

固体激光与光声光谱的完美结合

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/28376.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！

固体激光与光声光谱的完美结合。痕量气体一般指体积浓度在(10⁻¹²)到ppm(10⁻⁶)量级的气体，对痕量气体进行检测在火灾预警、医学诊断以及电业安全等诸多领域都具有十分广泛的应用。基于气体的光声效应，光声光谱(Photoacoustic spectroscopy, PAS)气体传感技术应运而生，在传统的PAS技术中，使用电容式麦克风作为探测器，直到2002年，美国莱斯大学的研究学者将石英音叉引入到了PAS技术中，由此提出了石英增强光声光谱(Quartz-enhanced Photoacoustic spectroscopy, QEPAS)技术。在光声气体检测技术中，激励源是传感器系统的核心元件，其发射波长、输出功率、光束质量以及波长调谐范围均对系统的检测性能起到了决定性的作用。

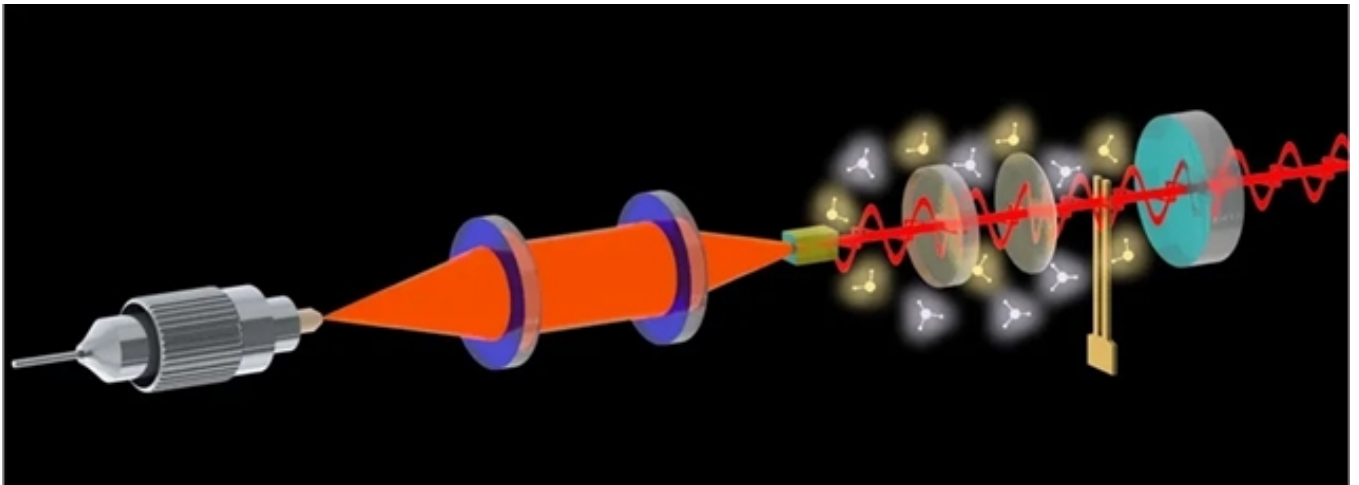


图1：固体激光器QEPAS传感器系统示意图。

图源：哈尔滨工业大学

目前，光声光谱气体检测技术中常用的激励源为分布反馈式(Distributed-feedback, DFB)半导体激光器，这类激光器的输出波长较短，一般在近红外波段，而根据气体的红外吸收光谱基本理论可知，由近红外光谱区到中红外光谱区对应着大部分气体从泛频吸收带过渡到基频吸收带，吸收截面相应变大，吸收线强度将逐渐变强，所以长波长激光器对光声气体传感技术来说更具有吸引力。此外，DFB半导体激光器的输出功率也较低，基于气体的吸收定律，气体吸收的激光能量与入射激光功率成正比，高功率激光能够提高气体的检测灵敏度，因此高输出功率也是光声光谱气体传感器系统中激励源的发展趋势。对于DFB半导体激光器来说，还存在激光波长调谐范围较窄的问题，一台激光器的输出波长难以覆盖多个气体分子的吸收光谱，这导致在进行多气体检测时需要使用多个激光源，增加了系统冗余，从而限制了光声光谱多气体传感器系统向集成化与小型化

方向的发展。

近日，哈尔滨工业大学航天学院马欲飞教授团队设计并搭建了长波长、高功率、宽调谐、高光束质量的单纵模固体激光器并以此作为光声光谱痕量气体传感器系统中的激励源，基于该激光器分别设计了PAS、外腔QEPAS以及内腔QEPAS传感器系统，利用该激光器的宽波长调谐范围，实现了基于单激光器的光声双气体高灵敏度检测。相关工作以Ultra-highly sensitive dual gases detection based on photoacoustic spectroscopy by exploiting a long-wave, high-power, wide-tunable, single-longitudinal-mode solid-state laser为题发表在Light: Science Applications，哈尔滨工业大学马欲飞教授为通讯作者，乔顺达博士为第一作者。

基于可调谐单纵模固体激光器的PAS传感器系统结构示意图如图2所示，采用了强度调制技术，并且使用了共振式光声池作为光声信号的产生单元，单纵模激光激发池内气体产生光声信号后由电容式麦克风进行探测，最终将探测信号传输至锁相放大器进行解调来反演气体的浓度信息。

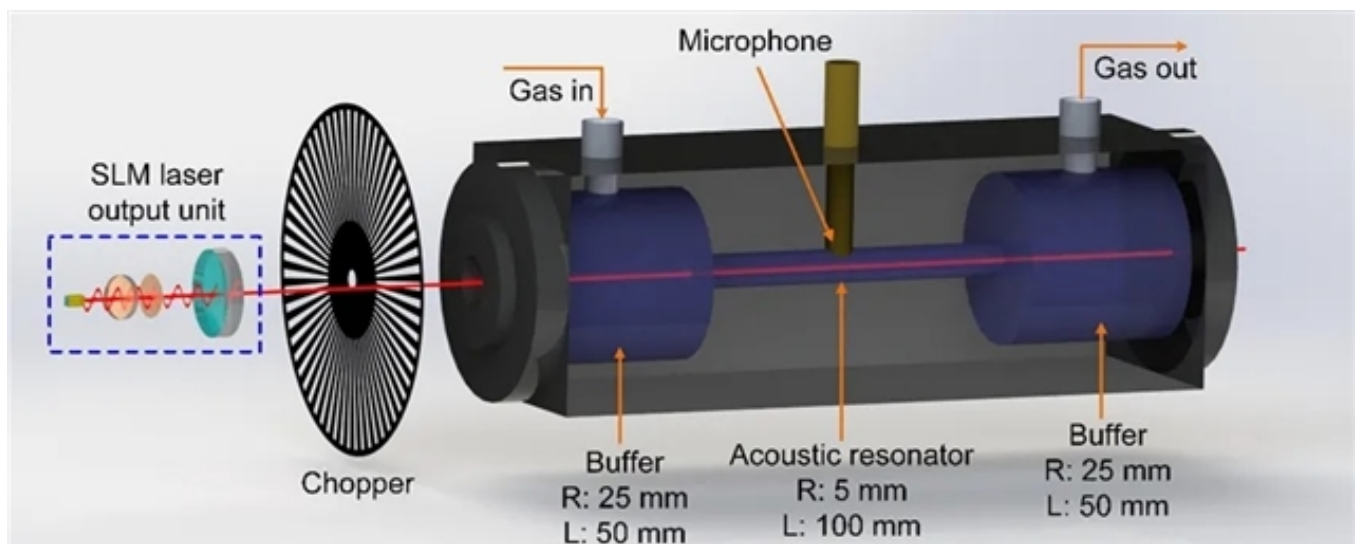


图2：基于单纵模固体激光器的PAS系统结构示意图。

基于可调谐单纵模固体激光器的外腔QEPAS传感器系统结构示意图如图3所示，将石英音叉与单纵模固体激光器相结合，为了避免激光照射在音叉上引起较大的热噪声，系统中使用了离轴声学共振管，管的中间设置有开口并与音叉的叉股间隙对准，激光穿过共振管激发管内的气体产生光声信号，并基于共振原理，共振管内的声波将形成驻波场并在开口处形成声压的波腹点，声波由开口处泄露并推动音叉产生振动，最终基于音叉的压电效应产生包含气体浓度信息的电信号。

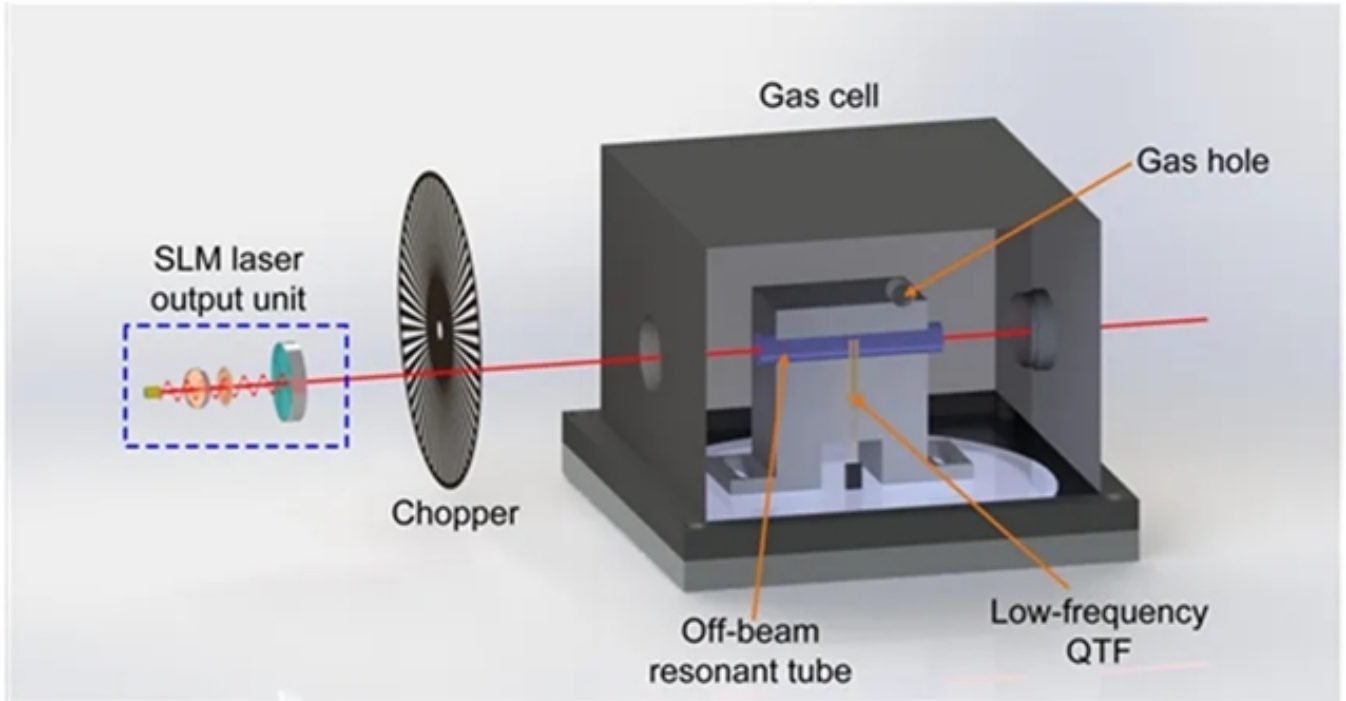


图3：基于单纵模固体激光器的外腔QEPAS系统结构示意图。

基于可调谐单纵模固体激光器的内腔QEPAS传感器系统结构示意图如图4a所示，利用了固体激光器光谐振腔的开放性，将音叉探测单元放置在了谐振腔内，音叉探测单元的实物图如图4b所示，这一设计在提高系统集成度的同时也利用了腔内的高功率密度。由于固体激光器谐振腔腔长的限制，系统中使用了离轴非共振声学管。然而即使在使用非共振声学管的情况下，系统的检测性能相比于外腔QEPAS系统仍有明显提升，因此这也有力地证明了内腔QEPAS系统在气体检测方面具有极大的优势。

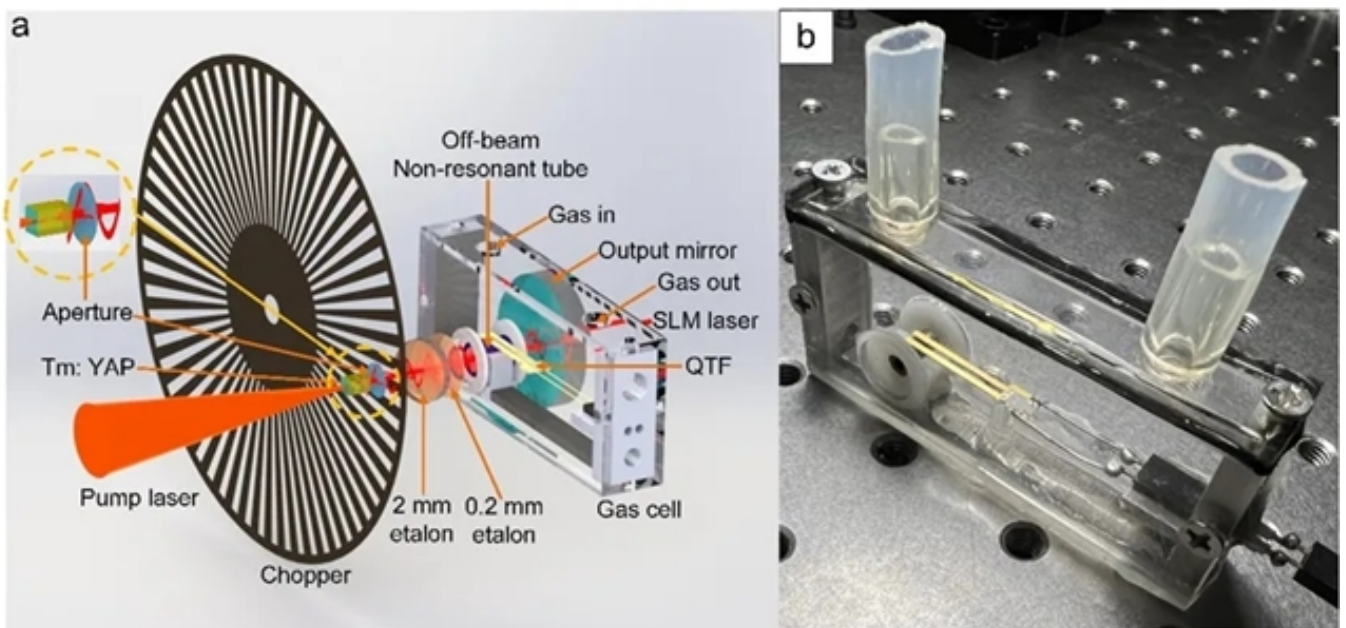


图4：(a)基于单纵模固体激光器的内腔QEPAS系统结构示意图；(b)音叉探测单元实物图。

总结与展望

该研究证明了可调谐单纵模固体激光器在光声光谱气体传感技术中具有极大的发展潜力，尤其光学谐振腔的开放性以及腔内的高功率密度为高集成度、高灵敏气体传感器系统的实现提供了可能。此外，通过改变激光工作物质，可进一步实现中红外波段的高功率激光输出，以覆盖气体的基频吸收带，从而实现对气体更加灵敏的检测。该成果为光声光谱气体传感技术中激励源的选择提供了新的思路。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-024-01459-5>

作者：马欲飞等 来源：《光：科学与应用》

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

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