
与光共舞：气体传感中的美妙“圆舞曲”

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/31948.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

与光共舞：气体传感中的美妙“圆舞曲”。 导读

近期，哈尔滨工业大学马欲飞教授团队在Light: Advanced Manufacturing发表了题为Design of multipass cell with dense spot patterns and its performance in a light-induced thermoelastic spectroscopy-based methane sensor的研究论文。

该研究建立了一种基于光矢量反射定律的光线追迹模型，用以计算光学多通池中激光束的传输轨迹。基于该模型，研究团队设计并开发了一系列具有密集光斑分布的光学多通池，并开展了与之相关的气体传感性能研究。该工作搭建了基于拉曼光纤放大器和光斑密集型光学多通池的近红外光致热弹光谱(Light-Induced Thermoelastic Spectroscopy,LITES)甲烷传感器，并实现了优异的检测性能。这项工作对于高灵敏度激光光谱气体传感器的开发具有推动意义，有望在工业监测和火灾预警等领域带来新的应用。

气体传感技术是发展人工嗅觉系统的核心，具有广阔的应用前景。在环境监测方面，它能够监测空气质量，为环境保护政策提供科学依据。在工业安全领域，它可以及时发现有毒或易燃易爆气体泄漏，预防工业事故、保障工人安全。现如今，气体传感技术在早期检测和事故预警中的作用举足轻重，且其重要性随着环境污染治理和工业自动化安全的推进而愈发凸显。

激光吸收光谱技术是一种利用气体分子的指纹吸收特性，通过测量特定波长的激光在通过待测气体后强度的衰减来确定气体成分和浓度的分析方法。该技术具有高灵敏度、高选择性和非破坏性检测等优点，在气体传感领域扮演着越来越重要的角色。依据Lambert-Beer定律，吸光度的强弱与激光和气体之间的有效作用长度呈正相关，因此在激光吸收光谱气体传感器中设法提高有效吸收光程是提升系统检测灵敏度的重要手段。

光学多通池（multi-pass cell,MPC）是一种用于增加气体吸收光程的光学器件。它通过独特的光学设计，引导激光束在有限空间内多次反射，从而显著增加激光与气体的有效作用长度。激光在反射镜之间多次往返，其轨迹在镜片上形成了绚丽的图案，仿佛是光之舞者的足迹。

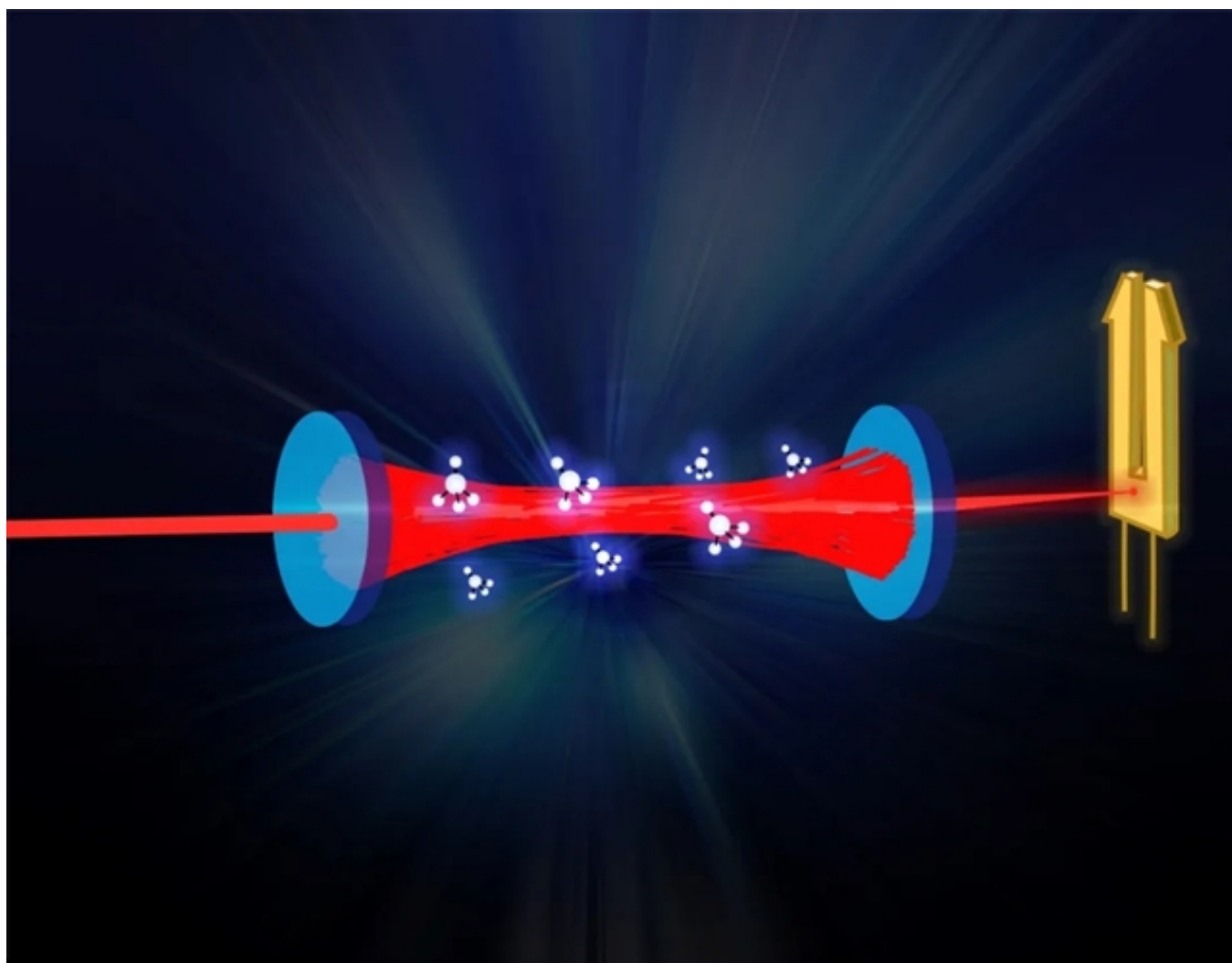


图1：（封面图） 基于长光程吸收增强的光致热弹光谱原理图

图源：哈尔滨工业大学

该研究团队建立了一种基于矢量形式光反射定律的光线追迹数学模型，并据此设计开发了一系列光斑密集型光学多通池。这些多通池采用了共轴双球面镜的结构，具有成本低、结构稳定、光路易调节等优势，同时在光程体积比上又比传统的器件提升了8倍左右。所设计的光斑密集型多光程池的光斑仿真结果与实物照片如图2所示。

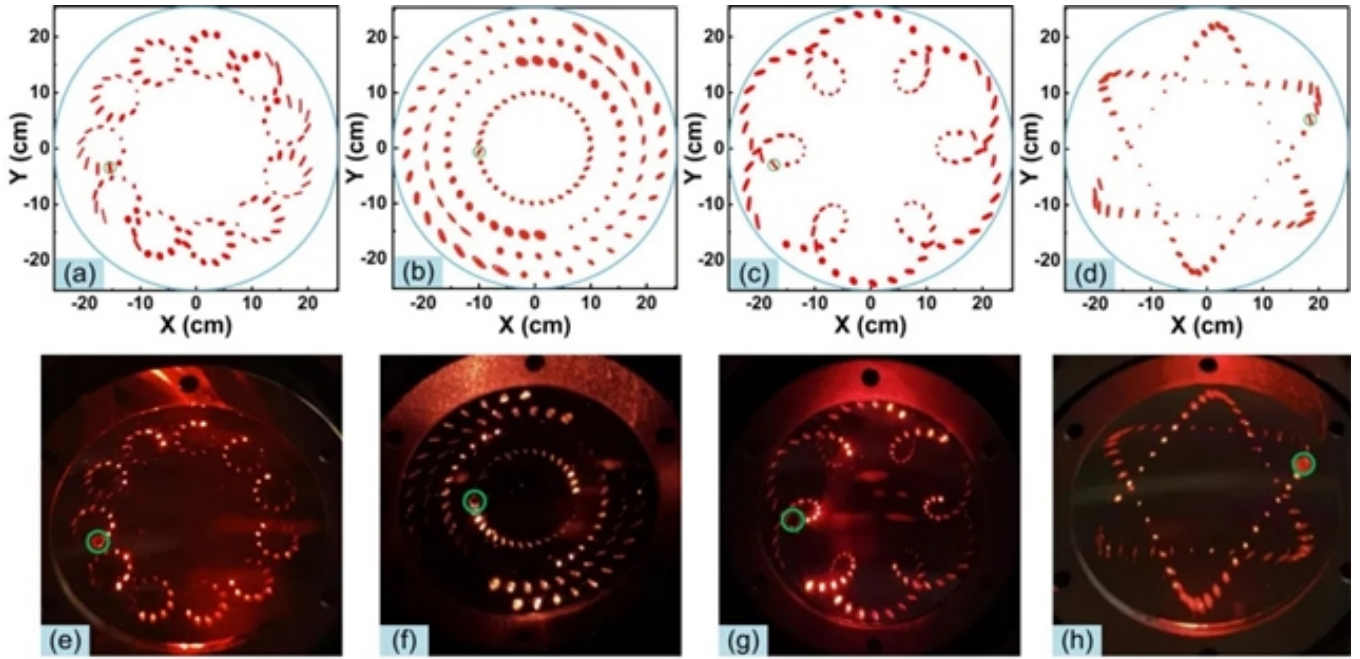


图2：光斑密集型光学多通池的仿真与实物图

研究团队选择了光程体积比最优的四同心圆光斑多通池搭建了光致热弹光谱(Light-induced Thermoelastic Spectroscopy, LITES)气体传感器，并实现了对于甲烷的高灵敏度监测。光致热弹光谱技术是近年来发展迅速的一种新颖痕量气体检测技术，该技术基于石英光致热弹效应，以体积小、成本低廉且无波长选择性的音叉式石英晶振作为光电换能器，通过探测激光与目标气体相互作用后光强的变化量实现目标气体浓度的反演。

传感器系统如图3所示。需要指出的是，该系统除了采用上述多通池提供约38 m的有效吸收程外，还将拉曼光纤放大器引入光致热弹光谱系统中，它能够实现对 $1.65\ \mu\text{m}$ 波段近红外激光的功率放大，进一步提升了激发强度。此外，传感系统还采用了研究团队自行设计的高性能石英音叉，用以实现光谱信号的高效探测。在100 s的积分时间下，该传感器能达到的最小检测极限为59.5 ppb，该结果与部分采用中红外光源的同类型传感器具有可比拟的效果。

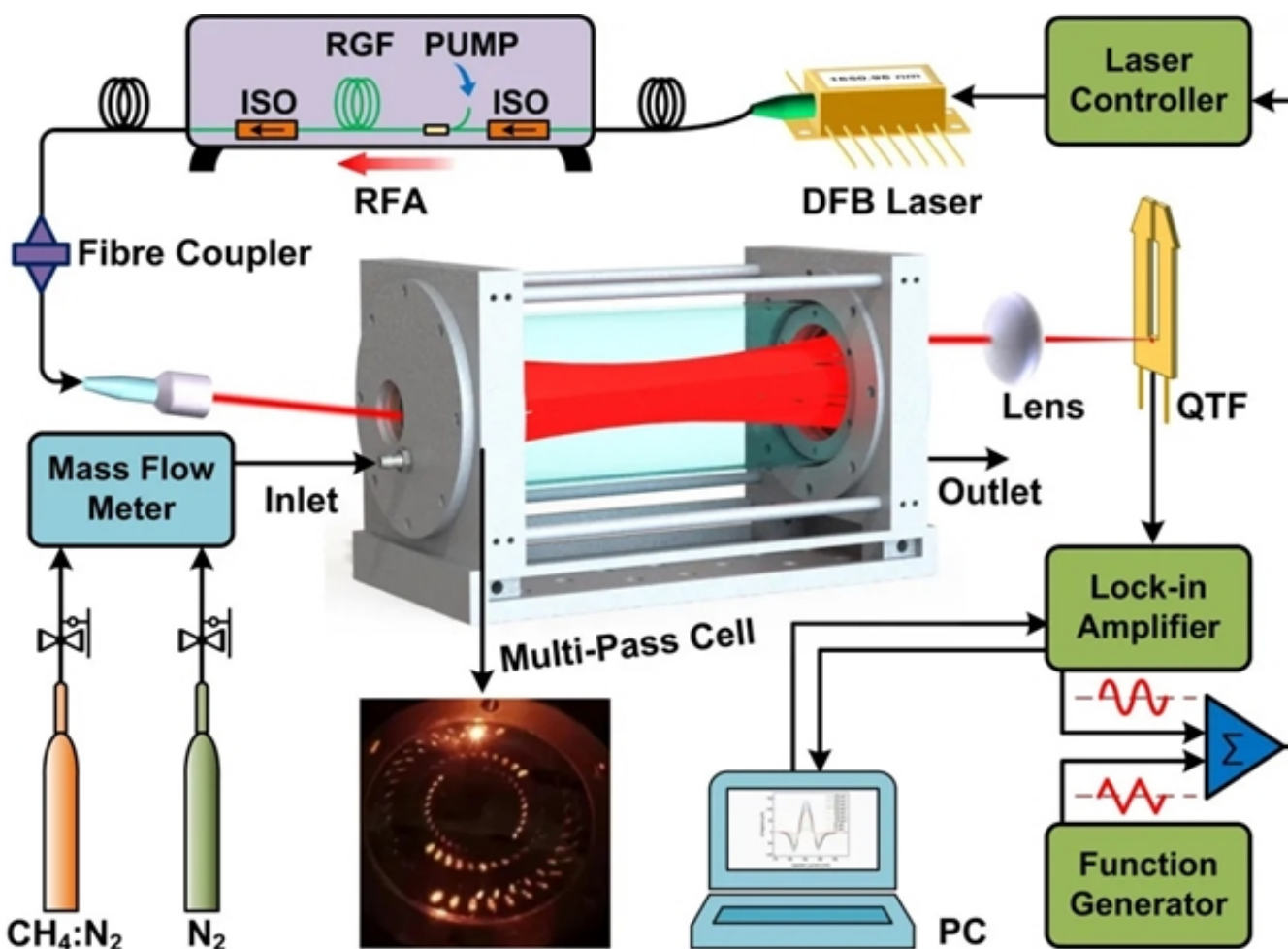


图3：光致热弹光谱甲烷传感器装置图

总结

该研究从光学多通池的设计出发，推动了光致热弹光谱气体传感器的进一步发展，实现了甲烷气体的高灵敏度检测。绚丽的激光与跳动的音叉相互配合，在气体传感领域大放异彩，奏响了一支美妙的科技圆舞曲。相信在不远的将来，具有高灵敏度的光致热弹光谱气体传感器将在人类的生产生活中发挥更大的作用。（来源：先进制造微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.37188/lam.2025.001>

特别声明：本文转载仅仅是出于传播信息的需要，并不意味着代表本网站观点或证实其内容的真实性；如其他媒体、网站或个人从本网站转载使用，须保留本网站注明的“来源”，并自负版权等法律责任；作者如果不希望被转载或者联系转载稿费事宜，请与我们联系。

作者：马欲飞等 来源：《光：先进制造》

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](http://iikx.com)转发