

# 等离子体对称性破缺研究

巨少甲<sup>1</sup>, 周晓华<sup>2</sup>

1. 陕西省可控中子源工程技术研究中心, 西京学院, 西安市, 陕西省, 中国
2. 陕西省可控中子源工程技术研究中心, 西京学院, 西安市, 陕西省, 中国

**简介:** 当等离子体内部放电达到稳定之后, 研究内部气体压强的变化对等离子体内部电子数密度分布的影响。

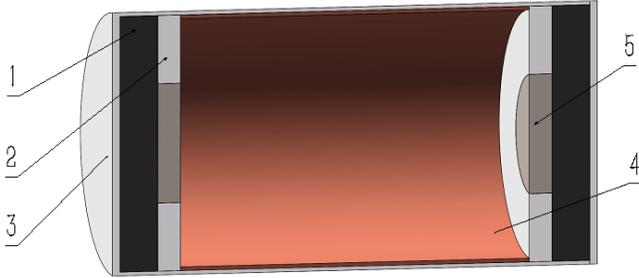


图1 PIG离子源结构截面图。

1-磁铁, 2-陶瓷环, 3-壳体, 4-阳极筒, 5-阴极。

**计算方法:**

(1) 电子的连续性方程:

$$\frac{\partial n_e}{\partial t} + \nabla \cdot \Gamma_e = R_e - (\mathbf{u} \cdot \nabla) n_e$$

(2) 电子的能量守恒方程:

$$\frac{\partial n_e}{\partial t} + \nabla \cdot \Gamma_e + \mathbf{E} \cdot \Gamma_e = s_{en} - (\mathbf{u} \cdot \nabla) n_e + (Q + Q_{gen}) / q$$

(3) 电子的动量守恒方程:

$$\begin{aligned} \frac{\partial n_e}{\partial t} (n_e m_e \mathbf{u}_e) + \nabla \cdot n_e m_e \mathbf{u}_e^T \\ = -(\nabla \cdot \mathbf{P}_e) + q n_e \mathbf{E} - n_e m_e \mathbf{u}_e \nu_m \end{aligned}$$

**模型:** 建立的潘宁离子源二维轴对称的几何模型如图2所示, 其中红色虚线是二维模型的对称轴, 磁感应线沿轴穿过整个离子源, 并与对称轴平行。

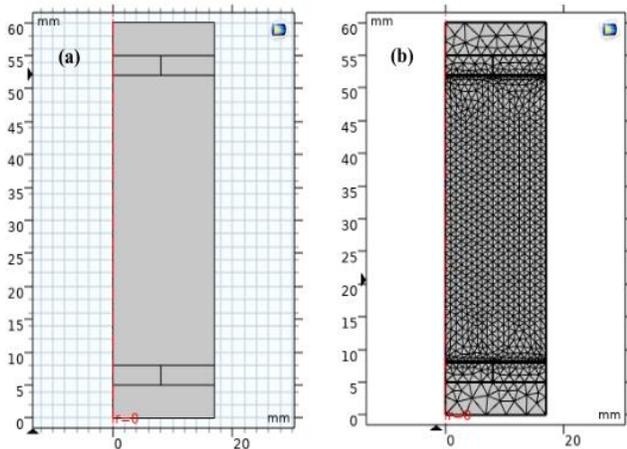


图2 离子源二维几何模型和网格剖分模型。

(a) 二维轴对称几何模型; (b) 模型网格剖分模型图

**结果:** 随着内部反应气体压强的增加, 电子数密度由低气压时的一个高密度中心, 逐渐向阴极两侧扩散, 形成两个高密度中心, 并且呈不对称分布。

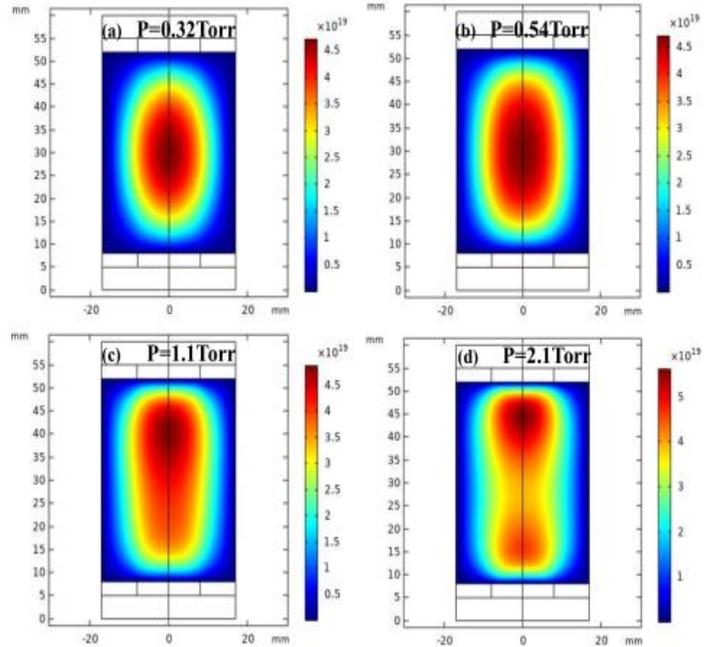


图3 不同气体压强下的电子数密度分布图 (a) 0.32 Torr 气压下电子数密度分布图; (b) 0.54 Torr 气压下电子数密度分布图; (c) 1.1 Torr 气压下电子数密度分布图; (d) 2.1 Torr 气压下电子数密度分布图。

**结论:** 通过模拟了潘宁离子源内部氩气放电过程中随着反应气体压强的变化, 分析其内部电子数密度的分布趋势。分别计算了4种不同内部气体反应压强下等离子体中产生的电子数密度。通过分析二维电子数密度分布图进行分析。

因此可以得出结论, 随着内部反应气体压强的增加, 电子数密度分布由中心开始向两侧扩散, 从而等离子体的分布出现不对称性, 并且两侧的电子数密度分布不均不一。

**参考文献:**

- [1] Knauer W 1962 J. Appl. Phys. 33 2093.
- [2] Das B, Das R, Shyam. A 2011 AIP Conference Proceedings 1349 447
- [3] 姜瀚. 负潘宁源中子管的离子源及引出系统仿真研究[D]. 东北师范大学, 2019.
- [4] 乔双, 范琦, 杨智清, 曾军, 李刚. 中子管内潘宁离子源的建模与控制[J]. 原子能科学技术, 2018, 52(07): 1316-1320.
- [5] 肖坤祥, 孙山, 谈效华, 金大志. 微型潘宁离子源引出结构计算仿真与设计[J]. 测井技术, 2009, 33(05): 493-496.
- [6] 万瑞芸, 谈效华, 肖坤祥, 金大志. 潘宁离子源研究概述[J]. 机电工程技术, 2009, 38(09): 17-19+69+159.
- [7] 石磊, 钱沐杨, 肖坤祥, 黎明. 低气压条件下氢气潘宁放电的模拟分析[J]. 物理学报, 2013, 62(17): 347-353.
- [8] 张文茹. 氩气放电的流体力学模拟及其COMSOL软件的验证[D]. 大连理工大学, 2013.
- [9] 王权. 低气压等离子体放电增强影响研究[D]. 北京工业大学, 2018.