

## **Генерация плазмы с помощью геликонных волн для разработки метода плазменной сепарации**

А.В. Гавриков<sup>1,2</sup>, В.А. Ворона<sup>1,2</sup>, О.О. Самойлов<sup>1,2</sup>, Р.А. Тимирханов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Объединенный институт высоких температур РАН

<sup>2</sup>Московский физико-технический институт (государственный университет)

Одна из ключевых проблем при разработке метода плазменной сепарации отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) это генерация буферной плазмы с плотностью  $\sim 10^{12}$  см<sup>-3</sup> и температурой электронов  $\sim 5$  эВ [1] в камере объемом  $\sim 1$  м<sup>3</sup> с внешнем магнитным полем  $\sim 1$  кГс. С учетом этих требований и особенности геометрии установки в качестве источника буферной плазмы выбран геликонный разряд[2].

Особенностью задачи является необходимость генерации плазмы в цилиндрическом объеме диаметром 0,865 м и длиной 1,5 м с проводящими стенками. В подавляющем большинстве работ, посвященных изучению геликонных источников плазмы, генерация осуществлялась в объемах с характерными диаметрами порядка 10 см, ограниченными диэлектрическими стенками, и согласно [3] вопрос создания однородной плазмы высокой плотности ( $10^{12}$  -  $10^{13}$  см<sup>-3</sup>) в большом объеме (1 м<sup>3</sup>), требует дополнительного экспериментального и теоретического исследования. Таким образом, задача создания геликонного источника плазмы для целей плазменной сепарации является актуальной и именно её рассмотрению посвящена настоящая работа.

Согласно выполненным оценкам и исследованиям [4] выбрана соленоидальная геликонная антенна с диаметром 30 см, длиной 50 см и количеством витков 2.

Эксперименты по генерации высокочастотной плазмы проводились в атмосфере аргона при давлении 1 мТорр в цилиндрической вакуумной камере с напряженностью магнитного поля 930 Гс, направлением вдоль оси камеры. В качестве источника питания использовался высокочастотный генератор с частотой 5,28 МГц и мощностью до 40 кВт.

В ходе экспериментов было обнаружено, что значительная часть энергии высокочастотного источника вкладывается в генерацию плазмы в пространстве, локализованном между проводящими стенками камеры и антенной, что обусловлено наличием емкостной связи между ними (см. «рис. 1»). Для уменьшения емкостной составляющей разряда была предложена конструкция антенны, представленная на «рис. 2». В ней проблема разрешается с помощью откачки пространства между диэлектрическим цилиндром и проводящей стенкой до вакуума порядка  $10^{-5}$ - $10^{-6}$  Торр.

Разработана конструкция охлаждаемого экрана Фарадея («рис. 2»), который локализует электростатическое поле между антенной и экраном, не воздействуя при этом на индуктивную составляющую электромагнитного поля антенны. Это ослабляет емкостную связь между плазмой и антенной, что, во-первых, уменьшает распыление диэлектрического цилиндра ускоренными поперек экрана ионами, во-вторых, снижает радиочастотные флуктуации потенциала плазмы [5], которые усложняют диагностические измерения разряда.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-29-00231)».

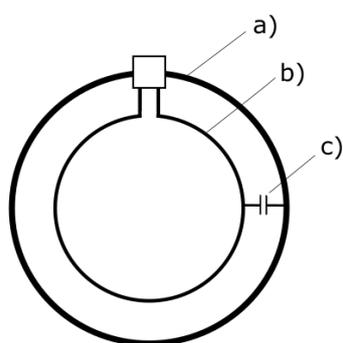


Рис. 1. Конструкция погруженной в плазму антенны; а) проводящие стенки камеры; б) антенна; в) ёмкостная связь между антенной и стенками.

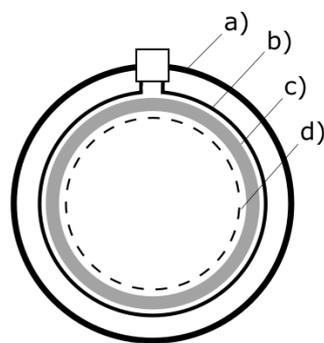


Рис. 2. Конструкция антенны, находящейся вне области генерации плазмы; а) проводящие стенки камеры; б) антенна; в) диэлектрический цилиндр; д) экран Фарадея.

#### Литература

1. *Bekhtenev A.A. and Volosov V.I.* Problems of a thermonuclear reactor with a rotating plasma – Nuclear Fusion – 1980. – vol. 20. – pg. 579.
2. *High Density Plasma Sources / ed. by O.A. Popov.* – New Jersey: Neyes Public., 1995. 465 с.
3. *Scime E.E., Keese A.M. and Boswell R.W.* Mini-conference on helicon plasma sources - Phys. Plasmas. – 2008. – vol. 15. – pg. 058301.
4. *Кралькина Е.А.* Индукционный высокочастотный разряд низкого давления и возможности оптимизации источников плазмы на его основе – УФН. – 2008. – Т. 178. – №5. – С. 519
5. *Chabert P., Braithwaite N.* Physics of Radio-frequency plasmas. – Cambridge: Cambridge University Press, 2011. – 253 с.