Шнурование ЕМКОСТНОГО Высокочастотного разряда при низких давлениях

С.А. Двинин, З.А. Кодирзода

Московский Государственный Университет имени М.В Ломоносова, физический факультет, г. Москва, Россия, [dvinin@phys.msu.ru](mailto:dvinin@phys.msu.ru)

В высокочастотных разрядах могут наблюдаться неустойчивости, нарушающие однородное распределение плотности плазмы [1 – 3]. В модели [1] неустойчивость связана с особенностями процессов переноса при немаксвелловсой функции распределения электронов. В данной работе рассмотрена задача об устойчивости емкостного разряда между двумя цилиндрическими электродами высотой L и радиусами *R*1 и *R*2 при низком давлении. При построении электродинамической модели учтено существование слоев пространственного заряда с толщинами *d*1 и *d*2 на границе плазмы и электродов. Толщины *d*1 и *d*2 вычислялись как функции плотности и температуры электронов и напряженности поля [4], с использованием матричной модели слоя [5]. В предположении, что потенциал электрода есть *U*= *U*S – *Z*S*I*, где *U*S, *Z*S — напряжение и внутреннее сопротивление ВЧ источника, можно показать, что эволюция плотности электронов удовлетворяет уравнению

,

где *F*(*N*) = {*F*1(*N*) – 1}*N*, *F*1(*N*) = *ξ*{(1 – *N*)2 + *N*2ν2/ω2}–γ, *N*= *n*(*R*2 – *R*1)/*n*C/(*d*1 + *d*2), *n*C = *m*ω2/4*πe*2, *ξ*0 *= νi*0*Λ2/D*a, *ξ = ξ*0(*U*/*US*)γ. В аналитической модели используется степенная аппроксимация частоты ионизации *ν*I *= ν*i0(*E*/*E*0)γ, Da — коэффициент амбиполярной диффузии, Λ — поперечный диффузионный размер. Значение *N*= 1 соответствует геометрическому резонансу плазма-слой пространственного заряда [6].

При однородном заполнении разрядной камеры плазмой данный резонанс [6] приводит к значительному уменьшению напряжения на разряде. Если плазма заполняет только часть разрядной камеры, незаполненная часть имеет емкостной импеданс, но ее емкость мала из-за большого межэлектродного расстояния. В работе показано, что при больших радиусах плазмы *R*2 – *R*1<< *R*2 однородное распределение плотности электронов может быть неустойчивым, если частота поля выше частоты геометрического резонанса, а выходное сопротивление ВЧ генератора достаточно велико. При питании разряда от источника напряжения разрядная камера заполняется плазмой полностью. При достаточно большом сопротивлении может наблюдаться шнурование разряда.

В простой аналитической модели, предполагающей, что пространственное распределение электромагнитного поля определяется распределением плотности плазмы в данном азимутальном сечении, размер шнура уменьшается с увеличением внутреннего сопротивления и увеличивается с уменьшением давления газа вследствие большей интенсивности процессов переноса. Результаты аналитической модели подтверждены численным моделированием.

Литература

1. Mackey D., Plantié L., Turner M.M. Appl. Math. Lett. 2005, **18**, 865.
2. Schulze J., lscher D.L., and Czarnetzki U. IEEE Transaction on plasma science, 2008, **36,** 1402.
3. Двинин С.А., Довженко В.А., Солнцев Г.С. Физика плазмы, 1983, **9,** 1297.
4. R. Buckley R. Proc. Roy. Soc. **A290** (1966) 186.
5. Lieberman M.A., Lichtenberg A.J.: Principles of Plasma Discharges and Material Processing (N.-Y.: Wiley, 2005).
6. Taillet J. American Journal of Physics, 1969, **37**, 423.