СТРУКТУРА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ И ИМПЕДАНС ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ЕМКОСТНОГО РАЗРЯДА С ЭЛЕКТРОДАМИ БОЛЬШОЙ ПЛОЩАДИ

С.А. Двинин

Московский Государственный Университет имени М.В Ломоносова, Физический Факультет, Россия, Москва, dvinin@phys.msu.ru

Рассмотрена задача о емкостном ВЧ разряде низкого давления (ν<<ω) с электродами большой площади (радиус 22.5 см) при возбуждении его электромагнитным полем частотой 100 МГц. Разряд в этих условиях поддерживается поверхностными волнами, распространяющимися вдоль границы плазма – слой пространственного заряда – металл [1]. Слой пространственного заряда представляет собой область, обедненную электронами, образующуюся вследствие отсутствия термодинамического равновесия между плазмой и стенкой. Аналитические выражения для дисперсионных характеристик поверхностных волн рассмотрены в работе [2].

В силу наличия двух границ, в разряде при этом возможно существование двух поверхностных волн. Если слои пространственного заряда имеют одинаковые толщины, распределение поля одной волны будет четно, а второй нечетно. Расчет показывает, что длина нечетной поверхностной волны, существенно меньше длины четной волны. Поэтому пространственный резонанс для этой волны может наблюдаться при меньших радиусах электродов. В этом случае амплитуда несимметричной будет превышать амплитуду симметричной даже при слабом нарушении симметричности возбуждения разряда.

Однако в последнее время несимметричность возбуждения используется для создания дополнительного ВЧ поля в периферийной области плазмы, позволяющего выровнять пространственное распределение плотности электронов вдоль электрода [3]. Характеристики разряда при слабо несимметричном возбуждении разряда в предположении равенства толщин слоев пространственного заряда рассмотрены в работе [4], продолжением которой является настоящее исследование. В условиях реальных реакторов, в особенности при многочастотном возбуждении слои пространственного заряда у электродов имеют разные размеры. В данной работе рассчитаны характеристики поверхностных волн в несимметричной системе, учитывающие данный эффект. При этом поверхностные волны нельзя разделить на симметричную и антисимметричную и даже при симметричном подводе ВЧ напряжения возбуждаются обе волны. Интерференция этих волн может привести к появлению неоднородности ионизации в пространстве между электродами и нарушению однородности плазмы.

В работе рассчитаны импедансы разряда при возбуждении обеих поверхностных волн и предложена эквивалентная схема разряда, позволяющая найти амплитуды каждой из волн, а также ВЧ токи на боковую стенку разрядной камеры. Полученные результаты позволяют определить условия оптимального возбуждения разряда для реализации однородного разряда с высокой плотностью электронов.

Литература

1. Chabert P. J. Phys. D, 2007, 40, R63.
2. Dvinin S.A., et al. Plasma Physics Reports, 2008, 34, p. 687, p. 698
3. Sung D., Woo J., Lim K., Kim K., Volynets V., Kim G.-H. J. Appl. Phys., 2009, V.106, 023303.
4. Двинин С.А., Михеев В.В. XL Международная (Звенигородская) конференция по физике плазмы и УТС, 11 – 15 февраля 2013 г., с. 248.