

---

# 双光梳光声传感：石英增强多外差共振光声光谱

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/28322.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！**

双光梳光声传感：石英增强多外差共振光声光谱。在《Light Science Applications》杂志上新发表的一篇文章中，由量子光学与量子光学器件国家重点实验室、山西大学激光光谱研究所的董磊教授领导的科研团队，开发了一种石英增强多外差共振光声光谱技术，用于共振检测双光梳诱导产生的多外差声波。为了实现这一目标，他们设计了一款具有高Q值的石英音叉（QTF），并完成了验证实验。通过共振探测，不仅提高了系统检测灵敏度，同时，定制QTF的窄带宽（几赫兹），显著提高了系统的动态范围和分辨率。该技术将为未来的环境监测、健康诊断和工业应用等领域的高灵敏检测开辟了新的途径。

## 研究背景

自2002年Schiller首次提出双光梳光谱技术的概念，并在2004年Keilman验证其有效性以来，这项技术一直为激光光谱学领域提供了引人注目的光源。双光梳光谱技术综合了传统宽带光源和激光光源的优点，具有宽光谱、高分辨率和快速测量等特点。该技术利用两个高度相干的光学频率梳产生的相干脉冲序列之间的异步光采样，将光频信息下转换到射频频段，然后通过高速光电探测器对透射光进行收集，从而反演出吸收信息。

在2020年，美国国家标准与技术研究院的Jacob T. Friedlein和瑞士电子与微技术中心的Thibault Wil di提出了双光梳光声光谱的概念，并使用麦克风和声电换能器进行了验证性实验。双光梳光声光谱技术因其配置简单、对光学吸收长度和波长的独立性、无背景噪声干扰，以及相较于传统探测器更高的饱和功率等优点，在高灵敏、宽带光谱检测方面展现出巨大潜力。然而，目前的双光梳光声光谱检测系统通常使用宽带设备如麦克风来检测由双光梳产生的多外差声波，这带来了带宽和采集速度上的优势。然而，这种方法也存在局限性。一方面，声波的共振增强在光声光谱中至关重要，可以显著提高灵敏度（最高可提高100倍），但当前技术无法实现对声波的共振增强。另一方面，宽带测量引入的宽带背景噪声可能会限制灵敏度的进一步提升，同时降低探测动态范围。

## 创新研究

石英增强多外差共振光声光谱的工作原理。本研究提出了石英增强多外差共振光声光谱技术（QEMR-PAS），旨在克服上述问题。该技术利用小体积、低成本的石英音叉来实现对双光梳诱导产生的多外差声波的共振式探测，如图1所示。与传统的双光梳光谱方法不同，QEMR-PAS技术通过对多外差声波中心频率的动态扫描，逐步提取与石英音叉共振的频率成分，降低了对两个光学频率梳互相干时间的需求。同时，该技术通过石英音叉进行声学滤波（几赫兹），然后使用相敏探测器进行电学滤波（小于1赫兹），提高了信号幅值的同时实现了低噪声的光-声-电能量转

换过程，进一步提升了系统的探测灵敏度。此外，石英音叉的超窄带宽也带来了动态范围和分辨率上的优势，图2中展示了对乙炔气体的测量结果。

### 总结与展望

该研究提出了一种通过石英音叉实现共振式探测双光梳光谱的方法，并通过实验证明了其可行性。这一技术具有高灵敏度、高分辨率和大动态范围的优势，并具备可扩展到中红外波段的潜力。这项技术为未来的环境监测、健康诊断和工业应用等领域的高灵敏气体检测开辟了新的途径。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

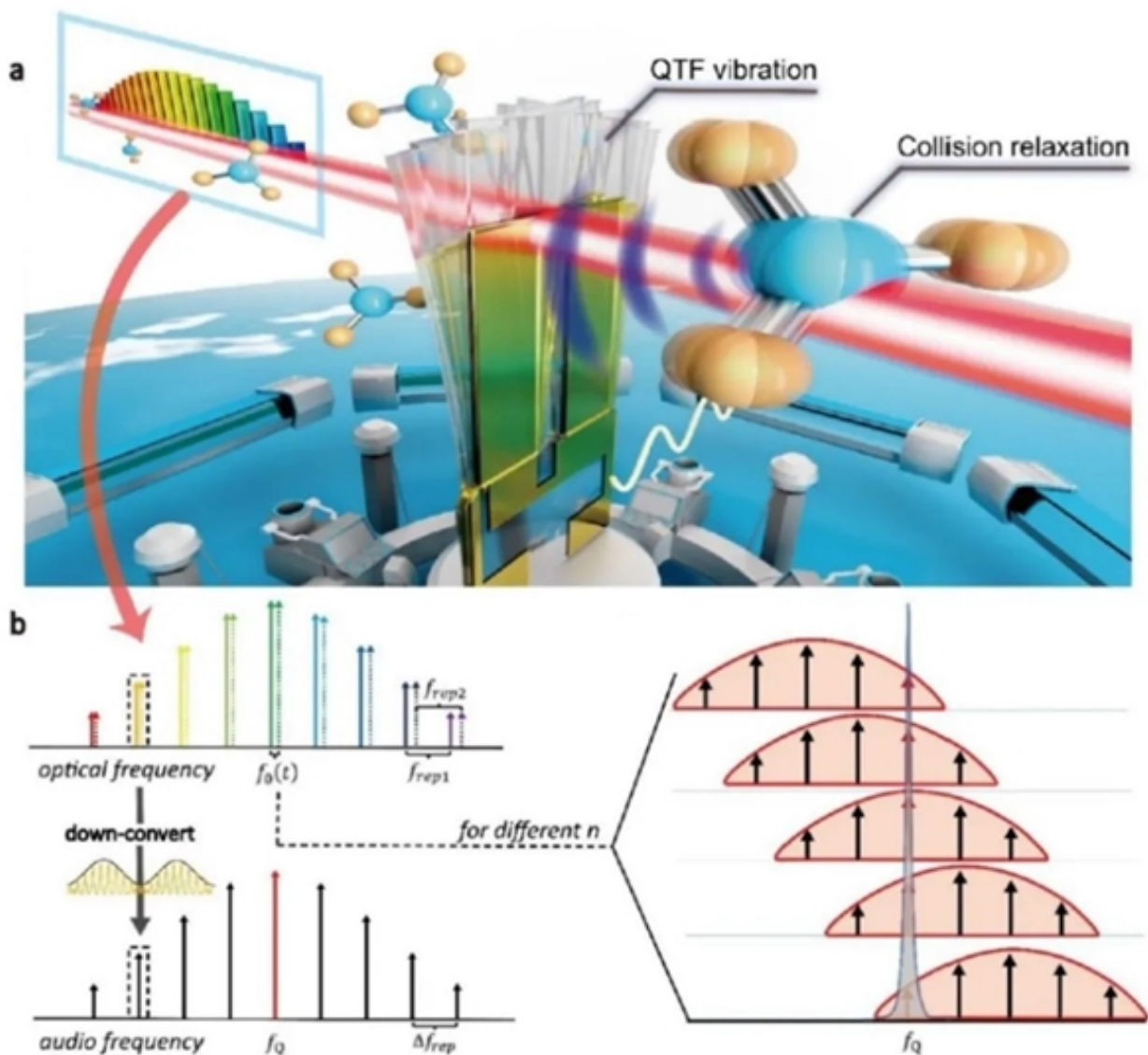


图 1 QEMR-PAS原理图。（a）QEMR-PAS概念图；（b）QEMR-PAS利用QTF检测由双光梳诱导产生的多外差声波。

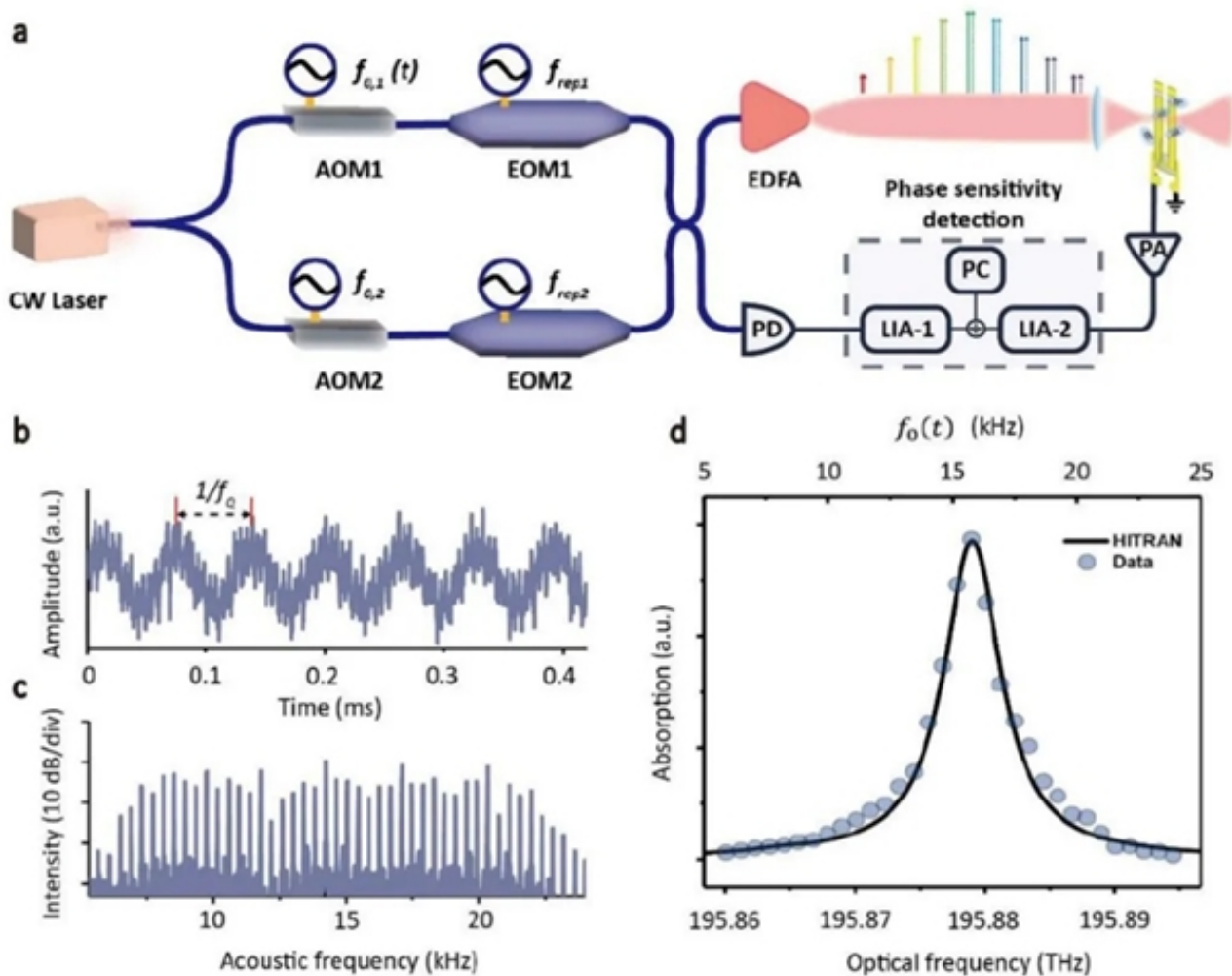


图2 QEMR-PAS装置和测量结果。(a) 实验装置；(b) QTF输出的压电信号；(c) 通过双光梳下转换产生的音频频率梳；(d) 通过QEMR-PAS获得的乙炔气体的归一化吸收光谱。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-024-01425-1>

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：董磊等 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