

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЛАЗМЫ В МАГНИТОПЛАЗМЕННОМ КОМПРЕССОРЕ

И.П. ДОЙЧИНОВИЧ¹, М.Р. ГЕМИШИЧ², Б.М. ОБРАДОВИЧ¹,
М.М. КУРАИЦА¹, В.М. АСТАШИНСКИЙ³, Я. ПУРИЧ¹

¹ Физический факультет Университета в Белграде,
п.п.368, 11001 Белград, Югославия

² Центр науки и технологического развития,
Обилићев венац 26, 11001 Белград, Югославия

³ ИМАФ НАН Беларуси, Пр. Ф. Скарыны 70, 220072 Минск, Беларусь
E-mail: ivbi@rudjer.ff.bg.ac.yu

РЕЗЮМЕ. Представлены результаты исследований интегральных характеристик разряда и динамических параметров плазмы в магнитоплазменном компрессоре компактной геометрии.

1. ВВЕДЕНИЕ

Магнитоплазменный компрессор (МПК) представляет собой источник квазистационарных компрессионных плазменных потоков (Морозов, 1967). В межэлектродном промежутке такого устройства осуществляется ускорение плазмы продольной составляющей амперовой силы, которая возникает при взаимодействии радиальной компоненты разрядного тока с собственным азимутальным магнитным полем (Ковров и др., 1974). Наряду с этим, на выходе разрядного устройства МПК формируется компрессионный плазменный поток, сжатие которого происходит за счет взаимодействия продольной составляющей разрядного тока (так называемого выносного тока) с его собственным азимутальным магнитным полем (Виноградова и др., 1974).

Интерес к исследованиям ускорительно-компрессионных систем вызван возможностью изучения фундаментальных вопросов течения плазмы в электромагнитных полях различной конфигурации и формирования высокоэнергетических плазменных потоков в таких устройствах, а также применением указанных систем для решения ряда практических задач, таких как разработка источников излучения для нужд атомной спектроскопии, плазменная обработка поверхностей и др.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Эксперименты проводились на установке, схема которой изображена на Рис. 1. Внутренний электрод разрядного устройства МПК компактной геометрии выполнен из меди в виде усеченного конуса с диаметрами 3 и 0,6 см длиной 5 см с цилиндрической хвостовой частью длиной 6 см, а внешний электрод представляет собой цилиндр, образованный 8 медными стержнями диаметром 0,8 см и длиной 11,5 см, симметрично расположенными по окружности диаметром 5 см. Разрядное устройство МПК помещено в вакуумную камеру размера 0.3 м · 0.3 м · 1.2 м.

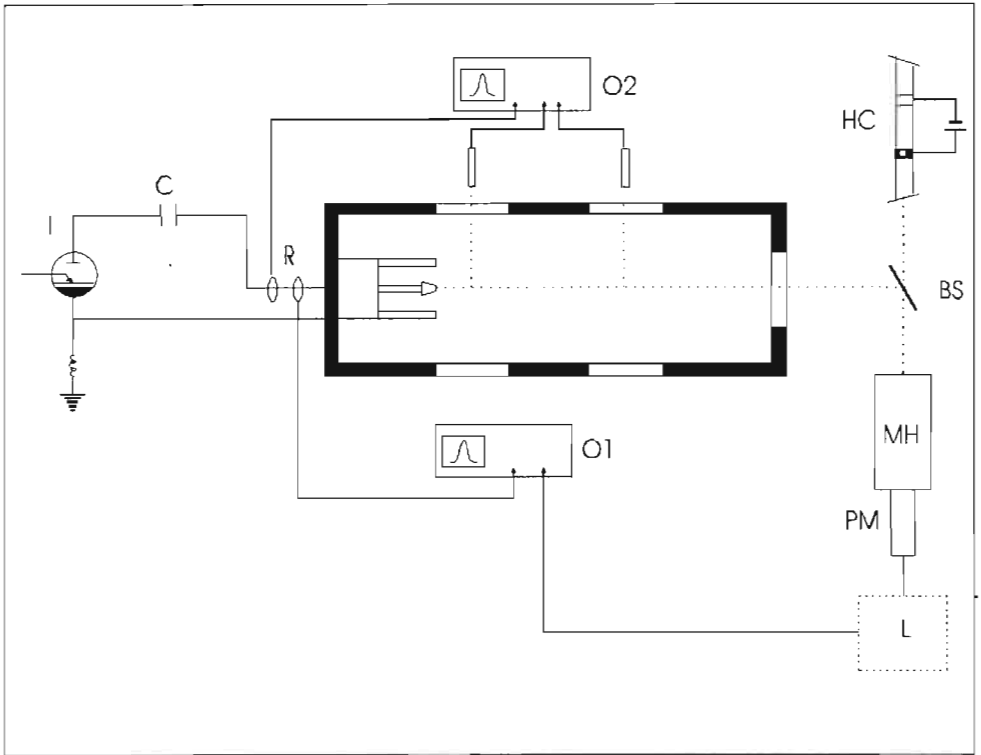


Рис. 1. Экспериментальная установка. O1–осциллограф для регистрации сигнала с фотоумножителя, O2–осциллограф для регистрации сигналов с фотодиодов, R–пояс Роговского, C–конденсаторная батарея, I–игнитронный разрядник, HC–разрядное устройство с полым катодом, BS–светоделительная пластина, MH–монохроматор, PM–фотоумножитель, L–предусилитель.

Исследования проводили в режиме остаточного газа при начальном давлении смеси $\text{Ar} + 3\% \text{H}_2$ в камере $P_0 = 100$ Па. Накопителем энергии МПК служила конденсаторная батарея (C) общей емкостью 800 мкФ, которая соединялась с разрядным устройством через игнитронный разрядник (I). Максимальное значение разрядного тока составляло ~ 70 кА при начальном напряжении на конденсаторах $U_0 = 3$ кВ. Ток разряда и падение напряжения на межэлектродном промежутке разрядного устройства МПК измеряли соответственно с помощью пояса Роговского (R) и компенсированного RC-делителя напряжения. Сигналы с пояса Роговского и делителя напряжения регистрировались одновременно осциллографом Tektronix TDS3032.

Скорость переднего фронта плазмы определяли по время-пролетной методике с помощью двух фотодиодов, расположенных на расстоянии 60 см друг от друга. Запуск осциллографа осуществлялся сигналом с пояса Роговского.

Спектроскопические исследования проводили с помощью монохроматора (MH) McPherson 218, работающего совместно с фотоумножителем (PM) EMI 9816 QB, при регистрации излучения плазмы, суммарного за несколько разрядов, с торца разрядного устройства МПК. На каждой длине волны регистрировали интенсивность излучения плазмы из МПК и разрядного устройства с полым катода (HC). Излучение

плазмы МПК направляли на входную щель монохроматора с помощью светоделительной пластины (BS). Сигнал с фотоумножителя регистрировался осциллографом (О1) Tektronix TDS3032. Излучение из разрядного устройства с полым катодом, пройдя светоделительную пластину, падало на входную щель монохроматора, а затем регистрировалось фотоумножителем с предусилителем Linseis (L), сигнал с которого подавался на осциллограф (О1).

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Типичные осциллограммы тока и напряжения разряда в МПК представлены на Рис. 2а. На основании полученных осциллограмм были построены вольт-амперная характеристика разряда (Рис. 2б) и изменение во времени мгновенной мощности $P(t) = I(t) \cdot U(t)$ и вкладываемой в разряд энергии $W(t) = \int I(t) \cdot U(t) dt$ (Рис. 2в). Видно,

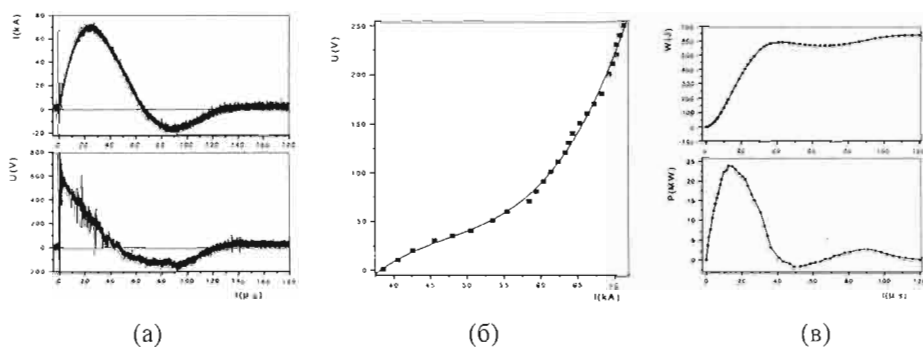


Рис. 2. Осциллограммы тока и напряжения (а), вольт-амперная характеристика разряда (б), изменение во времени мгновенной мощности и энергии (в).

что ввод энергии в разряд (Рис. 2в) заканчивается к концу первого полупериода тока (~ 60 мкс). Вольт-амперная характеристика (Рис. 2б), показывающая зависимость между напряжением и током в течение квазистационарной стадии разряда МПК (с 20 по 50 мкс), когда плазменный поток находится в устойчивом состоянии, является нелинейной. Наличие сдвига фаз между током и напряжением (Рис. 2а), указывают на отсутствие шунтирования разряда по поверхности изолятора, что, наряду с нелинейностью вольт-амперной характеристики, свидетельствует об эффективности работы МПК. Следует отметить, что полученные результаты хорошо согласуются с данными работы (Асташинский и др., 1989).

Скорость перемещения переднего фронта плазмы, определенная по время-пролетной методике, составила в условиях эксперимента (90 ± 30) км/с. Значения скорости, измеренные по смещению начала импульса и перемещению его вершины (Рис.3), отличаются друг от друга, что указывает на достаточно большую погрешность метода. Как можно видеть на

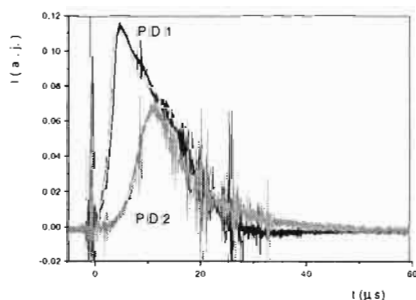


Рис.3 Сигналы с первой (PD1) и второй (PD2) фотодиодов

Рис. 3, кривая (PD2) имеет более пологое начало и более пологую вершину по сравнению с импульсом (PD1). Кроме того, время от начала светового импульса до его максимума на кривой (PD2) больше, чем на кривой (PD1). Приведенные факты свидетельствуют о "расплывании" переднего фронта в процессе его движения.

Определение скорости перемещения возбужденных нейтральных атомов на переднем фронте плазмы проводили по доплеровскому сдвигу атомарной линии ArI 696.5 нм (3) при наблюдении с торца вакуумной камеры, вследствие чего монохроматор регистрировал излучение, усредненное по лучу зрения (т.е. по длине камеры). Контуры линий, полученные при регистрации излучения разряда из МПК (1) и полого катода (2) представлены на Рис. 4. Определенная таким образом скорость нейтралов аргона составила (100 ± 20) км/с. Существование быстрых нейтралов может быть объяснено возбуждением атомов аргона на переднем фронте плазменного потока, столкновением быстрых ионов ArII и ArIII с атомами остаточного газа, а также возбуждением последних вследствие протекания выносных токов в объеме вакуумной камеры. Напомним здесь, что исследования проводили в режиме остаточного газа, когда предварительно откачанная вакуумная камера заполняется рабочим газом до заданного давления. Из анализа интенсивностей сдвигаемой и несдвигаемой линий следует, что количество возбужденных атомов аргона, движущихся к детектору, значительно меньше числа атомов в остальном объеме камеры.

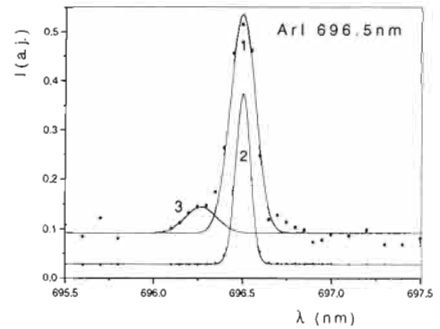


Рис. 4 Контуры линии ArI 696,5 нм полученных из разряда (1,3) и полого катода (2)

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования физических процессов в МПК компактной геометрии продемонстрировали достаточно высокую эффективность и надежность его работы, позволили установить факт "расплывания" переднего фронта плазменного потока в процессе его движения. Показано, что значения скорости переднего фронта плазмы, определенные по доплеровскому сдвигу атомарной линии ArI 696.5 нм и по время-пролетной методике, с учетом погрешностей экспериментов, находятся между собой в хорошем соответствии.

Авторы благодарны Н. Коневичу за полезное обсуждение результатов работы.

Литература

- Морозов А.И.: 1967, *ЖТФ*, **37**, 2147.
 Ковров П.Е., Шубин А.П.: 1974, *В кн.: Физика и применение плазменных ускорителей*, Минск, Наука и техника, 78.
 Виноградова А.К., Морозов А.И.: 1974, *В кн.: Физика и применение плазменных ускорителей*, Минск, Наука и техника, 103.
 Асташинский В.М., Баканович Г.И. и др., 1989, *ЖПС*, **50**, 887.