ГЛОБАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ЕМКОСТНОГО РАЗРЯДА НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ С БОЛЬШОЙ ПЛОЩАДЬЮ ЭЛЕКТРОДОВ [[1]](#footnote-1)\*)

1Двинин С.А., 2Кодирзода З.А., 3Синкевич О.А., 2Солихов Д.К.

1МГУ имени М.В.Ломоносова, Россия, Москва, [dvinin@phys.msu.ru](mailto:dvinin@phys.msu.ru)  
2ТНУ, Физический Факультет, Таджикистан, Душанбе, [davlat56@mai.ru](mailto:davlat56@mai.ru) 3НИУ МЭИ, Москва, Россия, [oleg.sinkevich@itf.mpei.ac.ru](mailto:oleg.sinkevich@itf.mpei.ac.ru)

Высокочастотные емкостные (ВЧЕ) разряды низкого давления широко используются для сухого травления тонких пленок и плазменного химического осаждения [1–3]. Электродинамическая модель симметричного разряда была построена в [2]. Эксперименты [3] и численные расчеты [4], показали, что несимметрия может быть обусловлена как несимметричным возбуждением, так и спонтанным формированием осевой или азимутальной неоднородности разряда.

Спонтанное нарушение симметрии разряда при низких давлениях может быть связано с возможностью поддержания различными модами поля, в частности, изменением соотношения амплитуд четной и нечетной поверхностных волн. Геометрия установки, для которой строилась модель изображена на рис. 1. Предполагалось, что ВЧ мощность подводится к двум электродам 1 и 2 помещенными в вакуумную камеру 5. Между плазмой 3 и электродами, а также стенкой камеры существуют слои пространственного заряда 4. Предполагалось, что их толщина пропорциональна амплитуде колебаний границы плазмы.

|  |  |
| --- | --- |
| Fig_Statya_3_2019_3A5A  Cхема установки: 1, 2 – верхний электрод и подложкодержатель, 3 – плазма, 4 – слои пространственного заряда, 5 – вакуумная камера | Распределение электромагнитного поля в плазме описывалась системой уравнений Максвелла в приближении холодной плазмы, плазма – с помощью уравнений теплопроводности электронного газа и баланса частиц. Для расчета вольтамперных характеристик разряда была построена глобальная модель разряда, в которой пространственное распределение плазмы описывалось двумя слагаемыми, описывающими однородное распределение плотности плазмы и ее возмущение, обусловленное неоднородностью ионизации. Амплитуды поверхностных волн и высших мод рассчитывались с помощью соотношений, аналогичных [2], но учитывающим |

дополнительно неравенство толщин слоев пространственного заряда и несимметрию полей четной и нечетной поверхностных волн.

Расчеты в рамках глобальной модели сопровождались расчетом пространственной структуры электромагнитного поля и импеданса разряда с помощью программы Comsol Multiphysics® и показали удовлетворительное согласие.

Литература

1. Adamovich I., Baalrud S. D., Bogaerts A. et all. J. Phys. D: Appl. Phys. 2017, V.50, 323001.
2. Двинин С.А., Синкевич О.А., Кодирзода З.А., Солихов Д.К. Физика плазмы. 2020. Т. 46. №12, с. 1094; 2021. Т. 47, с. 40; с. 195.
3. Двинин С.А., Постников С.А., Солнцев Г.С., Цветкова Л.И. // Физика плазмы. 1983. Т. 9. С. 1297.
4. Kawamura E., Lieberman M. A., and Lichtenberg A. J. Phys. Plasmas, 2018. V. 25. 093517; https://doi.org/10.1063/1.5048947 25, 093517
5. Двинин С.А., Довженко В.А., Солнцев Г.С. Физика плазмы. 1982. Т. 8. С. 1228.

1. \*) [DOI – тезисы на английском](http://www.fpl.gpi.ru/Zvenigorod/L/Pt/en/GZ-Dvinin_e.docx) [↑](#footnote-ref-1)