华中科技大学电气与电子工程学院
成果推介|等离子体应用于生物医学及能源催化

|所属领域

非平衡等离子体 生物医学应用 能源催化 等离子体诊断

I 痛点问题

◎对于生物医学应用来说，存在机制不清、选择性差、标准缺失、传递困难、安全存疑的问题。

（1）作用机制不清晰，缺乏精准调控：等离子体包含复杂的活性粒子 (ROS, RNS)、紫外线、电场等。当作用于生物体时，究竟是哪些成分起主导作用，它们如何与特定的生物靶标（如细菌膜、细胞器、DNA）相互作用并产生特定效应（杀菌、促进愈合、凋亡）？机制不明确导致难以精确控制治疗深度、范围和效果。

（2）选择性杀伤难题：高效的杀菌能力往往伴随着对细胞/组织的潜在损伤。如何实现选择性杀伤（如杀死癌细胞或耐药菌）而对健康细胞/组织伤害最小？现有方法在平衡效力和安全性方面面临巨大挑战。

（3）体内应用和递送挑战：体外研究效果显著，但将等离子体技术应用于体内（如深部组织感染、肿瘤）面临巨大困难。等离子体射流穿透深度有限，复杂体内环境（血流、组织屏障）会淬灭活性粒子。

◎对于能源催化领域来说，存在能耗高、催化剂寿命短、机理复杂、成本劣势的问题。

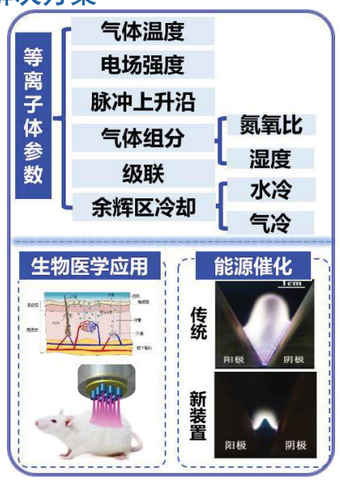
（1）能量效率低下是最核心的痛点。利用等离子体活化惰性分子（N_2, CO_2）需要高能量输入。目前大多数等离子体催化过程的能量效率远低于热催化或电化学等传统方法，导致运行成本高昂，难以大规模工业化应用。

（2）催化剂稳定性差：等离子体环境（高能电子、离子轰击、强电场、局部高温、活性粒子侵蚀）对催化剂是极其严苛的挑战。催化剂容易失活，表现为烧结、积碳、化学态改变、活性组分流失等，导致性能迅速下降。

（3）反应机理复杂，放大困难：等离子体催化涉及气相反应、表面反应、等离子体-催化剂相互作用等多个物理化学过程，机理极其复杂。小规模结果难以线性放大到工业规模，反应器设计（如等离子体均匀性、传质传热、催化剂装填）面临巨大挑战。

（4）经济竞争力不足：综合以上痛点（高能耗、低选择性、催化剂成本与寿命、设备投资），当前等离子体催化固氮在成本上与传统工艺（Haber-Bosch、化石燃料重整）或新兴电化学/光化学路线相比，缺乏经济竞争力。

|解决方案

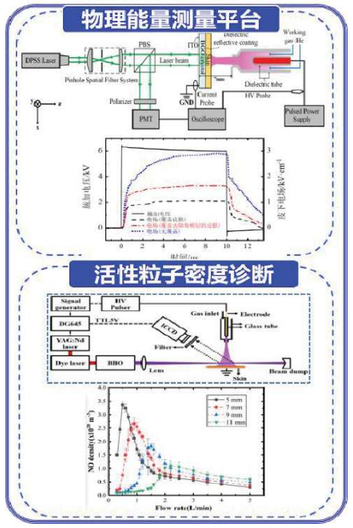


图一：通过改变等离子体参数实现对反应的调控

针对上述技术瓶颈，搭建了等离子体活性成分诊断平台，实现从物理能量到活性粒子密度诊断，为生物医学应用、能源催化等领域的提供关键实验支撑。

◎在生物医学应用领域，本研究团队利用发射光谱和激光二次谐波等方法，获得皮肤组织电场的时空分布，为电穿孔效应的产生打下理论和实验基础。其次，定量描述电穿孔类型和疗效。研究等离子体产生的活性粒子与皮肤之间的作用机理，建立射流与皮肤相互作用模型，利用激光诱导荧光法测量典型活性粒子（羟基和O原子）的时空分布规律。

◎在能源催化领域，本研究团队利用发射光谱、汤姆逊散射、瑞利散射、拉曼散射、激光诱导荧光法、研究诊断不同参数下电子密度、电子温度、振动温度及N_2(v)、N_2(A)、NO等密度，厘清等离子体固氮机理，以实现更好的提升等离子体能源催化效果。并开发了新型磁稳定滑动弧固氮装置，大大提升等离子体固氮效率。



图二：物理能量和活性粒子诊断方法

通过等离子体诊断平台的搭建，厘清等离子体中的反应，通过改变等离子体参数实现等离子体调控。以便于更好的应用于等离子体与生物体相互作用以及能源催化领域。

团队通过电场诊断，实现皮肤表面瞬态电场测量，揭示等离子体诱导电穿孔的机制。结合激光诱导荧光法，测量羟基和氧原子的分布规律，阐明等离子体通过解构角质层和改性蛋白质增强药物递送的原理，为经皮给药治疗奠定理论与实验基础。

◎针对固氮反应，集成汤姆逊散射（电子密度/温度）、瑞利-拉曼光谱（N_2(v)振动温度）及时间分辨LIF（$N_2(A^3\Sigma u^+$/NO密度）多维度诊断。基于此开发磁稳定等离子体反应器，将固氮能效提升至2MJ/mol以下。

|知识产权

上述成果已申请/授权多项中国发明专利

|实物应用

上述成果已基本完成实验验证。

图三：等离子体诊断实验平台

|论文发表

上述成果已发表多篇EI/SCI期刊论文。

|联系方式

业务合作、联合技术开发、技术服务等。

电　话：15271896125

联系人：卢新培

地　址：湖北省武汉市洪山区珞喻路1037号华中科技大学动模楼