ВЛИЯНИЕ ПОСТОЯННОГО СМЕЩЕНИЯ АКТИВНОГО ЭЛЕКТРОДА НА ЭНЕРГИЮ ИОНОВ В ЕМКОСТНОМ ВЧ РАЗРЯДЕ С ВНЕШНИМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

Александров А.Ф., Вавилин К.В., Кралькина Е.А., Задириев И.И., Швыдкий Г.В.

Физический факультет МГУ им.М.В. Ломоносова, Москва, laggige@mail.ru

В настоящее время в связи с развитием телекоммуникационных служб, большое внимание уделяется разработке электрореактивных двигателей коррекции орбиты спутников [1, 2]. Известные двигатели можно разделить на две большие группы [2]. Это ионные двигатели, где для ускорения ионов применяются электростатические системы и бессеточные двигатели, в которых ионы ускоряются в разряде постоянного тока, помещенном в радиальное магнитное поле.

Известно, что существует аналогия между разрядом постоянного тока и емкостным ВЧ разрядом. В приэлектродных слоях емкостного высокочастотного разряда существуют квазистационарные электрические поля, направленные от плазмы к электродам. В связи с этим можно предположить, что наложение на такой разряд скрещенного с электрическим радиального магнитного поля в тороидальном канале, по аналогии с разрядом в стационарном плазменном двигателе (СПД), приведёт к возникновению замкнутого азимутального дрейфа электронов и ускорению ионов из плазмы по направлению к электродам. Таким образом, емкостной высокочастотный разряд потенциально может играть роль основного рабочего процесса в устройствах наподобие СПД, одновременно выполняя и функцию ионизации рабочего газа, и функцию ускорения полученных ионов. При этом для поддержания емкостного высокочастотного разряда не требуется эмиссия электронов с катода, а сами электроды можно выносить за пределы разрядного канала. В работе [3] были выполнены первые исследования емкостного ВЧ разряда в геометрии стационарного плазменного двигателя, которые показали возможность получения потока ускоренных ионов. Типичные наблюдавшиеся значения энергии пучка ионов составляют 200-300эВ.

Настоящая работа посвящена изучению возможностей повышения энергии ионов на выходе из источника плазмы, имеющего геометрию СПД, при условии, что на электрод, находящийся в канале СПД, подается высокочастотное напряжение в комбинации с постоянным смещением. При этом разряд, поддерживается гибридным разрядом, основанном на емкостном ВЧ разряде и разряде постоянного тока. Эксперименты проводились при мощности ВЧ генератора 80 – 160 Вт (частота 13.56МГц), постоянное смещение составляло 0-450В. Величина магнитного поля менялась от 100Гс до 500Гс. Расход для аргона составлял 30 см3/мин, для ксенона 4 см3/мин.

Показано, что постоянное смещение активного электрода позволяет контролировать энергию пучка ионов на выходе из источника плазмы в диапазоне 100 – 600 эВ. При этом изменением мощности, вкладываемой через ВЧ канал разряда, можно независимо управлять плотностью потока ионов.

Математическое моделирование показало, что увеличение энергии ионов при подаче постоянного смещения на электрод связано с повышением потенциала плазмы относительно земли.

Литература.

1. S.Mazouffre, Plasma Sources Sci. Technol. 25 (2016) 033002 (27pp).
2. D.M. Goebel, I. Katz, Fundamentals of Electric Propulsion:Ion and Hall Thrusters (JPL Space Science and Technology Series), Wiley, 2008, pp. 148-158.
3. Задириев И.И. Использование емкостного высокочастотного разряда низкого давления в радиальном магнитном поле для получения ускоренного потока ионов: дис. к. физ.-мат. наук: 01.04.08 – М., 2017. 130 с.