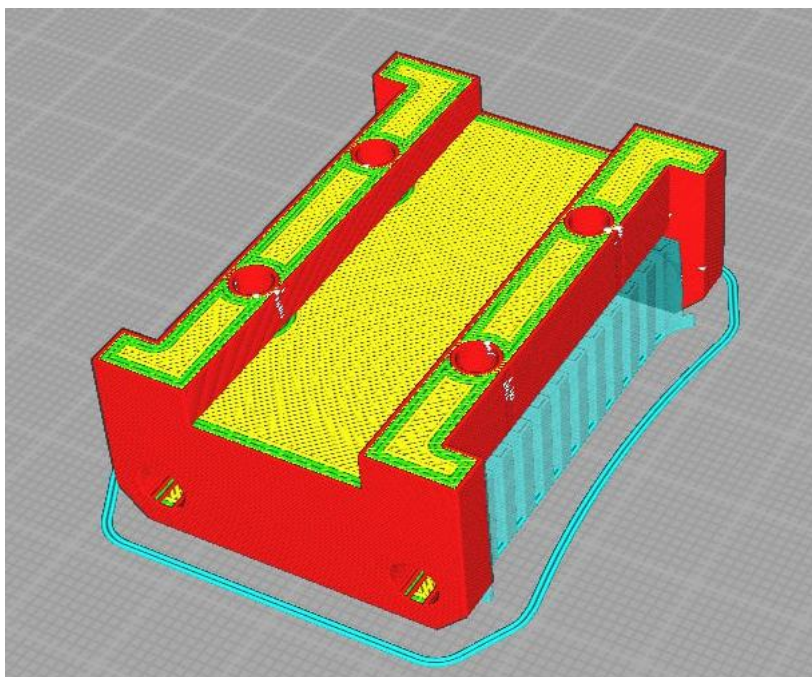


Рисунок 7 – Вид половины волновода в программе Asiga Composer

На начальном этапе печать волноводов производилась на принтере HERCULES 2018 (рисунок 8). Это принтер для печати методом послойного наплавления (fused deposition modeling, FDM).

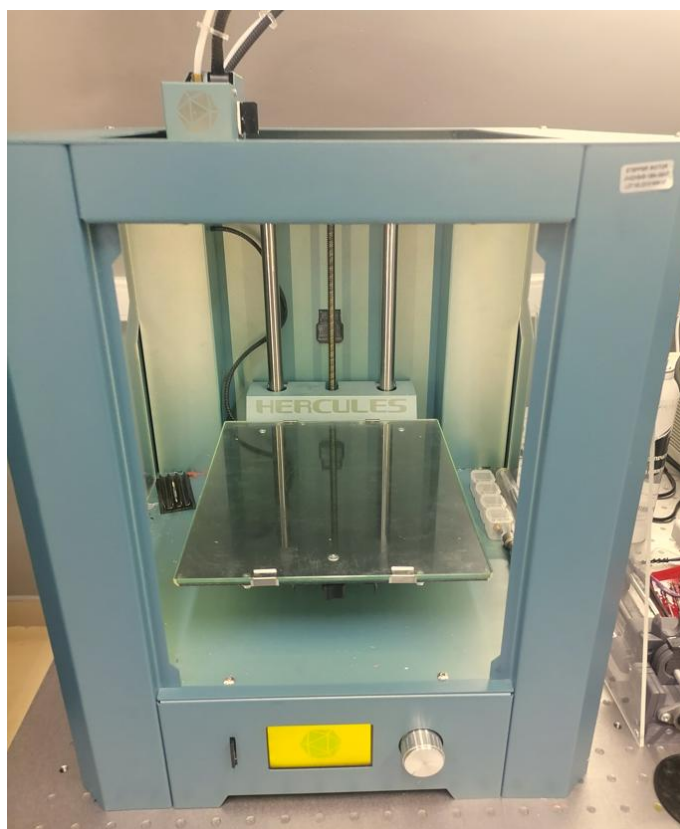


Рисунок 8 – Принтер HERCULES 2018

За счёт этого принтера были напечатаны два волновода: один в канале $11 \times 5,5$, другой в канале 16×8 .

Также были печатаны ещё два волновода в канале 16×8 , но на другом принтере phrozen SONIC MINI 4k, который показан на рисунке 9.



Рисунок 9 – Принтер phrozen SONIC MINI 4k

Принтер на рисунке 8 печатает из пластика HIPS.

Принтер на рисунке 9 печатает из жидкого пластика phrozen TR250 LV.

После печати на принтерах идёт процесс напыления. Для этого воспользовавшись сайтом [2] рассчитали толщину скин-слоя, который для волновода в канале $11 \times 5,5$ равен $0,5$ мкм, а для волновода в канале 16×8 равен $0,6$ мкм. Скин-слой для поворота в П-канале равен $0,53$ мкм. Толщина напыляемого медного покрытия должна превышать толщину скин-слоя, поэтому напыляли 3 мкм для всех трёх компонент. После расчётов наступила очередь напыления волноводов.

Напыление производилось на установке ROBVAC VSM 300 при помощи метода магнетронного напыления. Процесс подразумевает собой:

Закрепить две части волновода на держатель.

Закрывать дверь установки и откачать камеру до вакуума $5 \cdot 10^{-5}$ Торр (рисунок 10).

Включить источник питания APCL-M-5PDC-800-2 (рисунок 11).

Открыть заслонку на магнетроне с хромовой мишенью и напустить газ - аргон при помощи блока управления регулятором расхода газа.

В течение двух минут напылили хром для лучшей адгезии.

Закрыли заслонку магнетронного источника хрома и открыли заслонку магнетронного источника меди.

В течение 36 минут напылили медь.

Закрыли заслонку магнетронного источника меди.

Остановили напуск газа и начали напускать атмосферу.

Открыли дверь установки и достали напылённые волноводы (рисунок 12).

На рисунках 13 и 14 показаны напылённые волноводы.



Рисунок 10 – Установка магнетронного напыления ROBVAС VSM 300



Рисунок 11 – Источник питания APCL-M-5PDC-800-2



Рисунок 12 – Половины волновода в канале 16×8 с медным напылением, которые напечатаны из пластика HIPS методом послойного наплавления



Рисунок 13 – Половины волновода, которые напылили в канале 16×8, которые напечатаны из пластика TR250 LV методом фотополимерной печати



Рисунок 14 – Половины волновода в П-канале, напечатанные из пластика TR250 LV методом фотополимерной печати

Как видно на рисунке 13, обе половины волновода оказались с дефектами, но далее будет описано, как данный дефект повлиял на коэффициент стоячей волны по напряжению волновода.

После напыления волноводам были присвоены номера:

1203 для волновода в канале $11 \times 5,5$ из пластика HIPS.

1236 для волновода в канале 16×8 из пластика HIPS.

1240 для волновода в канале 16×8 из пластика phrozen TR250 LV.

1241 для волновода в канале 16×8 из пластика phrozen TR250 LV.

1275 для волновода в П-канале из пластика phrozen TR250 LV.

При измерении были задействованы измеритель КСВН панорамный P2-66 и индикатор КСВН и ослабления Я2Р-67 (рисунок 15), измеритель КСВН панорамный P2-67 и индикатор КСВН и ослабления Я2Р-67 (рисунок 16).



Рисунок 15 – Измеритель КСВН панорамный Р2-66 и индикатор КСВН и ослабления Я2Р-67



Рисунок 16 – Измеритель КСВН панорамный Р2-67 и индикатор КСВН и ослабления Я2Р-67

Для измерения КСВН у волновода № 1203 использовали установку, показанную на рисунке 15. Для измерения КСВН у волноводов № 1236, 1240, 1241 использовали установку, показанную на рисунке 16. Для измерения КСВН у поворота в п-канале использовали отличную от выше приведённых установку.

При всех процессах измерений фиксировались значения КСВН показанные в таблице 1.

Таблица 1 – Значения КСВН у волноводов

№ волновода	Значения КСВН	КСВН у металлического волновода в таком же канале
1203	1,09	1,014
1236	1,22	1,09
1240	1,14	
1241	1,12	
1275		1,44

У волноводов № 1203 и № 1236 большой КСВН в отличие от металлического волновода в том же канале из-за того, что они в процессе напыления деформировались, вследствие малой термостойкости пластика НІРС. У волноводов № 1240 и № 1241 КСВН не сильно отличается от волновода из металла. Также у СВЧ-элемента № 1240 параметры мало изменяются вследствие незначительных изменений канала конструкции. У поворота № 1275 КСВН оказался выше, чем надо по техническим условиям.

Заключение. В процессе данной работы были выполнены поставленные цели и задачи. Исходя из полученных результатов, было определено, что из пластика phrozen TR250 LV получаются волноводы с меньшим КСВН, в отличие от пластика НІРС.

После выполнения всей работы по прототипированию СВЧ-компонентов с помощью 3Д печати, магнетронного напыления и сравнения их с железными аналогами можно подвести итог, что СВЧ-компоненты из пластика можно использовать для применения в макетах трактов.

Список использованных источников

1 ГОСТ 13317-89. Элементы соединения СВЧ трактов радиоизмерительных приборов: государственный стандарт союза ССР. – М. : Государственный комитет СССР по стандартам, 1989. – 46 с.

2 Skin Depth Calculator [Электронный ресурс] // «OMNI calculator» [Электронный ресурс] : [сайт]. – URL:

<https://www.omnicalculator.com/physics/skin-depth> (дата обращения: 30.01.2024) –
Загл. с экрана. – Яз. англ.