самовозбуждение НЧ продольных колебаний ионов в коаксиальном резонаторе ЭЦР-источника плазмы

Балмашнов А.А., Бутко Н.Б., Калашников А.В., Калашников В.В., Степина С.П., Умнов А.М.

Российский университет дружбы народов, г. Москва, Россия, abalmashnov@rambler.ru, anumnov@yandex.ru

Колебания заряженных частиц в источниках плазменных потоков могут существенным образом влиять на их характеристики [1]. В связи с этим нами начаты исследования в этом направлении применительно к разрабатываемому ЭЦР-плазменному инжектору CERA-RI-2, основные характеристики которого (газовая и энергетическая эффективности) уже в настоящее время сравнимы с известными аналогами [2]. CERA-RI-2 подробно описан в работе [3]. Инжектор представляет собой узкий коаксиальный резонатор (2,45 ГГц), вектор напряженности СВЧ электрического поля в котором направлен вдоль его оси, а азимутально-симметричная ЭЦР-поверхность формируется кольцевыми магнитами вблизи одной из его торцевых стенок, противоположная стенка выполнена в виде сетки.

Первые, полученные в вычислительном и натурном экспериментах, результаты исследования колебаний заряженных частиц в источнике плазмы инжектора CERA-RI-2 представлены в данной работе. Вычислительный эксперимент осуществлялся на трехмерной численной модели, построенной по методу частиц в ячейке. В модели были учтены все основные параметры источника CERA-RI-2: его геометрия, конфигурация постоянного магнитного поля, структура СВЧ-поля. При проведении реального эксперимента использовались три одиночных электрических зонда и три СВЧ-зонда. Зонды, с углом поворота π/2, были расположены в азимутально-симметричной области, соответствующей области существования ЭЦР разряда, вблизи сетчатого электрода. Электрические зонды длиной 0,3 см и диаметром 0,02 см были ориентированы вдоль оси резонатора, а ориентация СВЧ-зондов позволяла проводить измерения продольной, радиальной и азимутальной составляющих напряженности высокочастотного электрического поля.

Экспериментально получена зависимость возникновения устойчивых колебаний частиц плазмы от массового расхода газа и СВЧ-мощности, вводимой в резонатор, и установлено:

– колебания происходят вдоль оси симметрии резонатора,

– отсутствует азимутальная составляющая колебаний,

– колебания ионной и электронной компонент плазмы происходят в противофазе,

– в условиях экспериментов частота колебаний частиц практически не зависит от условий ЭЦР-разряда,

– плавающий потенциал, усредненный по периоду колебаний частиц плазмы, по модулю не превышает 1 В,

– перераспределение СВЧ-электрического поля в резонаторе не происходит.

Экспериментальные результаты находятся в соответствии с результатами вычислительного эксперимента. Вычислительным методом также установлено, что при ЭЦР-разряде в криптоне также возникают продольные колебания ионной компоненты плазмы.

Исследования поддержаны грантом РФФИ № 16-02-00640\16.

Литература

1. Веселовзоров А.Н., Погорелов А.А., Свирский Э.Б., Смирнов В.А. Труды XLII Международной Звенигородской конференции по физике плазмы и УТС. Москва, 2015, с.230.
2. Балмашнов А.А., Калашников А.В., Калашников В.В., Степина С.П., Умнов А.М.

Труды конференции ISTAPC-2014, с.351.

1. Балмашнов А.А., Степина С.П., Умнов А.М. Успехи прикладной физики, 2014. т.2, №3, с.224.