

СОЗДАНИЕ СВЧ-ПЛАЗМЫ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ ПРИ НИЗКОМ ДАВЛЕНИИ

М. М. Бердникова, А. М. Вайтонене, В. В. Вайтонис, Г. В. Ходаченко
Московский инженерно-физический институт

Развитие современных плазменных высоких технологий связано с задачами получения однородной плотной плазмы в больших объемах. Способы получения такой плазмы – разряд в постоянном поле, а также в ВЧ и СВЧ полях. Как показывает анализ публикаций СВЧ-разряд – наиболее дешевый способ получения и нагрева больших объемов плазмы.

В настоящее время во всем мире проводятся исследования горячей плазмы на установках, в которых проводники с током, создающие удерживающую конфигурацию магнитного поля, погружены в плазму. Создаваемая кольцевым током дипольная конфигурация магнитного поля является простейшей и наиболее распространенной во Вселенной. Представляет огромный интерес исследование удержания плазмы в подобных ловушках.

Исходя из этих позиций, в МИФИ на кафедре физики плазмы была создана установка «Магнетор», которая сочетает в себе функции технологической установки и модели компактной плазменной магнитной ловушки, способной удерживать плотную плазму.

Магнитное поле создается системой двух соосных находящихся в одной плоскости кольцевых катушек. Токи в катушках текут в противоположных направлениях, в результате между катушками образуется магнитная «пробка». Заряженные частицы, двигаясь вдоль магнитных силовых линий, отражаясь от магнитной пробки, совершают движение вдоль той же магнитной силовой линии, только в обратном направлении, и лишь часть частиц проходит через пробку без изменения своего направления. Эта часть определяется отношением напряженности магнитного поля в пробке к минимальному значению напряженности магнитного поля на магнитной силовой линии. Плазма удерживается вокруг основного (внутреннего) витка. Другой виток с током противоположного направления служит для локализации плазмы и препятствует ее попаданию на стенку вакуумной камеры. Напряженность магнитного поля в пробке составляет 1,9 кЭ.

Катушки расположены в вакуумной камере, представляющей собой цилиндр высотой 450 мм и внутренним диаметром 480 мм, в который врезаны две пары взаимно-перпендикулярных патрубков диаметром 300 мм.

На данной установке проведены первые исследования в широком диапазоне давлений. При давлениях $10^{-1} - 10^{-4}$ Торр возможно получение плотной технологической плазмы. При давлениях $10^{-3} - 10^{-5}$ Торр будут проводиться исследования захвата и удержания плазмы в магнитной ловушке. Рабочие газы – H_2 и Ar. Для генерации плазмы в магнитной ловушке используется СВЧ-разряд. Источником СВЧ-мощности служит магнетрон LG 39F с частотой 2,45 ГГц и мощностью 900 Вт. Магнетрон работает в импульсно-периодическом режиме. Длительность импульса СВЧ-излучения – 10 мс, скважность – 2. При данных параметрах магнетрона удалось получить плазму в диапазоне давлений от $10^{-5} - 1$ Торр.

Наличие СВЧ-разряда определялось как визуально, так и по наличию тока с зонда, установленного внутри плазменного образования. Осциллограммы тока с зонда приведены на рис. 1. По ним отчетливо виден момент пробоя. В этот момент на осциллограмме тока (3) появляется ступень. «Полка» на осциллограмме означает момент зажигания разряда. Одновременно с этим снимались анодное напряжение магнетрона в рабочем режиме (1) и уровень СВЧ-излучения около защитного экрана (2). Напряжение, подаваемое на зонд, показано (4). Из осциллограммы видно, что фоновое СВЧ-излучение возникает одновременно с началом генерации магнетрона. Также видно, что время между началом генерации магнетрона и моментом зажигания разряда составляет несколько миллисекунд. Подобные осциллограммы были сняты для различных давлений. Одновременно проводилась фотосъемка разряда для того, чтобы определить, какой вид разряда реализуется в за-

зависимости от давления – объемный или в магнитном поле за счет электронно-циклотронного резонанса, а также для определения областей локализации плазмы. При давлении выше 5×10^{-3} Торр реализуется объемная форма разряда. Образуется плазма, которая заполняет весь объем. С понижением давления меняется механизм пробоя. Существенное влияние начинает оказывать магнитное поле, наблюдается захват плазмы в магнитную ловушку.

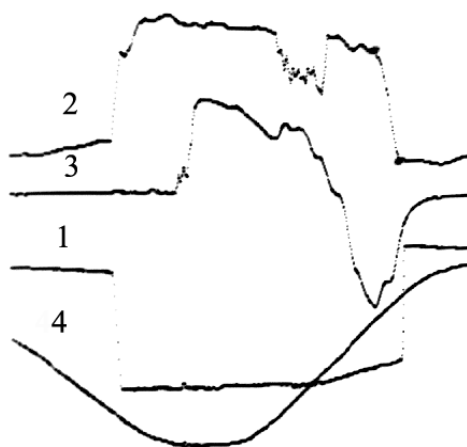


Рис. 1. Осциллограммы Ar, 7×10^{-4} Торр

При работе с аргоном получена плазма с концентрацией до $3 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$ в магнитной ловушке при давлении 10^{-5} Торр.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобразования России (грант Т02-07.4-2207).