ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗОНАТОРА БЕЕНАКЕРА ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ОДНОРОДНОГО СТОЛБА НЕРАВНОВЕСНОЙ ПЛАЗМЫ АРГОНА: ЭКСПЕРИМЕНТ И 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ

А.В. Татаринов, M. Cvejić\*, И.Л. Эпштейн, S. Jovićević\*, N. Konjević \*\*, Ю.А. Лебедев

ФГБУН ИНХС РАН, [atat@ips.ac.ru](mailto:atat@ips.ac.ru)  
\*Institute of Physics, University of Belgrade, 11081 Belgrade, P.O. Box 68, Serbia  
\*\*Faculty of Physics, University of Belgrade, 11001 Belgrade, P.O. Box 368, Serbia

Для получения протяженных столбов неравновесной низкотемпературной СВЧ плазмы могут использоваться различные устройства, такие как сурфатроны разных конструкций [1], так и резонаторы [2]. В настоящей работе описываются результаты экспериментов и моделирования протяженного столба аргоновой плазмы пониженного давления, полученного с помощью резонатора Беенаккера [3]. Разряд зажигался внутри кварцевой трубки при давлении 0.5 тор. Кварцевая трубка проходит через центр резонатора, как в случае модификации Ван Далена резонатора Беенакера [4]. Подстроечный кварцевый стержень перемещается до положения, при котором зажигается плазменный столб. Используется коммерческий СВЧ генератор на частоте 2.45 ГГц с выходной мощностью 80Вт. Оптическое излучение разряда регистрировалось цифровой фотокамерой и спектрометром.

Поскольку в исследованных режимах и геометрии разрядной системы длина релаксации энергии электронов значительно превышает радиус разрядной трубки, для описания разряда используется самосогласованная модель в нелокальном приближении [5]. Модель включает в себя уравнение баланса энергии электронов, уравнения Максвелла, уравнение Больцмана для свободных электронов плазмы, уравнение Пуассона и кинетических уравнений для электронов, ионов аргона (Ar+ и Ar2+) и электронных возбужденных состояний аргона: связанного метастабильного 3P2 ÷3P0 уровня, связанного резонансного 3P1 ÷ 1P1 уровня и 3-х вышележащих сосредоточенных уровней [6]. Электродинамическая система является асимметричной и для описания используется трехмерная модель. Моделирование прово-дится при помощи программы Comsol 3.5a использующий метод конечных элементов [7].

Моделирование показало, что однородный плазменный шнур появляется при определенной длине подстроечного стержня. Показано, что плотность возбужденных атомов в резонансном состоянии однородна вдоль оси трубки вне резонатора, что объясняется нелокальностью проблемы. Моделирование дает возможность получения дополнительной информации о параметрах плазмы внутри резонатора, структуре СВЧ и постоянного полей. Детальное моделирование столба аргоновой плазмы зажигаемого внутри резонатора Беенакера подтверждают результаты экспериментов.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант # 11-02-00075) и Serbian Ministry of Education, Science and Technological Development under projects # 171014

Литература

1. Moisan M., Pelletier J., *Microwave excited plasmas*, Elsevier, Amsterdam, 1992
2. Lebedev Yu.A., J. Moscow Phys. Soc., 1997, 7, 267-271
3. Beenakker C. I. M., Spectrochim Acta, 1977, 32B, 173-187
4. Van Dalen J. P. J., *et al*, Spectrochim Acta, 1978, 33B, 545-549
5. Кудрявцев А. А., Цендин Л. Д. *Физика тлеющего разряда*,Лань*,* Ст. Петербург, 2010
6. Dyatko N.A., Ionikh Y.Z., Kochetov I.V., *et al*, J. Phys. D: Appl. Phys. 2008, **41**, 055204
7. COMSOL 3.5a, <http://www.comsol.com>