

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ И СКОРОСТИ ПОТОКА В КОАКСИАЛЬНОМ УСКОРИТЕЛЕ

А.М. Жукешов

НИИЭТФ, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы

Методом магнитных зондов исследовано распределение магнитного поля в ускорителе КПУ. Обнаружено наличие ВЧ колебаний тока в плазме. Установлено, что магнитное поле движется по направлению к срезу электродов. Показано что скорость потока практически не зависит от начального давления газа в камере ускорителя.

Работа импульсных плазменных ускорителей хорошо исследована при импульсном напуске газа через быстрый клапан [1], однако, режим с постоянным начальным давлением газа, называемый «режим со сплошным наполнением» мало исследован. В связи с этим, актуально исследование динамики формирования плазменных сгустков при постоянном давлении, так как этим определяется технологический эффект использования этого режима.

В данной работе исследована динамика формирования плазменных сгустков в импульсном коаксиальном ускорителе с применением магнитных зондов [2]. Ранее на основании зондовых исследований было установлено, что формируемые в импульсных плазменных ускорителях потоки имеют скорости порядка 10^5 м/с, и возможно состоят из отдельных сгустков, следующих один за другим [3]. Однако вопрос о структуре такого плазменного образования остается до конца не выясненным. Для плазмы разделение потока на компоненты возможно только при достаточно сильных магнитных полях, и при небольших плотностях. Поэтому, в первую очередь необходимо выяснить наличие и распределение магнитного поля в коаксиале и в плазменном потоке, и здесь магнитные зонды в принципе хорошо применимы. Таким образом, для плазмы, формируемой в импульсном ускорителе, важно исследовать распределение магнитного поля и тока, порождающего это поле.

Эксперименты проводились на коаксиальном плазменном ускорителе (КПУ). Использовался режим работы ускорителя при постоянном давлении внутри разрядной камеры в диапазоне (10^{-1} -1) торр. Изменяя давление рабочего газа, мы можем регулировать плотность плазмы. В качестве рабочего газа использовался воздух. Установка состоит из рабочей камеры с коаксиальными электродами (диаметр анода 24 мм, диаметр катода 90 мм), батареи высоковольтных конденсаторов 70 мкФ, электродинамического клапана, вакуумного разрядника, системы зарядки и поджига, системы откачки и напуска газа, диагностических устройств. Длина электродов ускорителя составляет 60 см. Разрядное напряжение варьируется в диапазоне $U = 10-30$ кВ. Запасаемая энергия $W = 5-32$ кДж. Амплитуда разрядного тока до 450 кА, продолжительность генерации потока 7-28 мкс.

Распределение магнитного поля снималось с помощью магнитных зондов и поясов Роговского (за срезом сопла). Осциллограммы от магнитных зондов, снятых на расстоянии 26 см от торца внешнего электрода, представлены на рисунке 1. При понижении давления зонд регистрирует высокочастотные колебания производной магнитного поля. Эти колебания представляют собой широкополосный сигнал в диапазоне 2-3 МГц, избавиться от которых можно путем подключения интегрирующей цепочки с постоянной интегрирования 3 мкс.

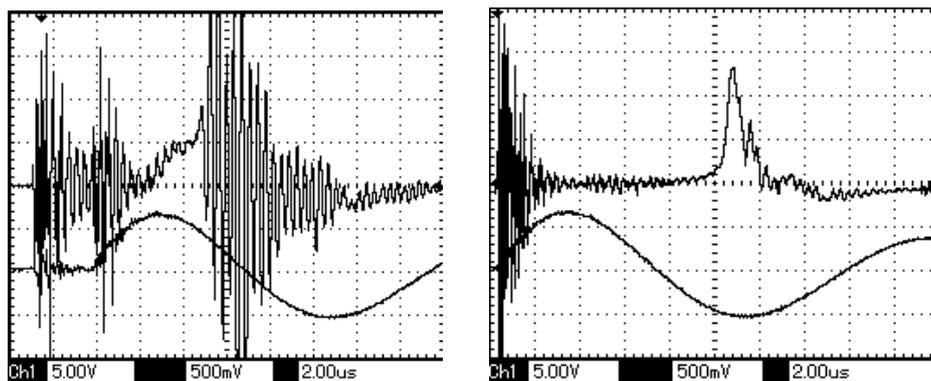


Рис. 1. Осциллограммы производной магнитного поля

С помощью магнитных зондов были получены осциллограммы $V_{\phi}(t)$ для различных положений зонда в середине между цилиндрическими электродами на расстояниях от 1 до 40 см от начала внешнего электрода. Разряды производили при одинаковых условиях: напряжении на конденсаторах 20 кВ и давлении 0,1 и 1 Торр. Результаты показали хорошую воспроизводимость сигнала от разряда к разряду. Далее рассмотрим серию осциллограмм магнитного поля вдоль коаксиальной оси, представленных на рисунке 2.

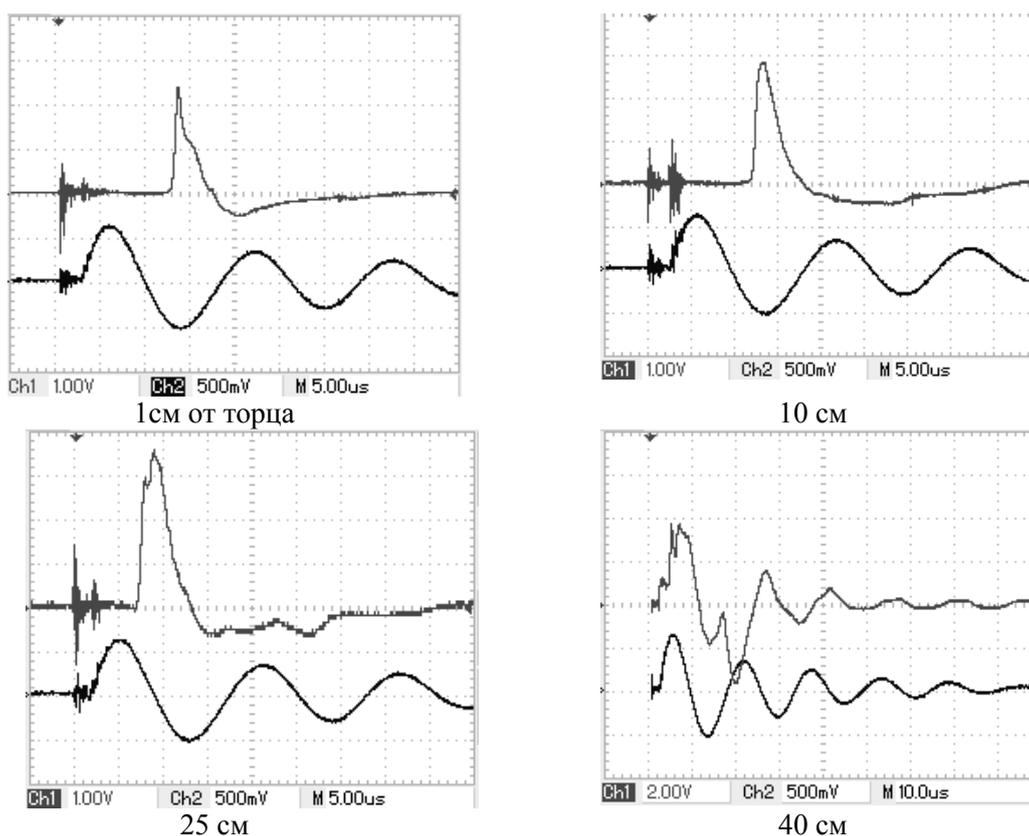


Рис. 2. Осциллограммы магнитного поля при 0,1 Торр

Из осциллограмм видно, что магнитное поле движется вперед по аксиальной оси к выходу из электродов. Средняя скорость фронта сигнала составила 2,5 см/мкс. Скорость нарастания фронта составляет около 1 мкс, поэтому толщина токового слоя, по которому проходит разрядный ток, составляет 2-3 см. При давлении 1 торр средняя скорость фронта сигнала составила 2,3 см/мкс, что почти равно скорости при давлении 0,1 Торр. Скорость

нарастания фронта составила около 2 мкс, поэтому толщина токового слоя, по которому проходит разрядный ток, составила 4-5 см. Таким образом, скорость токового слоя слабо зависит от давления. Скорость потока в камере ускорителя является важнейшим параметром, показывающим эффективность ускорения [4]. Представляет интерес определение скорости другим способом, а именно по двум магнитным зондам, установленным на расстоянии друг от друга. Результаты экспериментальных измерений показаны в таблице 1 и на рисунке 3.

Таблица 1. Результаты экспериментальных измерений скорости потока поясами Роговского при базе 17 см.

U _{зар.} , кВ	V · 10 ⁶ , см/с		
	0,05 Торр	0,1 Торр	5 Торр
12	1,8 ± 0,5		
14	1,7		
16	2,1		
18	3,1		
20	3,4	3,4	3,2
22	4,2	3,4	
24	4,8	4,8	
26	5,0	5,6	

В соответствии с рисунком 3, зависимость скорости от напряжения нелинейная. Максимальная скорость потока при напряжении 26 кВ составила (5,6±0,3) см/мкс. Кроме этого, также не наблюдается заметной разности скорости потока от давления.

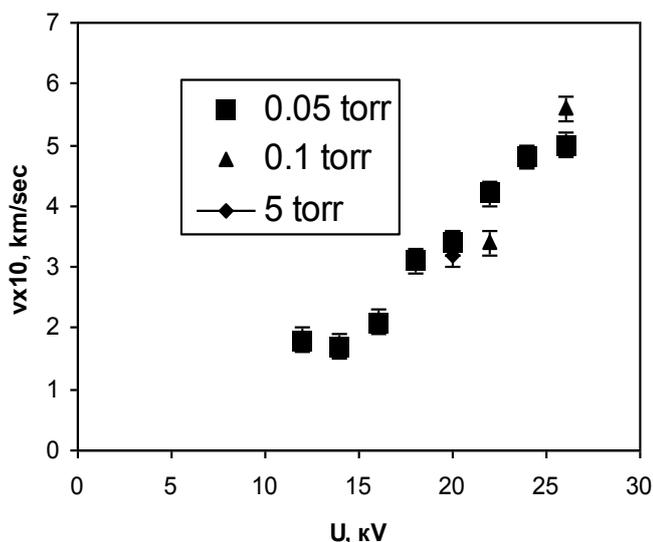


Рис. 4. Зависимость скорости потока от напряжения при различных давлениях

Таким образом, в данном исследовании методом магнитных зондов исследовано распределение магнитного поля вдоль коаксиальной линии ускорителя КПУ. Обнаружено наличие ВЧ колебаний производной тока в плазме. Установлено, что магнитное поле

движется по направлению к срезу электродов. При этом скорость потока практически не зависит от начального давления газа в камере ускорителя, по крайней мере в пределах 0,1- 1 торр. Зависимость скорости от напряжения нелинейная и описывается степенной зависимостью.

Анализ экспериментальных данных позволяет сделать вывод, что в ускорителе раскачиваются колебания значительной амплитуды, но они имеют тенденцию к затуханию при повышении давления. Тем не менее средняя скорость потока от давления не зависит, т.е, ускорение происходит магнитной силой ампера. Это согласуется с полученными ранее данными по зависимости тока от давления. Таким образом, в данном ускорителе электродинамическая природа ускорения является основной, однако наличие колебаний пока не находит объяснения.

Литература

1. Плазменные ускорители. Под ред. Л.А.Арцимовича. - М.: Машиностроение. 1973, 312 с.
2. Диагностика плазмы. Под ред Р.Хадлстоуна и С.Леонарда. – М.: Мир,1967. 94 с.
3. Баимбетов Ф.Б, Ибраев Б.М., Жукешов А.М., Амренова А.У. Расчет и экспериментальное определение скорости плазменного сгустка в коаксиальном ускорителе. // Известия НАН РК. - Серия физико-математическая. -2004. - №2. - С.93-97
4. Морозов А.И. Введение в плазмодинамику. – М.: Физматлит, 2006. - Гл.1. - С.79.

ИМУЛЬСТІ КОАКСИАЛДЫ ҮДЕТКІШТЕГІ МАГНИТ ӨРІСІН ЖӘНЕ ПЛАЗМА АҒЫНЫНЫҢ ЖЫЛДАМДЫҒЫН ТАБУ

Ә.М. Жүкешов

Магнит зондтар әдістемесімен КПУ үдеткіштегі магнит өрісінің таралымы зерттелген. Плазмадағы токтың ЖЖ тербелістері табылған. Магнит өрісі электродтардың шетіне қарай жылжып бара жатқаны анықталған. Ағынның жылдамдығы камерадағы газдың бастапқы қысымына тәуелсіз екені көрсетілген.

MEASUREMENT OF MAGNET FIELD AND PLASMA FLOW VELOCITY IN COAXIAL ACCELERATOR

A.M. Zhukeshov

The distribution of the magnetic field in the CPU accelerator is investigated by method of magnetic probes. Revealed the presence of high-frequency oscillations in the plasma. It is established that the magnetic field is moving to the outlet of the electrodes. It is shown that the flow rate is almost independent of the initial gas pressure in the chamber of the accelerator.