

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ СВЧ ПЛАЗМОТРОНОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Гришанков И.В.

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

Научный руководитель: Мадвейко С.И. – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры ЭТТ

Аннотация. Данный анализ описывает место и роль СВЧ плазмотронов в современном мире, принцип устройства, конструкции и объяснение работы на примере плазмотронов волноводного и резонаторного типа, преимущества и недостатки, а также частичное их устранение с помощью устройств комбинированного разряда.

Ключевые слова: СВЧ плазмотрон, СВЧ разряд

Введение. Плазма СВЧ разряда находит все большее применение в различных прикладных областях: в микроэлектронике, в космической энергетике, в источниках света, в спектроскопии [1]. Использование СВЧ плазмотронов технологического назначения является основным его применением и получает все большее развитие в последние годы. Это обусловлено необходимостью проведения таких процессов, как вакуумплазменное осаждение тонких пленок (диэлектрических, проводящих и др.), модифицирование поверхностных слоев (азотирование, окисление и др.), селективное удаление (травление) объемных и пленочных материалов и т.д. [2]. Плазма СВЧ разрядов применяется для получения гораздо более высоких концентраций активных плазменных частиц и большей плотности высокоэнергетичных электронов в сравнении с низкочастотными разрядами. В том числе, преимущество СВЧ разрядов также заключается в способности устойчивого поддержания этих разрядов в широком диапазоне давлений [2].

Основная часть. Принцип устройства СВЧ плазмотронов заключается в следующем: передача СВЧ энергии веществу, находящемуся в газообразном состоянии, с целью перевода его в плазму. Главным образом газ передается под конкретным давлением (может быть выше, ниже или равным атмосферному) по диэлектрической, как правило кварцевой или керамической трубке, которая обязана быть помещенной в зону максимальной напряженности электрического поля СВЧ колебаний. В стационарных условиях высвобождение тепла из плазмы в полной мере уравнивается поступлением в плазму СВЧ энергии, т.е. плазма есть активная нагрузка для генератора СВЧ [3].

По конструкции одним из наиболее простых является плазмотрон волноводного типа, представляющий собой отрезок волновода, через который проходит диэлектрическая термостойкая трубка из кварца, хорошо пропускающая СВЧ энергию. Один из концов плазмотрона волноводного типа подключен к СВЧ генератору, а другой – к согласованной нагрузке или к замкнутому на конце отрезку прямоугольного волновода (короткозамыкателю). Часть СВЧ энергии поглощается в плазме, а оставшаяся часть отражается от нее [3]. Волноводные устройства этого типа, работающие при низких давлениях, встречаются наиболее широко и применяются в технологии производства изделий электронной техники [2].

Для восполнения отраженной волны между генератором и разрядной трубкой подключают разного рода подстраиваемые элементы, что равнозначно подключению разрядной области через трансформатор связи [3]. Плазмотроны с трансформаторами связи общепринято называть плазмотронами резонаторного типа. СВЧ энергия в зависимости от возбуждаемой моды колебаний объемного резонатора внедряется посредством петли, штыря либо отверстия связи. Наиболее известны плазмотроны с частичным заполнением плазмой резонирующего объема. Применяется также отделение резонирующего объема отделенной от плазмен-

ной камеры перегородкой, в которой специальным образом выполнены отверстия связи для излучения СВЧ энергии в зону плазмообразования [2].

Существует большое количество современных СВЧ плазмотронов, в которых в последнее время основное внимание уделяется повышению надежности и долговечности работы устройства. Однако они не лишены недостатков, свойственных всем СВЧ плазмотронам, к которым относятся небольшие мощности и, соответственно, производительность, пониженное рабочее давление (менее 100 Торр), большие расходы плазмообразующего газа [4]. Указанные выше недостатки частично или полностью устраняются с использованием плазмотронов комбинированного разряда, которые характеризуются возможностью обеспечения требуемой мощности в плазме за счет пропускания через объемный СВЧ разряд постоянного тока, отсутствием эрозии катода (эмиссия электрического тока происходит со всей поверхности катода при температуре ниже 1000 °С), регулируемой длиной плазменного канала, независимым управлением СВЧ и дуговой мощностями, вводом исходных реагентов (твердых, жидких, газообразных) непосредственно в активную зону разряда [4].

Одними из разновидностей комбинированного разряда являются создаваемый путем наложения на СВЧ разряд электромагнитного поля низкочастотного (НЧ) или высокочастотного (ВЧ) диапазона, предоставляющего активизацию самостоятельного газового разряда [5]. В таком случае возникает возможность поддержания в плазме дополнительного управления энерговкладом и энергией заряженных плазменных частиц [6], что в свой черед существенно изменяет физико-химические процессы в объеме плазмы и на границе раздела плазма – твердое тело.

Заключение. Проведен анализ современных СВЧ плазмотронов технологического назначения. Существует большое количество данных устройств, применяемых, главным образом, для технологической обработки материалов, обладающие как своими достоинствами, так и недостатками, частично устранить которые возможно с применением плазмотронов комбинированного разряда.

Список литературы

1. Диденко А.Н., Прокопенко А.В., Смирнов К.Д. СВЧ-плазмотроны в новых технологических процессах / Диденко А.Н., Прокопенко А.В., Смирнов К.Д. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://naukarus.com/svch-plazmotrony-v-novyh-tehnologicheskikh-protsessah>.
2. Бордусов, С.В. Классификация конструкций СВЧ плазмотронов технологического назначения: Взаимодействие излучений с твердым телом: материалы V междунар. науч. конф., 6-9 окт. 2003 г., Минск. — Мн.: БГУ, 2003. — С. 335-336.
3. Плазменные СВЧ плазмотроны и их применение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/635353/page:6/>.
4. Гибридные плазмотроны с комбинированным разрядом [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.twinn-plasma.com/гибридные-плазмотроны.html>.
5. Бордусов, С.В. Плазменные СВЧ технологии в производстве изделий электронной техники / Под ред. А. П. Досанко. - Мн.: Бестпринт, 2002. - 452 с.
6. Бордусов, С.В. Характеристики процесса ионно-химического травления монокристаллического кремния плазмой комбинированного разряда / Электронная обработка материалов. 2002. № 6 (218). - С. 39-42.

UDC 533.9.03

ANALYSIS OF MODERN MICROWAVE PLASMA TORCHES FOR TECHNOLOGICAL PURPOSES

Grishankov I.V.

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

Madveika S.I. – PhD, associate professor, associate professor of the Department of ETT

Annotation. This analysis describes the place and role of microwave plasma torches in the modern world, the principle of the device, the design and explanation of the work on the example of waveguide and resonator type plasma torches, advantages and disadvantages, as well as their partial elimination using combined discharge devices.

Keywords: microwave plasma torch, microwave discharge