

ИСТОЧНИК МИШЕННОЙ ПЛАЗМЫ С ЩЕЛЕВОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ РАЗРЯДНОГО КАНАЛА ДЛЯ УСТАНОВКИ АМБАЛ-Ю

Г.И. Димов, А.А. Кабанцев, С.Ю. Таскаев

В целях повышения параметров мишенной плазмы в открытой магнитной ловушке АМБАЛ-Ю разработан источник плазмы с щелевой геометрией разрядного канала. Размеры плазменной струи в начальном сечении 24×126 мм по осям, пиковая плотность до 10^{15} см $^{-3}$, температура 10—20 эВ. Увеличение магнитного поля в источнике позволило в несколько раз снизить β в плазменной струе по сравнению со струями кольцевых плазменных пушек, что положительно сказалось на ее устойчивости относительно баллонных возмущений на участках транспортирующего поля с неблагоприятной кривизной.

THE TARGET PLASMA SOURCE WITH A GAP SHAPE OF THE GAS-DISCHARGE CHANNEL FOR AMBAL-YU. G.I. DIMOV, A.A. KABANTSEV, S.Yu. TASKAEV. The target plasma source with a gap shape of the gas-discharge channel was developed. The initial sizes of plasma stream cross-section are 2.4×12.6 cm through the axes, a density is up to 10^{15} cm $^{-3}$, a temperature is 10—20 eV. The parameters of the plasma obtained are close to those of the plasma furnished by the titanium loaded washer-stack plasma guns and by the similar magnetically augmented, gas-injected, washer-stack plasma guns.

Накопление горячей плазмы в открытой магнитной ловушке АМБАЛ-Ю [1] предполагалось путем захвата инжектируемых пучков быстрых атомов на четырех импульсных струях относительно холодной мишенной плазмы, создаваемых газоразрядными источниками (пушками) с щелевой геометрией разрядного канала [2, 3]. Размер сечения струи в ловушке определяется величиной магнитного потока, проходящего через разрядный канал плазменной пушки. Поэтому для получения требуемых размеров сечения струи каждая плазменная пушка помещена в импульсный соленоид с полем до 0,6 Тл. Плазменные струи, двигаясь вдоль магнитного поля из пушек в ловушку, проходят при этом участок относительно слабого магнитного поля (0,03—0,04 Тл), расположенный перед пробкой ловушки с полем до 2 Тл. Как показали эксперименты, наличие такой области слабого магнитного поля с неблагоприятной кривизной приводит к развитию неустойчивости по баллонным модам, в результате чего эффективная толщина мишенной плазмы в ловушке оказывается недостаточной для накопления горячей плазмы необходимой плотности.

В целях повышения параметров мишенной плазмы было принято решение об установке до-

полнительной пятой плазменной пушки, оптимально приближенной к магнитной пробке ловушки для устранения возможности развития баллонных возмущений. Для лучшего согласования магнитного потока, проходящего через газоразрядный канал источника, с оптимальной геометрией сечения мишенной плазмы в ловушке и в целях сохранения подобия с надежно работающими кольцевыми плазменными пушками была выбрана щелевая геометрия разрядного канала при повышенной величине магнитного поля в источнике.

ПЛАЗМЕННАЯ ПУШКА

Конструкция плазменной пушки с щелевой геометрией разрядного канала представлена на рис. 1. Рабочий газ (водород) напускался импульсным клапаном 1 во внутреннюю полость алюминиевого катода 2 с сотовой системой отверстий диаметром 0,5 мм для равномерного выхода газа по сечению катода. Полное количество напускаемого за время импульса газа до $2 \cdot 10^{19}$ молекул H_2 . Молибденовая диафрагма 3 служит анодом вспомогательного разряда, зажигаемого между ней и катодом 2 для инициирования основного. Задержка поджига разряда относительно начала

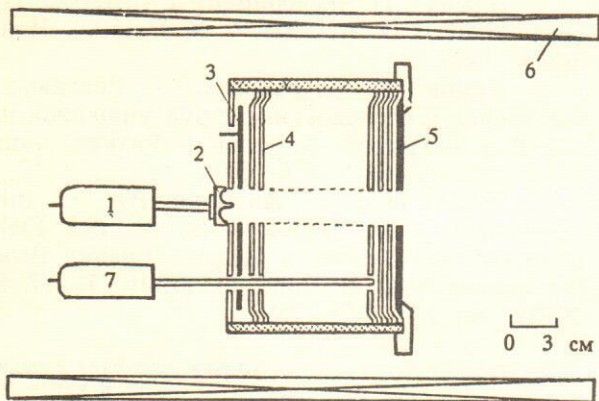


Рис. 1. Плазменная пушка с щелевой геометрией разрядного канала: 1, 7— импульсные газовые клапаны; 2— катод; 3— вспомогательный анод; 4— ограничивающие диафрагмы; 5— анод; 6— соленоид

напуска газа 2—4 мс. Длительность вспомогательного разряда составляет 20 мкс, величина тока 150 А. Основной разряд зажигается между катодом 2 и молибденовой анодной шайбой 5. Канал разряда ограничивается изолированными друг от друга профилированными шайбами 4 из нержавеющей стали толщиной 2 мм с шагом 4 мм. Размеры разрядного канала по осям 24×126 мм с радиусом на краях 12 мм. Ток разряда до 12 кА задается LC-линией с длительностью до 1,5 мс. Плазменная пушка находится в однородном магнитном поле импульсного соленоида 6. Величина поля до 0,9 Тл. Для расширения диапазона рабочих параметров источника плазмы предусмотрена возможность независимого напуска водорода в прианодную область импульсным клапаном 7.

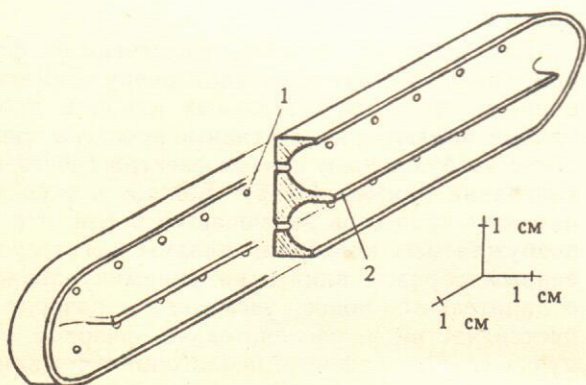


Рис. 2. Катод: 1— отверстия для напуска газа, 2— катодный гребень

Основное конструктивное отличие данного источника от кольцевой плазменной пушки, естественным образом связанное с новой формой сечения разрядного канала,— это существенно модифицированная геометрия катода (рис. 2), позволявшая решить задачу равномерного распределе-

ния катодных пятен без дополнительного набора внутренних диафрагм. Это обеспечивается наличием катодного гребня, создающего желобообразную квазиодноосвязную структуру, определяющую движение катодных пятен в обход гребня.

ПАРАМЕТРЫ ПЛАЗМЕННОЙ СТРУИ

Полученные параметры плазменной струи из щелевого источника плазмы близки к соответствующим параметрам кольцевой плазменной пушки [2, 3]. Максимальная плотность плазмы в струе на выходе из источника до 10^{15} см $^{-3}$, электронная температура 10—20 эВ. Варьирование параметров плазмы в струе достигается изменением газовых условий в разряде. Увеличение количества напускаемого газа в прианодную область источника или увеличение задержки поджига разряда относительно начала напуска газа в катод приводит к увеличению плотности плазмы и падению электронной температуры. Поток ионов водорода из щелевой плазменной пушки составляет 2—4 кА.

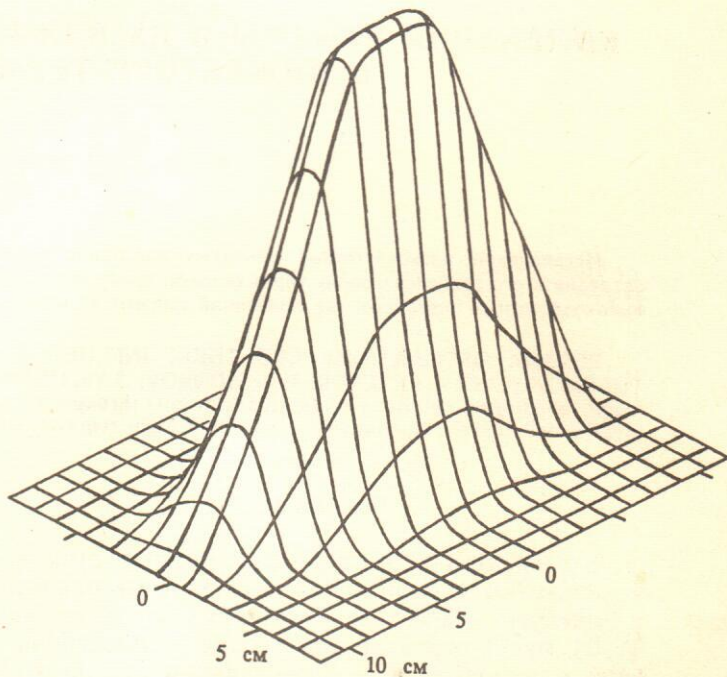


Рис. 3. Изометрическая карта распределения плотности плазмы в центральном сечении пробкотрона

Увеличение магнитного поля в источнике позволило в несколько раз снизить β в плазменной струе, что положительно сказалось на ее устойчивости относительно баллонных возмущений на участках транспортирующего поля с неблагоприятной кривизной. Вместе с более близким по отношению к магнитной пробке размещением щелевой плазменной пушки это позволило значительно улучшить параметры мишенной плазмы в средней плоскости ловушки АМБАЛ-Ю. Пиковая плотность плазмы достигла величины $3 \cdot 10^{14}$ см $^{-3}$. На рис. 3 представлено распределение плотности

плазмы в струе щелевого источника в центральном сечении пробкотрона. Вклад в толщину мишенной плазмы составляет $\geq 7 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ по высоте 15 см. В результате вместе с периферийными струями из кольцевых источников в ловушке создается мишенная плазма, обеспечивающая захват ионов из инжектируемых поперек магнитного поля широкоапертурных атомарных пучков с эффективностью свыше 60%.

Авторы считают своим долгом выразить благодарность В.Е. Чуприянову, В.Г. Соколову, В.В. Демидову, В.М. Карлинеру и другим участникам эксперимента АМБАЛ-Ю за внедрение щелевой плазменной пушки в установку, а также Г.Ф. Кузнецову за выполнение рабочих чертежей пушки.

Список литературы

1. Димов Г.И. Эксперимент АМБАЛ-Ю: Препринт ИЯФ СО АН СССР № 87-150.— Новосибирск, 1987.
2. Димов Г.И., Иванов А.А., Росляков Г.В. Получение и исследование струи мишенной плазмы для открытой ловушки.— Физика плазмы, 1982, т. 8, вып. 5, с. 970—978.
3. Ivanov A.A. Axisymmetric mirror experiments.— In: Mirror — Based and Field — Reversed Approaches to Magnet. Fusion: Proc. of the course held at Varenna (Italy, 7—17 Sept. 1983), vol. 1, p. 279—289.

Статья поступила в редакцию
6 марта 1989 г.