

УДК 533.9.03:537.53

DOI: 10.17223/00213411/64/6/55

С.А. ПОПОВ, Е.Л. ДУБРОВСКАЯ, А.В. ШНАЙДЕР, А.В. БАТРАКОВ

ВЛИЯНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ЗАРЯДОВЫЙ СОСТАВ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИОНОВ КАТОДНОЙ ПЛАЗМЫ ВАКУУМНОЙ ДУГИ *

Методом масс-энергоанализа исследовано влияние внешнего нестационарного аксиального магнитного поля на зарядовый состав и распределение ионов различной кратности ионизации по энергии в катодной струе плазмы импульсного вакуумно-дугового разряда в аксиальном направлении. В эксперименте использовался галлиевый катод в жидкофазном состоянии, что позволяло стабилизировать поверхность катода на протяжении всего эксперимента. Импульс тока разряда квазипрямоугольной формы синхронизировался с генерирующим аксиальное магнитное поле гармоническим импульсом тока катушки так, чтобы разряд протекал на стадии роста, спада, а также в период достижения максимума тока в катушке. Установлено, что количество ионов каждой кратности ионизации и их средняя энергия, а также средний заряд частиц возрастают в следующем порядке: разряд в отсутствие магнитного поля, в условиях нарастающего магнитного поля, убывающего поля и в максимуме магнитного поля. Представленные данные дают основание полагать, что роль индукционных механизмов ускорения плазмы невелика. Более того, возбуждение в периферических слоях плазмы индукционных противотоков ослабляет нарастание магнитного поля в приосевой области плазмы, что может быть причиной обратного эффекта влияния переменного магнитного поля на зарядовый состав и распределение ионов по энергии.

Ключевые слова: вакуумная дуга, катодная плазма, зарядовый состав, распределение ионов по энергии.

Введение

Высокие степень ионизации и скорость разлета катодной плазмы при относительно низком напряжении горения (т.е. низких энергетических затратах на генерирование плазмы) являются характерными чертами вакуумно-дуговых разрядов [1]. Во многом благодаря этим свойствам в сочетании с простотой и надежностью разрядных систем и источников питания вакуумно-дуговые разряды стали основой функционирования электрофизической аппаратуры различного назначения: от вакуумной коммутирующей аппаратуры [2] до источников заряженных частиц и плазмы [3]. Перспективным направлением применения импульсного вакуумно-дугового разряда, интенсивно развивающимся в последнее время, являются микродвигатели для малых и сверхмалых космических аппаратов, в которых импульс катодной струи плазмы используется для создания реактивной тяги [4].

Прикладывание к разрядной ячейке аксиального магнитного поля приводит к сжатию катодной струи, повышению среднего заряда и скорости разлета плазмы в продольном направлении [5, 6]. Этот эффект используется как в коммутирующей аппаратуре, так и в источниках заряженных частиц и микродвигателях на основе вакуумно-дуговых разрядов [7, 4]. Следует отметить, что практически все исследования эффекта магнитного поля проводились безотносительно фазы изменения магнитного поля в течение импульса тока разряда (обычно с квазистационарным, слабоменяющимся магнитным полем, или с магнитным полем, квазисинхронным с током самого разряда). Между тем в [8] для ускорения плазмы объемного газового разряда плазменного двигателя космических аппаратов предложено прикладывать к разряду нарастающее магнитное поле плоской катушки. Полагается, что индуцирование в плазме кольцевого тока, направленного встречно к току катушки, и его взаимодействие с током катушки (взаимное отталкивание) приводят к возникновению электрических полей, ускоряющих ионы рабочего газа. Модельные расчеты [9], выполненные для случая более плотной плазмы, близкой по основным характеристикам к плазме вакуумной дуги, показали, что и в этом случае индукционный механизм ускорения может иметь значимый эффект.

В настоящей работе предпринята попытка экспериментального исследования влияния как собственно аксиального магнитного поля, так и его фазы (нарастание/спад) на зарядовый состав и распределение ионов по энергии в струе катодной плазмы импульсной вакуумной дуги.

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-19-00270).

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>