

基于COMSOL的潘宁离子源优化结构研究

李杰¹, 周晓华²

1. 西京学院, 西安, 陕西, 中国
2. 西京学院, 西安, 陕西, 中国

简介: 为寻求可控中子管用潘宁离子源的最优结构参数, 为高产额中子管提供大流强离子源, 采用COMSOL Multiphysics软件进行模拟仿真来对比结果。

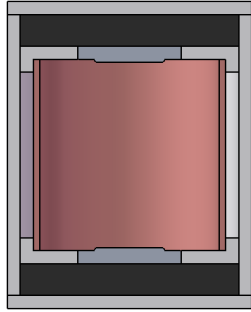


图 1. 潘宁离子源结构

计算方法: 采用二维轴对称氩气流体力学模型来绘制离子源的几何结构, 离子源内部属于电容耦合等离子体反应类型, 采用AC/DC和等离子体多物理场模块来模拟离子源内部的反应情况。其中式1-3分别表示质量守恒方程、动量方程和能量方程。

$$1、\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho u) = 0$$

$$2、\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \nabla(\rho u u) + \nabla P = \rho F$$

$$3、\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{1}{2} \rho u^2 + \rho \varepsilon \right) + \nabla \left[\left(\frac{1}{2} \rho u^2 + \rho \varepsilon + P \right) u \right] = 0$$

离子源的二维轴对称几何模型结构如下图2所示:

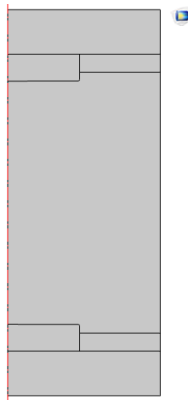


图 2. 离子源几何模型

结果: 针对离子源结构的优化几何参数进行扫描, 绘制各种可能提升离子源产额的几何结构, 进行模拟, 其中包括锥形结构等。

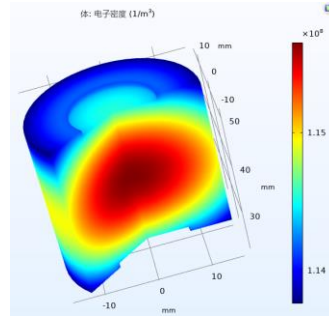


图 3. 优化结构电子密度分布图

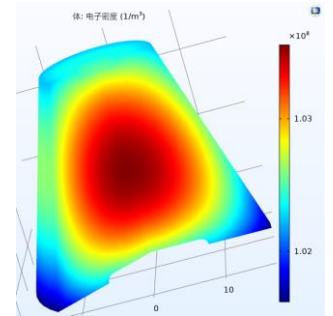


图 4. 锥形结构电子密度分布图

变量	数值	单位
初始密度	E^{14}	$1/m^3$
二次发射系数	0.2	1
约化电子迁移率	$1.41E^{24}$	$\frac{1}{(v \cdot m \cdot s)}$
大气压	10^{-2}	Pa

表 1. 初始条件设置

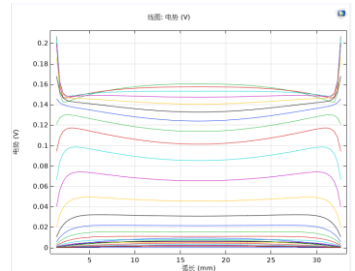


图 5. 离子源径向电势图

结论: 在对潘宁离子源做的一系列优化结构的建模模拟结果对比得出, 存在潘宁源的最优结构二维结构轴向与径向之比为0.8, 与实际生产的参数相接近。使用COMSOL Multiphysics软件可以更大限度的去设计绘制几何模型, 模拟测试也是实现实验操作的基础成本, 通过这些模拟可以发现更多更有研究价值的离子源优化结构问题。

参考文献:

1. Jie Li, A simulation study of argon discharge in PIG ion source with axial magnetic field. IOP Science, Conference Series ,(2020).
2. Lu H, Yue C, Li W, Zhai W, Jiang Z, Wei B Nucl. Sci. Tech.(2000).
3. Jia R, Luo T ,Nuclear Fusion and Plasma Physics ,(2018).
4. Huang J, Qiao S, Atomic Energy Science and Technology,(2014).