**ВЛИЯНИЕ ПРОДОЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ**

**ПЛАЗМЫ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАЗМЕННОЙ АНТЕННЫ**

***СТЕПИН В.П., БОГАЧЕВ Н.Н., АНДРЕЕВ С.Е., ЖУКОВ В.И.***

*Аспирант, Сотрудник к.ф.-м.н., Сотрудник к.т.н., Сотрудник к.ф.-м.н.*

Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук, Москва, Россия

E-mail: vjacheslav-stepin@rambler.ru

Одним из направлений развития физики плазмы и радиофизики является создание плазменных антенн. Данный класс антенн отличается возможностью осуществления динамического управления радиочастотными характеристиками антенн за счет изменения величины и пространственного распределения плотности электронов в газоразрядных частях. В данной работе рассматривается влияние распределения плотности электронов в плазме излучающего тела несимметричной вибраторной антенны [1-10]. Антенна представляла собой стандартную газоразрядную трубку коммерческой люминесцентной лампы (длина 160, диаметр 12 мм), наполненную аргоном при давлении 1–3 Торр и парами ртути при давлении ≈0,01 Торр, с дисковым экраном диаметром 200 мм. Возбуждение разряда в трубке осуществлялось частью передаваемой через антенну мощности на частоте 443 МГц (СВЧ-разряд на поверхностной волне). [3]

С помощью цилиндрического СВЧ резонатора (мода E11) выполнена оценка аксиального распределения [15-16] средней по объему плотности электронов в плазменном столбе антенны и показано, что она уменьшается по линейному закону с удалением от основания излучающего тела с коэффициентом 0,5 см-3/см. На длине трубки плотность уменьшается в пять раз. Полученные экспериментальные результаты хорошо согласуются с результатами численного моделирования, выполненного в электромагнитном коде КАРАТ в 2,5D геометрии с использованием метода конечных разностей во временной области для расчета электромагнитного поля и метода «частица в ячейке» (Particle-in-Cell).

В численном моделировании для давлений аргона в диапазоне от 0,1 Торр до 1 Торр достигнут стационарный режим разряда, получены значения концентраций электронов и их продольное и радиальное распределение, также получены значения тока в плазме и их распределения поля внутри газоразрядной трубки и в ближней зоне.

Полученные распределения были использованы при осуществлении оценки радиочастотных характеристик антенны в результате ее моделирования в среде программы COMSOL Multiphysics. Переход от однородного распределения к экспериментально полученному аксиально-убывающему слабо меняет направление основного лепестка (не более 5°) диаграммы направленности антенны, приводит к значительному уменьшению направленности излучения (около 30 %) и увеличению ширины основного лепестка диаграммы направленности на 45°.

**Благодарности**

Авторы выражают благодарность д.ф.-м.н., профессору Гусейн-заде Н.Г., д.т.н., доценту Замуруеву С.Н., к.ф.-м.н. Усачёнку М.С., к.ф.-м.н. Сергейчеву К.Ф., к.ф.-м.н. Карфидову Д.М., к.ф.-м.н. Богданкевичу И.Л., д.ф.-м.н. Симончику Л.В. за помощь в организации и проведении экспериментальных измерений и за полезные предложения и замечания.

*Список литературы*

1. Bogachev N. N., Gusein-zade N. G., Nefedov V. I. //Plasma Physics Reports. – 2019. – Т. 45. – С. 372-375.
2. Borg G. G., Harris J. H., Martin N. M.et al. Physics of Plasmas, 2000, 75, 2198-2202.
3. Rayner J. P., Whichello A. P., Cheetham A. D. IEEE Trans. on plasma science, 2004, 32(1), 269-281.
4. Istomin E. N. et al. Plasma asymmetric dipole antenna excited by a surface wave //Plasma physics reports. – 2006. – Т. 32. – С. 388-400.
5. Ye H.Q., Gao M., Tang C.J. IEEE Trans. on Antennas and Propagation, 2011, 59(5), 1497-1502.
6. Kumar R., Bora D. A reconfigurable plasma antenna //Journal of Applied Physics. – 2010. – Т. 107. – №. 5.
7. Sadeghikia F., Noghani M. T., Simard M. R. AEU-International Journal of Electronics and Communications, 2016, 70(5), 652-656.
8. Bogachev N. N. et al. Semiconductor plasma antennas formed by laser radiation //Technical Physics Letters. – 2019. – Т. 45. – С. 1223-1225.
9. Anderson T. Plasma antennas. Artech House, 2020, 352 p.
10. Magarotto M. et al. Plasma Antennas: A Comprehensive Review //IEEE Access. – 2024.
11. Naito T. et al. Radiation characteristics of input power from surface wave sustained plasma antenna //Physics of Plasmas. – 2016. – Т. 23. – №. 9.
12. Moisan M. et al. The waveguide surfatron: a high power surface-wave launcher to sustain large-diameter dense plasma columns //Journal of Physics E: Scientific Instruments. – 1987. – Т. 20. – №. 11. – С. 1356.
13. Moisan M., Levif P., Nowakowska H. Space-wave (antenna) radiation from the wave launcher (surfatron) before the development of the plasma column sustained by the EM surface wave: A source of microwave power loss //AMPERE Newslett. – 2019. – Т. 98. – С. 9-19.
14. Жуков В. И., Карфидов Д. М., Сергейчев К. Ф. Распространение СВЧ-разряда, поддерживаемого поверхностной волной в кварцевой трубке в воздухе низкого давления //Физика плазмы. – 2020. – Т. 46. – №. 8. – С. 760-768.
15. В. Е. Голант Сверхвысокочастотные методы исследования плазмы, М., «Наука», 1968, 327 с.
16. А. С. Смирнов, К. С. Фролов, “Исследование тлеющего разряда в электроотрицательных газах с помощью открытого СВЧ резонатора”, *ЖТФ*, 58:10 (1988), 1878–1884