

## ДВУХСТРУЙНЫЙ ПЛАЗМОТРОН ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ \*\*

И. В. Осипова<sup>а\*</sup>, И. А. Рябков<sup>б</sup>, Н. Г. Внукова<sup>а</sup>,  
Н. В. Булина<sup>а</sup>, Г. Н. Чурилов<sup>а</sup>

УДК 537.525.5+53.06+543.423

<sup>а</sup> Институт физики им. Л. В. Киренского Сибирского отделения РАН,  
660036, Красноярск, Академгородок, 50; e-mail: churilov@iph.krasn.ru

<sup>б</sup> Больница скорой медицинской помощи им. Н. С. Карповича, Красноярск, Россия

(Поступила 23 июня 2006)

Представлена конструкция дугового двухструйного плазматрона, работающего на частоте 66 кГц в потоке аргона атмосферного давления. Приведены результаты определения температуры, электронной концентрации, эрозии электродов, полученные методом атомно-эмиссионного спектрального анализа. Предложенное удобное конструктивное исполнение двухструйного плазматрона и низкое значение эрозии медных электродов в плазме позволяют использовать его для медицинских целей.

**Ключевые слова:** двухструйный плазматрон, дуговая плазма, эрозия электродов.

*A construction is suggested of an arc double-stream plasmatron operating at a frequency of 66 kHz in an argon flow at the atmospheric pressure. The results of measuring the temperature, electron concentration, electrode erosion are given which are obtained by the atomic-emission spectral analysis. The proposed convenient construction of the double-stream plasmatron and low erosion of copper electrodes in the plasma allow one to use it for medical purposes.*

**Keywords:** double-stream plasmatron, arc plasma, electrode erosion.

Генерация “чистой” плазмы — актуальная задача электрофизики. Плазма, не загрязненная материалом электродов, особенно необходима для решения задач медицины, плазмохимии и эмиссионной спектроскопии. Для медицинских целей плазма должна содержать как можно меньше (по крайней мере, меньше предельной допустимой концентрации) тяжелых металлов, которые обычно попадают в нее вследствие эрозии электродов. Известна разработка комплекса плазматронов для медицины коллективом ученых из МГТУ им. Н. Э. Баумана [1]. В плазмохимии для получения чистых веществ необходимо иметь плазму, не содержащую каких-либо примесей.

Хорошо известны дуговые плазматроны постоянного тока и тока промышленной частоты [2]. Принцип их действия основан на генерации плазменной струи между электродами в потоке плазмообразующего газа. Обычно для таких плазматронов эрозия  $10^{-9}$  кг/Кл. Длина струи составляет несколько диаметров выходного отверстия плазматрона, что является ограничением для технологических процессов, в которых требуются более длинные плазменные струи.

Разработка двухструйного плазматрона изменила ситуацию. В 50-е гг. появились первые конструкции двухструйных плазматронов постоянного тока [3]. В этих плазматронах параметры плазмы стабилизированы за счет прямого протекания тока через плазменные струи и в соответствии с локальным равновесным распределением тока возникает локальное равномерное выделение джоулева тепла. Такое решение позволило получить достаточно длинные плазменные струи, однако вопрос генерации плазмы с низкой эрозией электродов до сих пор остается открытым.

Нами разработана конструкция двухструйного плазматрона (рис. 1), питание которого осуществляется переменным током (килогерцового диапазона). Основные конструктивные параметры: электроды выполнены из меди с отверстием диаметром 1.2 мм, водяное охлаждение электродов, плазмообразующий газ — аргон. Питание плазматрона осуществляется током 12 А с частотой 66 кГц, угол между струями  $60^\circ$ , длина обеих струй 30 мм.

**DOUBLE-STREAM PLASMATRON FOR MEDICAL APPLICATIONS**

I. V. Osipova<sup>а\*</sup>, I. A. Ryabkov<sup>б</sup>, N. G. Vnukova<sup>а</sup>, N. V. Bulina<sup>а</sup>, and G. N. Churilov<sup>а</sup> (<sup>а</sup> L. V. Kirensky Institute of Physics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, 50 Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036, Russia; e-mail: churilov@iph.krasn.ru; <sup>б</sup> N. S. Karpovich City Clinical Hospital of Krasnoyarsk, Russia)

\*\* Доложено на V Международной конференции “Физика плазмы и плазменные технологии (PPPT-5)”, 18—22 сентября 2006 г., Минск, Беларусь.



Рис. 1. Двухструйный плазмотрон переменного тока килогерцового диапазона

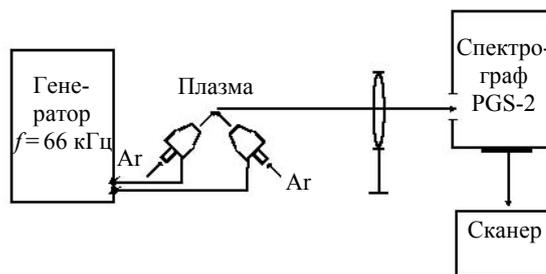


Рис. 2. Структурная схема установки для анализа спектральных характеристик

Исследования одноструйного плазмотрона показали [4], что при питании плазмотронов переменным током килогерцового диапазона эрозия электродов существенно снижается. В данной работе характеристики плазмы определены по эмиссионным спектрам. Схема установки для регистрации спектра представлена на рис. 2. Эмиссионный спектр плазменного излучения зарегистрирован спектрографом на пленку и обработан с помощью сканера по методике [5].

Температура определена методом относительных интенсивностей спектральных линий с использованием линий меди Cu I 510.554 и Cu I 515.324 нм (рис. 3, а). Концентрация электронов найдена по относительной интенсивности линий Mg II 279.553 и Mg I 285.165 нм (рис. 3, б). Полученные результаты показали, что температура и электронная концентрация остаются неизменными вдоль обеих струй и составляют  $T = 6800$  К и  $N_e = 1.2 \cdot 10^{17}$  см<sup>-3</sup>.

Для количественного определения содержания материала электрода в плазме разряда применяли метод добавок [6]. Приготовлены эталоны с различным содержанием меди в графитовой матрице (0.001, 0.01, 0.1, 1 и 5 %). Образцы вводились в разрядный промежуток с потоком плазмообразующего газа посредством специально разработанного устройства подачи пробы [7]. По известным значениям содержания меди в образцах и полученным значениям относительной интенсивности спектральной линии меди ( $\lambda = 510.554$  нм) построена зависимость логарифмов этих величин. Из нее для логарифма относительной интенсивности линии меди в спектре (от графитовой матрицы) найден логарифм концентрации меди, присутствие которой связано с эрозией электродов. Эрозия медных электродов составила  $G = 2.9 \cdot 10^{-12}$  кг/Кл.

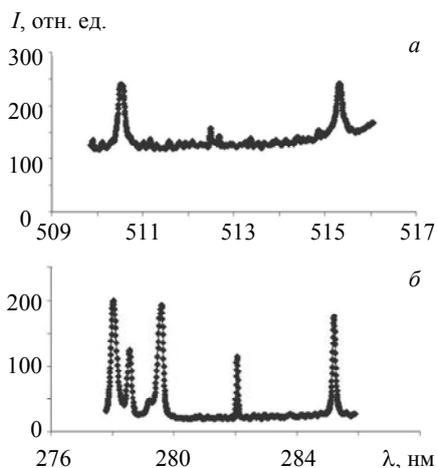


Рис. 3. Часть эмиссионного спектра, содержащего линии меди (а) и магния (б)

Таким образом, нами разработана удобная для практического использования конструкция двухструйного плазмотрона, позволяющая получать равновесную аргоновую плазму, с малой эрозией медных электродов. Такой двухструйный плазмотрон найдет применение как в медицине, так и в других областях, когда необходимо использовать плазму, не содержащую загрязняющих примесей.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 06-08-00331).

[1] Плазменная техника и плазменные технологии, сб. науч. тр., под ред. Н.П.Козлова и др., Москва, НИЦ "Инженер" (2003)

[2] Электродуговые плазмотроны, под ред. М.Ф.Жукова, Новосибирск, Ин-т теплофизики (1980)

[3] М.К.Асаналиев, Ж.Ж.Жеенбаев, М.А.Самсонов, В.С.Энгельшт. Структура потока плазмы двухструйного плазмотрона, Фрунзе, Илим (1980)

[4] А.Г.Суковатый, Г.Н.Чурилов, С.С.Мальцева. ПТЭ, № 5 (1998) 137—140

[5] Д.П.Сыченко, Н.Г.Внукова, В.А.Лопатин, Г.А.Глушченко, А.В.Марачевский, Г.Н.Чурилов. ПТЭ, № 3 (2004) 1—4

[6] А.Г.Орлов. Методы расчета в количественном спектральном анализе, Ленинград, Недра (1977) 63—70

[7] Г.Н.Чурилов, Н.Г.Внукова, В.А.Лопатин. Устройство для подачи порошковых проб в спектральном анализе, патент РФ № 2229700С2, МКИ G01N21/67 (2004)