

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КВАРЦЕВОЙ КАМЕРЫ В ОБЪЁМЕ ПРИЗМАТИЧЕСКОГО РЕЗОНАТОРА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Барковская К.Н.

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

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

Аннотация. Проведено компьютерное моделирование распределения электрического поля внутри резонатора призматической формы (ширина 267 мм, длина 270 мм, высота: 188 мм) при частоте $f = 2,45$ ГГц, соответствующей СВЧ диапазону. Получены модели при значениях подводимой мощности P СВЧ излучения, равной 0,3 кВт, 1 кВт и 1,5 кВт.

Ключевые слова: резонатор, плазмотрон, СВЧ, электрическое поле.

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. Для этого не менее важно исследовать поведение плазмы внутри резонатора при определённых условиях.

Технологические процессы по плазменной обработке материала (например, плазмохимическое травление) выполняется в СВЧ резонаторе. Внутри резонатора находится камера, где формируется плазма в условиях вакуума. Стоит учитывать тот факт, что внутри этой камеры также располагают подложки, для которых будет осуществляться обработка. На обрабатываемые подложки воздействует электрическое поле, которое влияет на сам материал и качество обработки этого материала. Соответственно, возникает необходимость исследовать распределение электрического поля внутри резонатора с целью улучшения качества выполняемой обработки кремниевых пластин.

В данной статье целью исследования является анализ влияния введения камеры в объём призматического СВЧ резонатора на распределение электрического поля. Представлены результаты компьютерного моделирования электрического поля СВЧ резонатора призматической формы.

Основная часть. Электрическое поле – это область пространства, окружающего электрически заряженную частицу или объект, где на электрический заряд действует сила. Электрическое поле существует во всех точках в пространстве и может быть наблюдаться при переносе другого заряда в электрическое поле [2].

Компьютерное моделирование электрического поля выполнялось для объёмного СВЧ резонатора призматической формы (ширина 267 мм, длина 270 мм, высота: 188 мм) при частоте $f = 2,45$ ГГц, соответствующей СВЧ диапазону. В результате были получены модели при значениях подводимой мощности P , равной 0,3 кВт, 1 кВт и 1,5 кВт.

Модель, на основе которой выполнялось моделирование, представляет собой резонаторную камеру, выполненную из высоколегированной стали, которая подключена к источнику питания с частотой 2,45 ГГц через прямоугольный волновод. Камера внутри резонатора, где располагают полупроводники, сделана из кварца. Выбор материала камеры обоснован тем, что кварц обладает выдающимися физическими свойствами. Данный материал обладает высокой твёрдостью и стойкостью к химическим воздействиям, что обеспечивает его долговечность и устойчивость при выполнении технологических

процессов [3]. По краям кварцевой камеры находятся обкладки из латуни. Все используемые материалы оказывают влияние на распределение электрическое поле внутри резонатора.

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

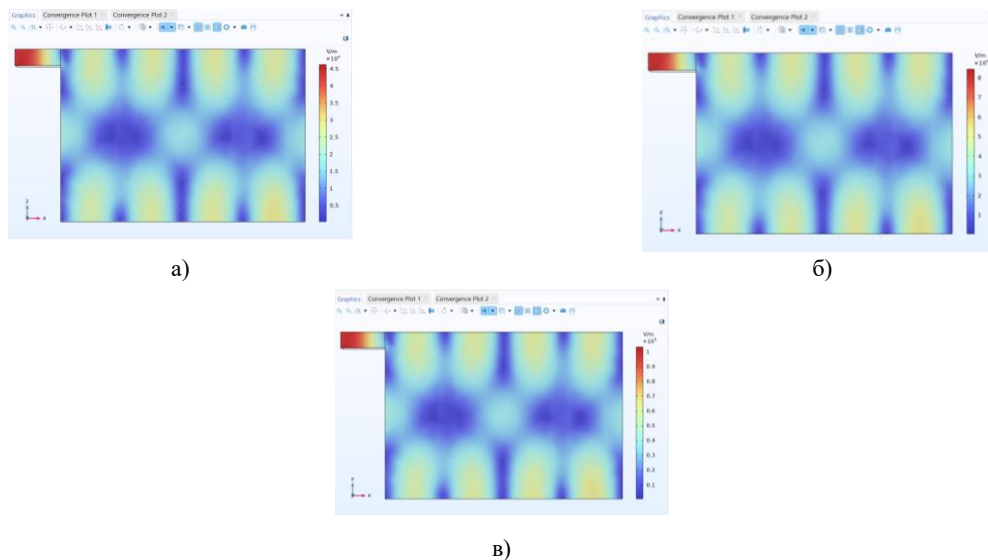


Рисунок 1 – Модель электрического поля в пустом резонаторе при подводимых мощностях P : 0,3 кВт (а), 1 кВт (б) и 1,5 кВт (в)

Также в ходе моделирования были составлены зависимости распределения напряжённости E электрического поля по оси X в центре объёмного резонатора при значениях подводимой мощности P , равных 0,3 кВт (рисунок 2), 1 кВт (рисунок 3) и 1,5 кВт (рисунок 4).

По полученным зависимостям (рисунки 2 – 4) видно, что распределение напряжённости E электрического поля внутри объёмного резонатора происходит неравномерно. При подводимой мощности P , равной 0,3 кВт максимальное значение электрического поля достигает 19000 В/м, при $P = 1$ кВт максимальное значение достигает 34000 В/м, а при $P = 1,5$ кВт максимальное значение почти достигает 40000 В/м. Полученные значения соотносятся с другими исследованиями в этой области. Например, в работе [4] значение электрического поля при $P = 1,2$ кВт достигает порядка 10^4 В/м.

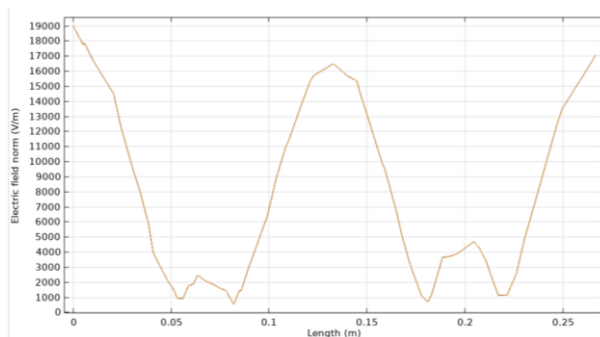


Рисунок 2 – Распределение величины напряжённости E электрического поля по оси X в центре объёмного резонатора при подводимой мощности $P = 0,3$ кВт

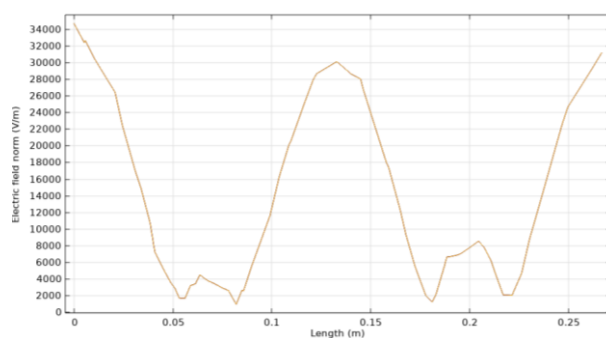


Рисунок 3 – Распределение величины напряжённости E электрического поля по оси X в центре объёмного резонатора при подводимой мощности $P = 1$ кВт

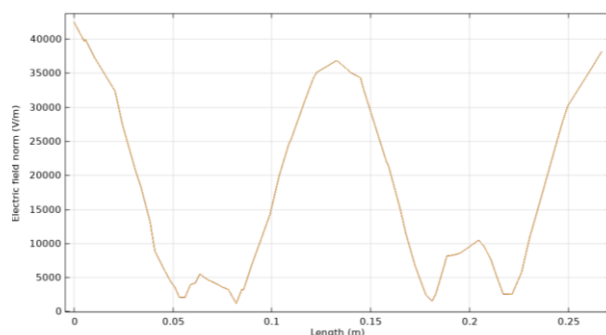


Рисунок 4 – Распределение величины напряжённости E электрического поля по оси X в центре объёмного резонатора при подводимой мощности $P = 1,5$ кВт

Далее проводилось компьютерное моделирование для резонатора с камерой внутри. Камера представляет собой трубку, выполненную из радиопрозрачного материала (кварца), с наружным диаметром $D = 20$ мм и толщиной 3 мм. По краям трубки расположены накладки, выполненные из латуни. Результаты моделирования представлены на рисунке 5.

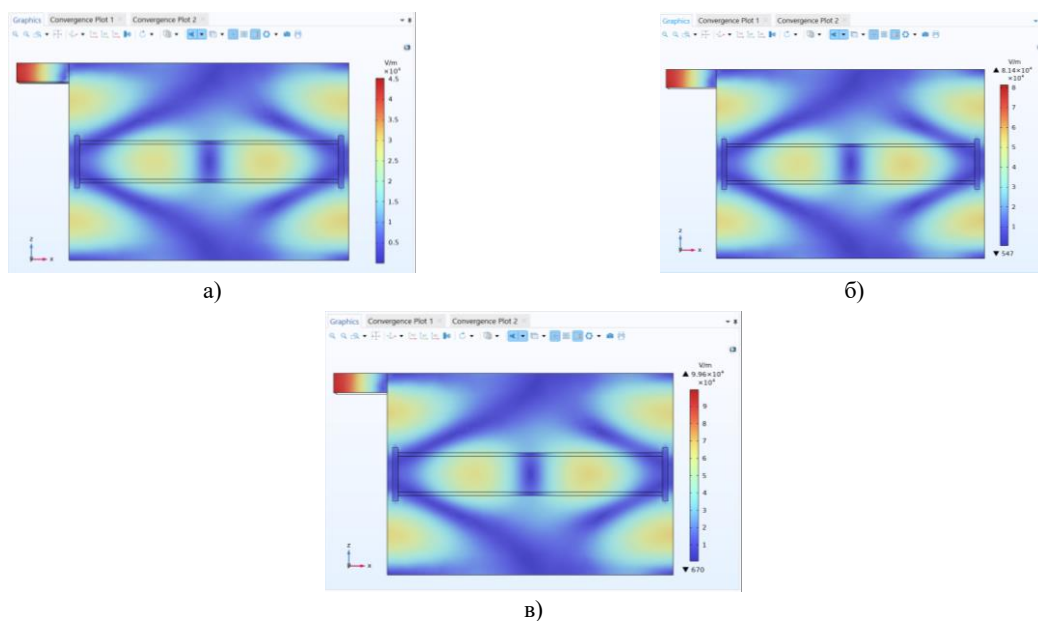


Рисунок 5 – Модель электрического поля в резонаторе с камерой при подводимых мощностях P : 0,3 кВт (а), 1 кВт (б) и 1,5 кВт (в)

В ходе моделирования были составлены зависимости распределения напряжённости E электрического поля по оси X в центре объёмного резонатора с наличием камеры при значениях подводимой мощности P , равных 0,3 кВт (рисунок 6), 1 кВт (рисунок 7) и 1,5 кВт (рисунок 8).

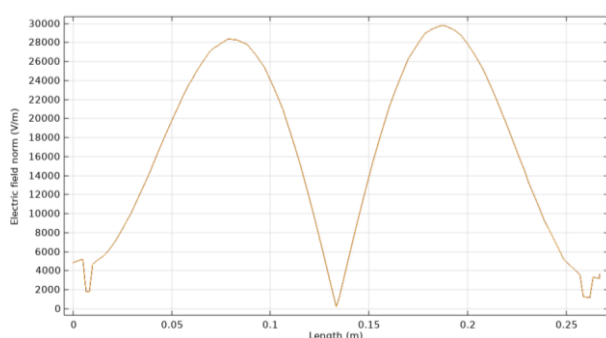


Рисунок 6 – Распределение величины напряжённости E электрического поля по оси X в центре объёмного резонатора с камерой при подводимой мощности $P = 0,3$ кВт

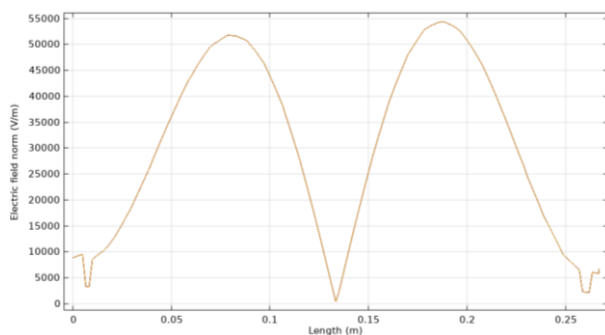


Рисунок 7 – Распределение величины напряжённости E электрического поля по оси X в центре объёмного резонатора с камерой при подводимой мощности $P = 1$ кВт

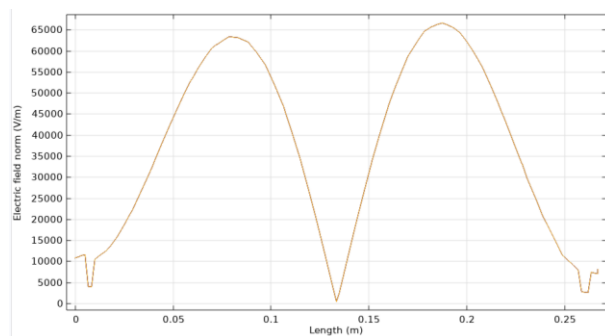


Рисунок 8 – Распределение величины напряжённости E электрического поля по оси X в центре объёмного резонатора с камерой при подводимой мощности $P = 1,5$ кВт

Полученные зависимости показывают, что распределение напряжённости E электрического поля внутри объёмного резонатора происходит неравномерно. При подводимой мощности P равной 0,3 кВт максимальное значение электрического поля достигает 30000 В/м, при $P = 1$ кВт максимальное значение достигает 55000 В/м, а при $P = 1,5$ кВт максимальное значение достигает 65000 В/м.

Таким образом, при введении камеры в объём резонатора распределение энергии электрического поля стало менее равномерным, увеличились значения электрического поля.

Заключение. В результате выполнения компьютерного моделирования электрического поля внутри объёмного СВЧ резонатора призматической формы получены модели при значениях подводимой СВЧ мощности P , равных 0,3 кВт, 1 кВт и 1,5 кВт. По моделям и зависимостям, представленным в данной статье, можно сделать вывод, что при введении кварцевой камеры в объём СВЧ резонатора значение напряжённости поля увеличивается приблизительно в 1,6 раз. Энергия распределяется менее равномерно чем в пустом резонаторе и концентрируется внутри кварцевой камеры, где значения напряжённости электрического поля достигает максимума. Также при увеличении подводимой СВЧ мощности наблюдается рост значений величины напряжённости электрического поля.

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. What Is an Electric Field? Definition, Formula, Example [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.thoughtco.com/electric-field-4174366/>. Дата доступа: 17.03.2025.
3. Кварц и сферы его применения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mramor-stone-granit.ru/kvarts-i-sfery-ego-primeneniya/>. Дата доступа: 29.03.2025.
4. Namazi, Azadeh B. Probing microwave heating of lignocellulosic biomasses / Azadeh B. Namazi, D. Grant Allen, Charles Q. Jia // *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. – 2015. – № 112. – P. 121 – 128.

UDC 621.3.095.3

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF A QUARTZ CHAMBER IN THE PRISMATIC RESONATOR VOLUME ON THE DISTRIBUTION OF THE ELECTRIC FIELD

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 ETT

Annotation. Computer modeling of the distribution of the electric field inside a prismatic resonator (width 267 mm, length 270 mm, height: 188 mm) at frequency $f = 2.45$ GHz corresponding to the microwave range has been carried out. The models are obtained at values of the input microwave power P equal to 0.3 kW, 1 kW and 1.5 kW.

Keywords: resonator, plasmatron, microwave, electric field.