

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЁННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ОБЪЁМЕ КВАРЦЕВЫХ ТРУБОК ВНУТРИ СВЧ РЕЗОНАТОРА

Барковская К.Н., Талиш Н.В.

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

*Научный руководитель: Мадвейко С.И. – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой электронной техники и
технологии*

Аннотация. Приведены результаты моделирования формирования электрического поля в объёме кварцевых трубок, располагаемых в объёмном резонаторе СВЧ плазмотрона. Результат моделирования иллюстрирует неравномерность распределения СВЧ энергии. Установлено, что максимальное значение составило $1,3 \cdot 10^5$ В/м.

Ключевые слова: плазмотрон, СВЧ плазма, СВЧ нагрев.

Введение. Плазменные технологии широко используются в сфере микроэлектроники как оптимальная альтернатива изжившим себя методам жидкостного травления. Плазменное травление относится к так называемым сухим методикам нанесения тонких пленок на подложку и размерного травления пленок с заданными параметрами [1].

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.

Одним из основных применений плазмы является процесс нанесения тонких пленок на поверхность полупроводниковых материалов. Плазма используется для депозиции различных материалов, таких как кремний, оксиды, нитриды и другие, на поверхность чипа. Это позволяет создать защитные слои, улучшить электрические свойства материала или добавить функциональные характеристики.

Плазменные технологии также используются для очистки поверхностей полупроводниковых материалов от загрязнений и остатков технологических материалов. Плазма, содержащая активные частицы, взаимодействует с загрязнениями и удаляет их с поверхности. Это важный этап производства полупроводниковых устройств, так как даже малейшие загрязнения могут негативно повлиять на их работу.

Плазменные технологии также находят применение в процессе травления материалов. Плазма может быть использована для удаления слоев материала с поверхности или для создания микрорельефов и микроструктур. Это позволяет создавать более сложные и функциональные устройства.

В целом, плазменные технологии в микроэлектронике играют важную роль в производстве полупроводниковых устройств. Они позволяют проводить точную обработку материалов на микроскопическом уровне, создавать тонкие пленки, очищать поверхности и создавать сложные микроструктуры. Благодаря плазменным технологиям можно получать более качественные и функциональные полупроводниковые устройства, что способствует развитию современной электроники [2].

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

Основная часть. Эффективными конструктивными элементами для концентрации СВЧ энергии является объёмный резонатор.

Плазмотроны с трансформаторами связи общепринято называть плазмотронами резонаторного типа. СВЧ энергия в зависимости от возбуждаемой моды колебаний объемного резонатора вводится посредством петли, штыря либо отверстия связи. Формирование плазмы в объемном резонаторе не требует использования устройств согласования. Существуют технические решения, которые позволяют сформировать большой объем плазмы в резонаторе.

Наиболее известны СВЧ плазмотроны с частичным заполнением плазмой резонирующего объема, которые широко используются для проведения процессов СВЧ плазмохимического травления полупроводниковых материалов в реакционно-разрядных камерах, которые чаще всего имеют цилиндрическую форму и выполняются из кварца.

Плазмотроны должны обеспечивать заданную скорость и равномерность процесса при приемлемой мощности разряда и расходе рабочего газа. Таким требованиям удовлетворяют реакторы с объемным расположением полупроводниковых подложек в плазме.

При формировании сложных полупроводниковых структур необходимо исключать влияние на их поверхность электронной ионной компоненты плазмы. Это возможно за счёт реализации процесса обработки полупроводниковых пластин вне зоны разряда. Однако технические решения плазмотронов, направленные на решение этой задачи, в своём составе имеют один источник СВЧ энергии и одну разрядную камеру.

Предлагается для создания СВЧ плазмотрона при наличии одного источника СВЧ энергии использовать несколько источников плазмы, имеющих небольшой объём, которые будут независимы друг от друга и располагаться в едином резонаторном объёме.

Поэтому особый интерес представляет исследование условий формирования в объемном резонаторе несколько независимых объёмов формирования плазмы. Размеры резонатора позволяют разместить несколько разрядных малогабаритных камер, выполненных из радиопрозрачных материалов (кварц и др.), которые могут использоваться как источники плазмы для выполнения радикального травления в независимых рабочих камерах.

Для решения данной задачи было проведено моделирование с целью исследования величины и распределения электрического поля при расположении трёх кварцевых трубок диаметром 10 мм и толщиной стенки 1 мм в объемном резонаторе. Расстояние между стенками соседних трубок составляет 1 мм. Используемая мощность для СВЧ нагрева составляет 1,5 кВт. Частота СВЧ колебаний внутри резонатора составляет 2,5 ГГц.

На рисунке 1 показано, что трубки, размещённые внутри резонаторной камеры, характеризуются неравномерностью распределения СВЧ энергии.

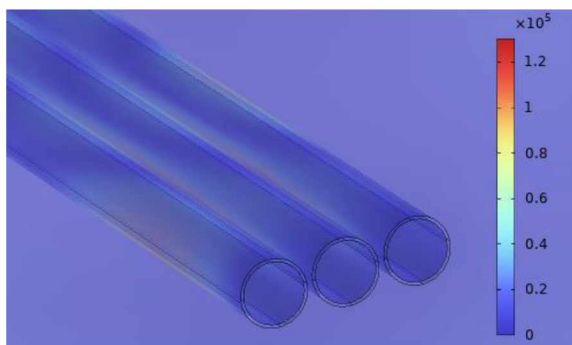


Рисунок 1 – Распределение напряжённости электрического поля (В/м) в исследуемых кварцевых трубках

Результаты моделирования показали, что максимальная энергия накапливается между трубками на их стенках. Повышенная концентрация электрической энергии вблизи разрядного объёма позволит обеспечить лучшие условия для формирования СВЧ разряда

по сравнению с отдельно располагаемыми трубками в резонаторном объеме. Полученные результаты необходимо учитывать при разработке новых конструктивных решений при производстве оборудования для выполнения плазмохимической обработки полупроводниковых материалов.

Заключение. Выполнено моделирование формирования электрического поля в объеме кварцевых трубок, располагаемых в объемном резонаторе СВЧ плазматрона. Результат моделирования иллюстрирует неравномерность распределения СВЧ энергии. Установлено, что максимальное значение составило $1,3 \cdot 10^5$ В/м. Такое техническое решение позволит обеспечить улучшенные условия для формирования плазмы и использовать один источник СВЧ энергии для нескольких независимых разрядных и реакционных камер, используемых для обработки полупроводниковых материалов при производстве изделий микроэлектроники.

Список литературы

1. Плазменное травление RIE и ICP-RIE [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://minateh.ru/stati/plazmennoe-travlenie-rie-i-icp-rie>. Дата доступа: 29.01.2024.
2. PECVD плазмохимия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sntech.ru/technologies/pecvd-plasma-chemistry>. Дата доступа: 29.03.2024.

UDC 621.7.029

ELECTRIC FIELD INTENSITY RESEARCH OF QUARTZ TUBES INSIDE OF MICROWAVE RESONATOR

Barkouskaya K.M., Talish N.V.

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

Madveika S.I. – PhD., associate professor, Head of the Department of Electronic Technique and Technology

Annotation. Modeling results of electric field formation in the quartz tubes inside of microwave plasmatron resonator are given. Modeling result shows inequality of microwave energy distribution. It was found that the maximum value was $1,3 \cdot 10^5$ V/m.

Keywords: plasmatron, microwave plasma, microwave heating