

用于材料表面处理的大气压射流微波等离子体发生装置

潘惠 杨阳

四川大学电子信息学院 (610065)

摘要：材料的表面处理及功能化可以在保持材料原有性能的前提下，赋予材料表面新的性能，改善材料表面的亲水/疏水性、生物相容性、粗糙度、着色性、抗静电性等，因而材料的表面处理对于改善材料表面性能和赋予材料特殊功能有至关重要的作用。但传统的表面处理涉及强氧化或强辐射，易造成污染。低温等离子体表面处理技术具有温度低、化学活性高、可控性强、无污染及无废弃物等优点，特别适用于一些温度敏感材料(如生物材料)及形状复杂工件的表面处理，因此，低温等离子体表面处理技术可广泛用于材料表面改性、表面功能化、表面功能涂层沉积以及表面刻蚀等领域。

基于等离子体表面处理技术的广泛应用，本文设计了工作频率为 2.45GHz 的同轴结构大气压射流微波等离子体发生装置，如图 1 所示，它利用微波能量在同轴结构开路端产生高强度的电场集中区域，从而激发气体放电产生等离子体，在气流的作用下，可以在大气中产生定向流动的温度低且活性高的等离子体射流。

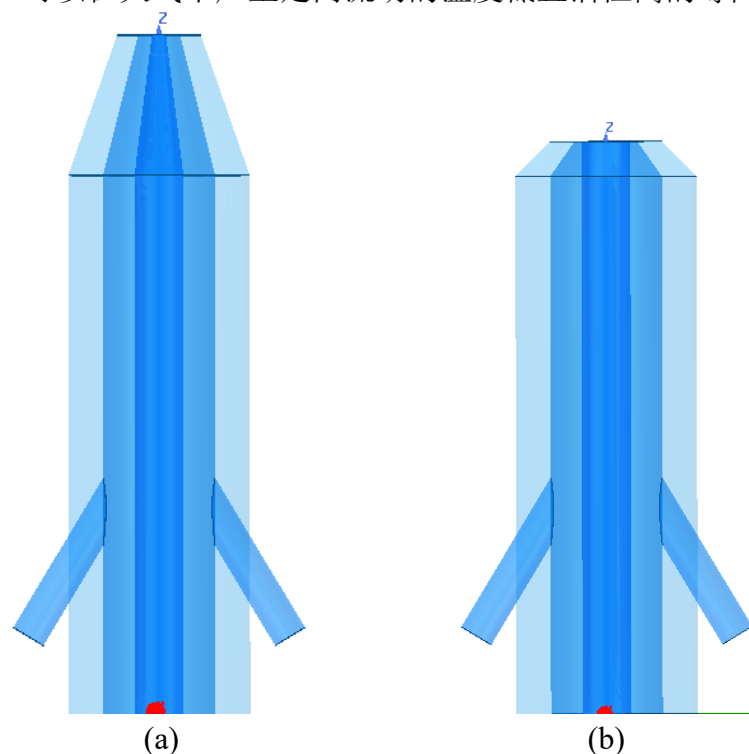


图 1. 不同尺寸的大气压射流微波等离子体发生装置

由于不同的驱动方式或结构等因素会对等离子体射流造成影响，因而需要利

用数值模拟来分析射流微波等离子体的物理机制。本文运用流体近似理论模型，通过数值模拟的方法建立大气压微波等离子体多物理场耦合模型，分析微波激发等离子体放电产生的电子密度的分布和特性，探究电磁波在等离子体中的传播规律。利用多物理场仿真软件 COMSOL 建立耦合了流体场、电磁场以及等离子体等多物理场的二维同轴射流等离子体模型，基于时域下对纳维斯托克斯方程、亥姆霍兹方程及近似玻尔兹曼方程进行解耦计算，计算框图如图 2 所示，等离子体为流体模型提供气体密度和动力粘度，流体场为等离子体提供气压和流速，实现等离子体和流体的双向耦合，获得射流微波等离子体的电子密度分布，如图 3 所示。

通过数值模拟观察到了射流等离子体各项参数的分布特性，旨在为射流微波等离子体的材料表面处理提供参考与指导。

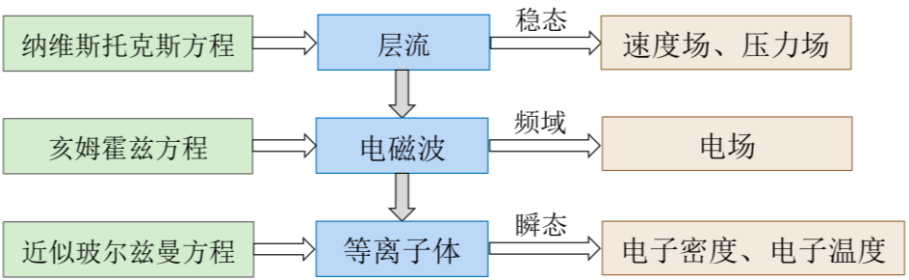


图 2. COMSOL 射流微波等离子体计算框图

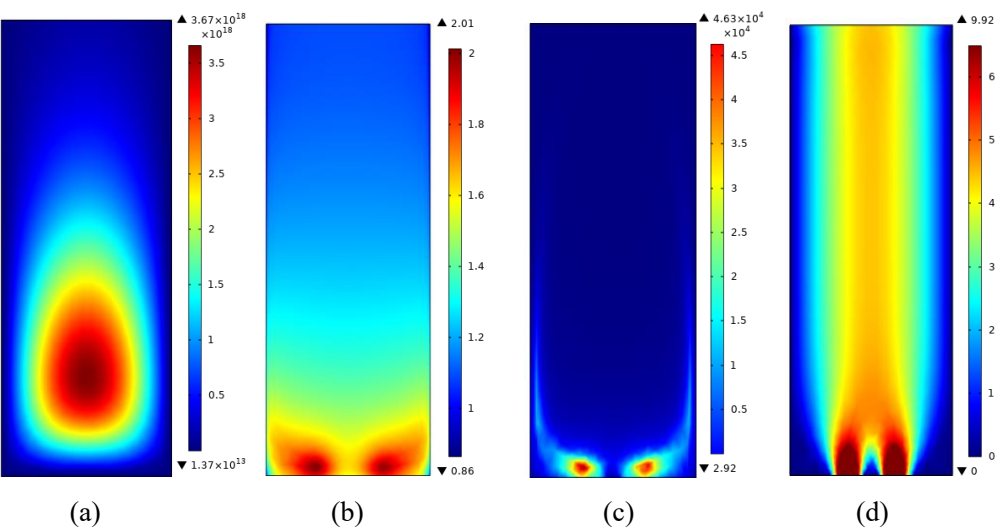


图 3. $P_{in}=100W$ 时等离子体求解域，(a) 电子密度分布，(b) 电子温度，(c) 电场分布，(d) 速度场

第一作者简介：潘惠，1997 年生，四川大学电子信息学院硕士研究生，主要研究方向为射流微波等离子体；联系电话: 18380117544；E-mail: 1475963631@qq.com