

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СВЧ ПОЛЯ ВНУТРИ КОЛЬЦЕВОГО ВОЛНОВОДА

Барковская К.Н.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Мадвейко С.И. – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой ЭТТ

Аннотация. Проведено компьютерное моделирование распределения СВЧ поля внутри кольцевого волновода при частоте $f = 2,45$ ГГц, соответствующей СВЧ диапазону. Получена модель при значении подводимой мощности P СВЧ излучения, равной 0,7 кВт.

Ключевые слова: волновод, СВЧ, моделирование.

Введение. Плазменные технологии в микроэлектронике играют ключевую роль в производстве полупроводниковых устройств, таких как микрочипы, транзисторы и другие компоненты. Они позволяют проводить точную и контролируемую обработку материалов на микроскопическом уровне [1].

Учитывая актуальность применения плазмы и плазменных технологий в микроэлектронике, возникает необходимость разработки и модернизации существующего СВЧ плазменного технологического оборудования, широко применяемого в технологии микроэлектроники.

Волновод играет важную роль в конструкции СВЧ плазмотрона, так как он проводит энергию в рабочую камеру, где происходит формирование плазмы и обработка полупроводников. В данной статье целью исследования является анализ распределения СВЧ поля внутри кольцевого волновода. Представлены результаты компьютерного моделирования электромагнитного поля СВЧ диапазона для медного кольцевого волновода.

Основная часть. Компьютерное моделирование электромагнитного СВЧ поля выполнялось для кольцевого волновода при частоте $f = 2,45$ ГГц, соответствующей СВЧ диапазону. В результате была получена модель при значении подводимой мощности P , равной 0,7 кВт.

Модель, на основе которой выполнялось моделирование, представляет собой замкнутый в кольцо волновод, являющийся цилиндрическим резонатором, с расположенной на его оси реакционной камерой. Мощность подводится к прямоугольной части волновода. Высота ввода волновода – 90 мм, ширина – 45 мм. Внешний диаметр круглой части волновода составляет 390 мм. Место ввода электромагнитной энергии от СВЧ генератора представляет собой короткую волноводную секцию 28 мм, соединённую с кольцевой частью волновода. В месте перехода установлен рассекаатель СВЧ волн. Через щелевые излучатели, выполненные на внутренней стенке волновода, электромагнитная энергия поступает в рабочую область. Щелевые излучатели располагаются на внутренней стенке волновода. Их ширина составляет 68 мм, что соответствует половине длины СВЧ волны.

Компьютерное моделирование выполнялось по следующим формулам. Значения частоты среза для различных мод получают аналитически из выражения (1):

$$(v_c)_{mn} = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}, \quad (1)$$

где m и n – индексы моды (для TE_{10} моды $m = 1, n = 0$);

c – скорость света;

a и b – размеры сечения волновода.

Кольцевой волновод выполнен в изогнутой H -плоскости прямоугольного волновода и может рассматриваться как замкнутый прямоугольный волновод. Вследствие этого, исходя из граничных условий в волноводе, распределение электромагнитного поля СВЧ для основной моды TE_{10} в таком волноводе можно записать следующим образом:

$$E_y = E_m \sin\left(\frac{\pi}{a}x\right) e^{j(\omega t - \beta z)}, \quad (2)$$

$$H_x = -\frac{\beta}{\omega\mu} E_m \sin\left(\frac{\pi}{a}x\right) e^{j(\omega t - \beta z)}, \quad (3)$$

$$H_z = j \frac{\pi}{\omega\mu a} E_m \cos\left(\frac{\pi}{a}x\right) e^{j(\omega t - \beta z)}, \quad (4)$$

$$E_x = E_z = H_y = 0, \quad (5)$$

где:

$$E_m = -\frac{j\omega\mu}{k_c^2} \frac{\pi}{a} H_0, \quad (6)$$

где k_c – волновое число волновода;

H_0 – константа, которой значение определяется мощностью возбуждения;

β – волновой вектор по направлению z ;

μ – проницаемость в волноводе.

На рисунке 1 – 3 представлены результаты моделирования электрического поля внутри пустого резонатора.

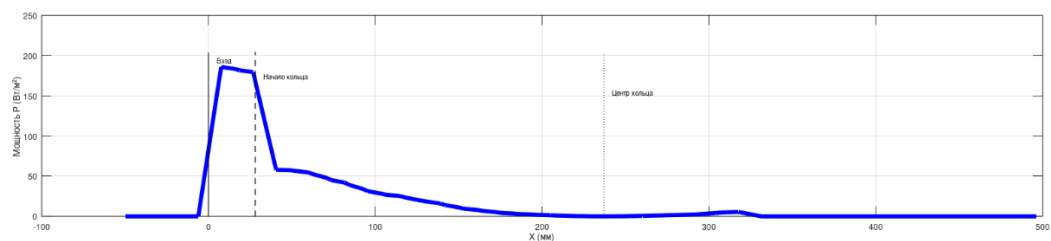


Рисунок 1 – Распределение СВЧ мощности вдоль оси X

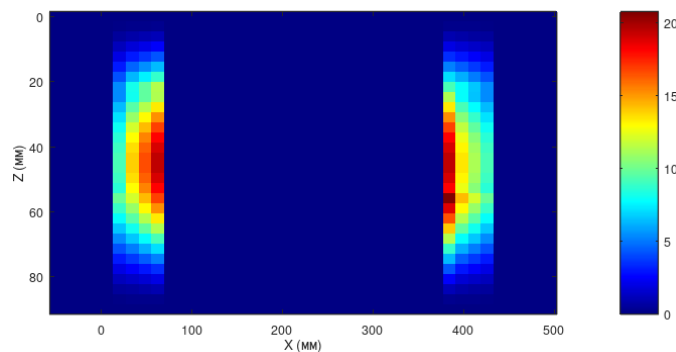


Рисунок 2 – Распределение СВЧ мощности по сечению XZ

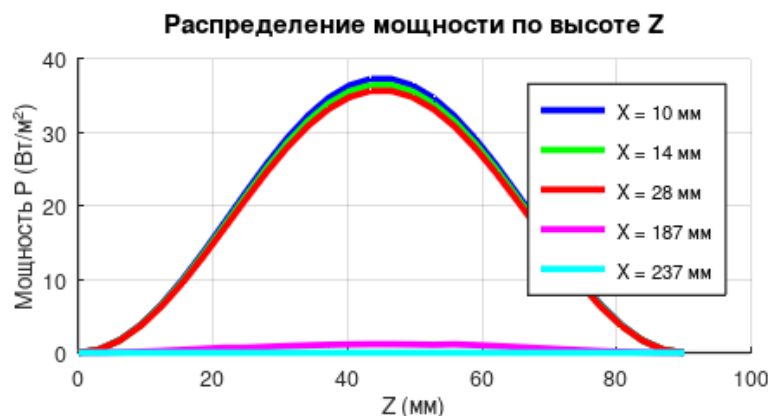


Рисунок 3 – Распределение СВЧ мощности по высоте (ось Z)

Согласно полученным результатам, значения удельной мощности постепенно снижаются за счёт наличия рассекателя и щелей внутри волновода (рисунок 1). Так как волновод имеет форму кольца, то мощность распределяется по окружности, при этом мощность концентрируется в центре стенок волновода относительно высоты волновода (рисунок 3) близко к реакционной камере (рисунок 2), что способствует формированию СВЧ плазмы внутри этой камеры.

Заключение. В результате выполнения компьютерного моделирования электромагнитного СВЧ поля внутри кольцевого волновода получены модели при значении подводимой СВЧ мощности P , равной 0,7 кВт. По моделям и зависимостям, представленным в данной статье, можно сделать вывод, что СВЧ мощность внутри кольцевого волновода распределяется неравномерно: мощность внутри волновода снижается, однако внутри кольцевой части волновода наблюдается концентрация мощности в центре стенок волновода (рядом с реакционной камерой).

Список литературы

1. Барковская, К.Н. Исследование напряжённости электрического поля в объёме кварцевых трубок внутри СВЧ резонатора / К.Н. Барковская, Н.В. Талиш // Материалы 60-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР по направлению Электронные системы и технологии – Минск, 2024 – С.359 – 361.
2. Fan L., Jianhua W., Songyuan D. (2010) Numerical simulation and design of a new microwave annular waveguide plasma source - I: Simulations without the plasma parameters. INTERNATIONAL JOURNAL OF NUMERICAL MODELLING: ELECTRONIC NETWORKS, DEVICES AND FIELDS. 24:526–534. DOI: 10.1002/jnm

UDC 621.3.095.3

MODELING OF MICROWAVE ELECTROMAGNETIC FIELD DISRIBUTION INSIDE AN ANNULAR WAVEGUIDE

Barkouskaya K.M.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Madveika S.I. – Cand. of Sci., Associate Professor, Head of the Department of electronic technique and technology

Annotation. Computer modeling of the distribution of the microwave electromagnetic field inside an annular waveguide at frequency $f = 2.45$ GHz corresponding to the microwave range has been carried out. The model is obtained at a value of the input microwave power P equal to 0.7 kW.

Keywords: waveguide, microwave, modeling.