李亚飞郭团等 LAM
微腔增强型光电复合光纤光声气体传感技术

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/42988.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！

李亚飞郭团等 LAM 微腔增强型光电复合光纤光声气体传感技术。 导读

近期，暨南大学郭团教授团队在Light: Advanced Manufacturing发表了题为Microcavity-enhanced optoelectronic fiber photoacoustic spectroscopy for ppb-level trace gas sensing的研究论文。

该研究通过在多材料光电复合光纤末端集成T型谐振光学微腔及MEMS麦克风，开发出一种微型化超灵敏光声气体传感器。通过在光学微腔内增强光与气体相互作用产生光声信号，然后通过麦克风采集转换为电信号，该传感器能够实现光信号与电信号的同步传输，同时仅需亚微升气体样品即可在数秒内实现ppb量级检测。凭借可批量生产的光电光纤与MEMS麦克风技术，本工作为严苛环境下的痕量气体监测提供了兼具微型化、高灵敏与可扩展多路检测能力的新型光学传感方案。

高灵敏气体传感器在动力电池健康监测、环境污染物检测、生物医学呼出气分析等领域具有广阔应用前景。传统电化学传感器虽样品需求少、响应快，但气敏材料易中毒导致稳定性不足；荧光、气相色谱等光学检测技术灵敏度和选择性优异，却因体积大、维护成本高、操作复杂，难以满足实际场景的应用需求。

光声光谱（PAS）作为痕量气体在线检测的主流技术，凭借高灵敏度、高选择性和快速响应的优势备受关注，其通过探测气体分子吸收调制光后热胀冷缩产生的声波实现浓度检测，无需昂贵红外光电探测器，具备无背景检测能力。传统光声光谱技术依赖大体积光声池和复杂外部设备，且常规光纤仅能传输光信号、无法传输电信号，导致传感器集成化和微型化难度大，难以适配快速响应、精准监测的应用场景。为应对上述挑战，该研究团队提出了一种微腔增强光电复合光纤光声气体传感技术，通过将光学微腔与光电复合光纤相结合，实现了微型化、高灵敏的气体检测。

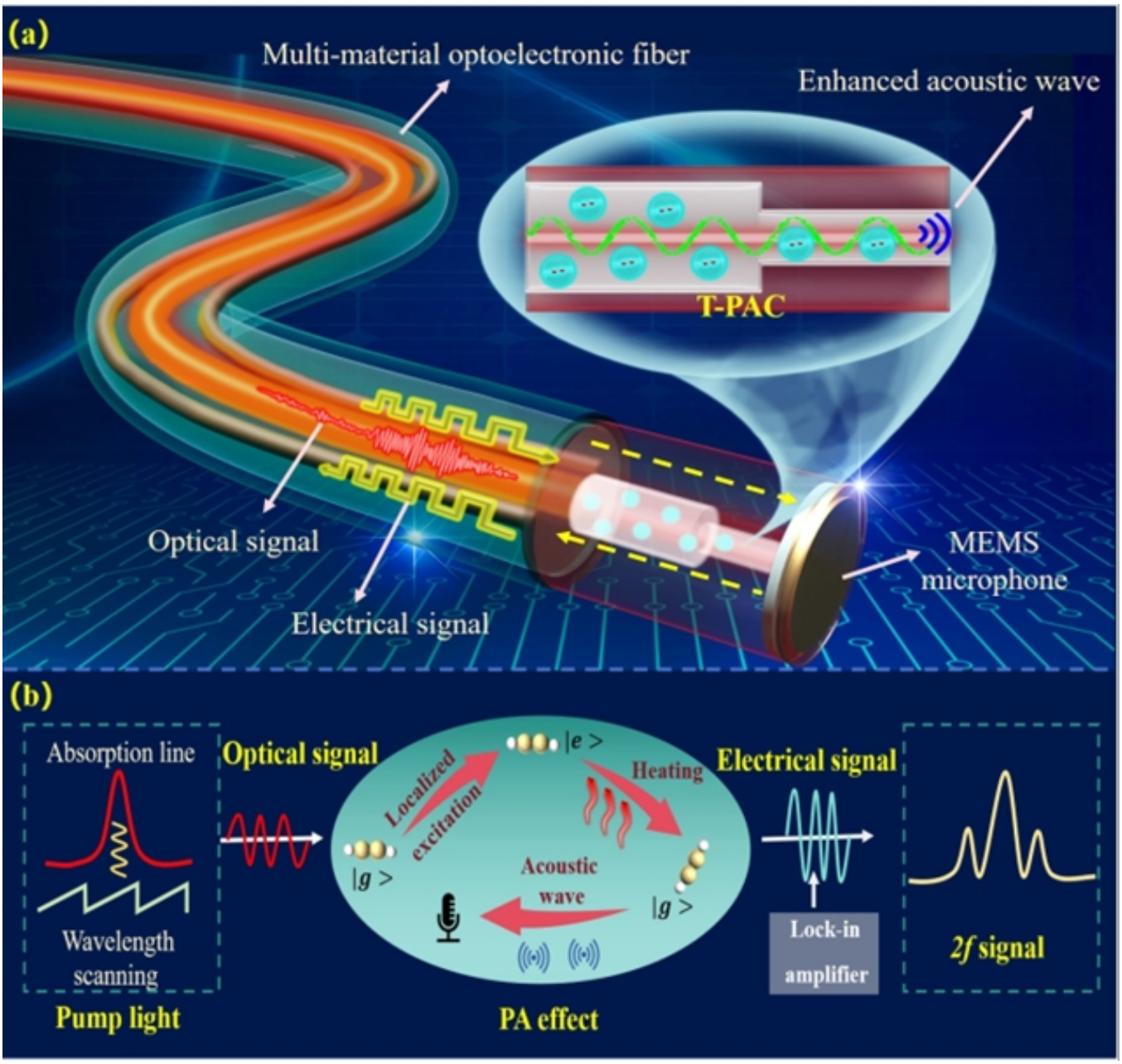


图1：光电复合光纤光声气体传感器的结构示意图.图源：暨南大学

该研究团队采用可规模化的热拉制技术，将石英光纤、铜电极与PMMA
材料集成制备出光电复合光纤，该光电复合光纤可精准控制电极与中心波导的间距，在1550 nm波长处光传输效率超90%，与商用单模光纤性能相当，且铜电极沿光纤轴向均匀分布，在20°C至60°C范围内电阻变化极小，同时具备优异的柔韧性和机械刚度，可实现光信号与电信号的同步传输，突破传统光纤仅传光的局限，大幅提升传感器的集成度。光电复合光纤的制备与表征如图2所示。

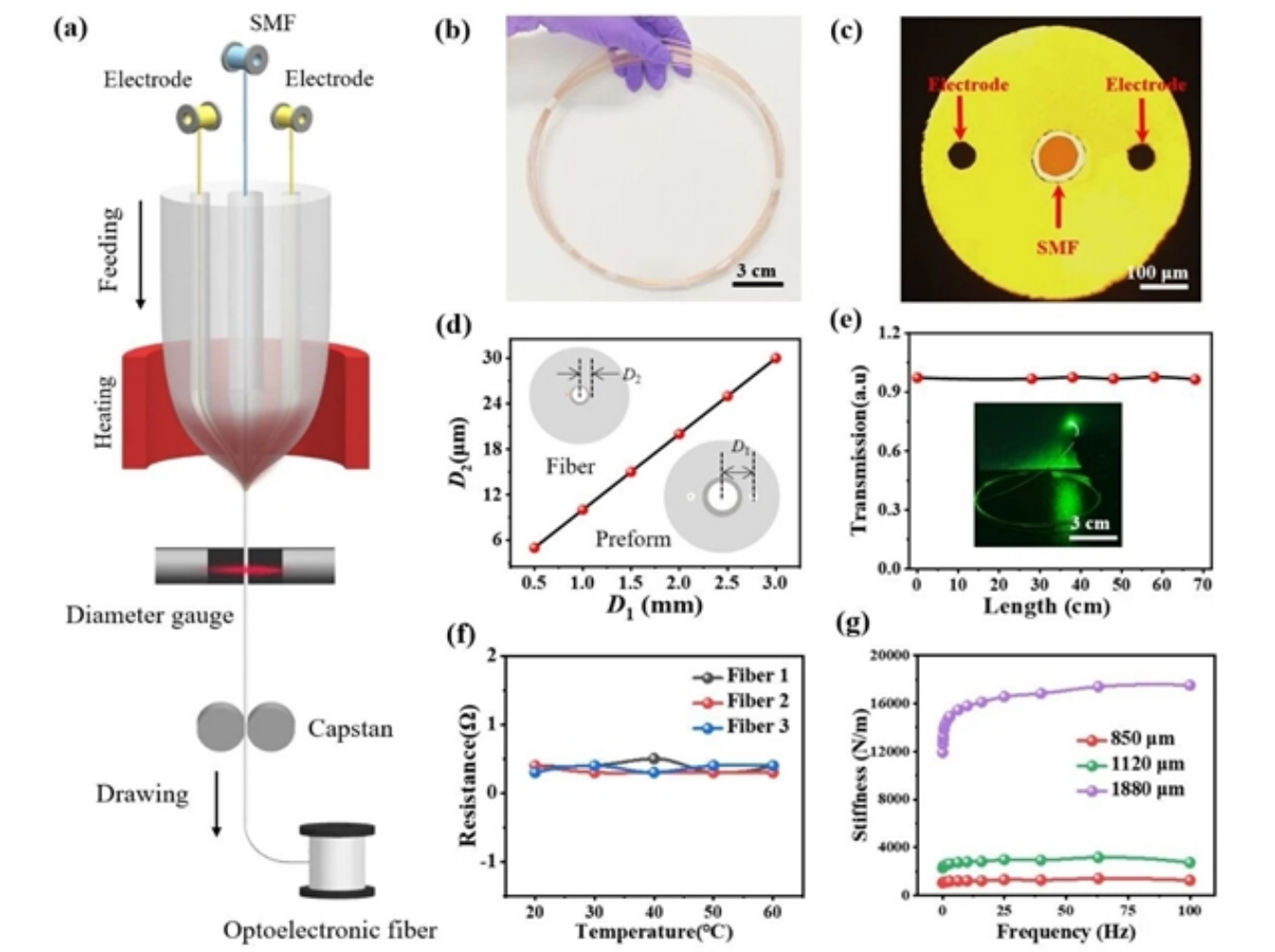


图2：光电复合光纤的制备与表征

传感器系统结构示意图如图3所示，选取乙炔气体作为目标气体来评估传感器的性能。所设计的T 型谐振光学微腔总容积仅0.02 mL，远小于传统光声池。通过有限元法仿真优化谐振腔的半径和长度，相较于同尺寸非谐振光声池，该T型谐振光学微腔将光声信号幅值提升约3.3倍，信噪比提升约7 倍，且光程体积比（OPVR）达1736.8 mm?mL-1，实现了单位体积内更长的光与气体相互作用路径，在微型化基础上保证了检测灵敏度。

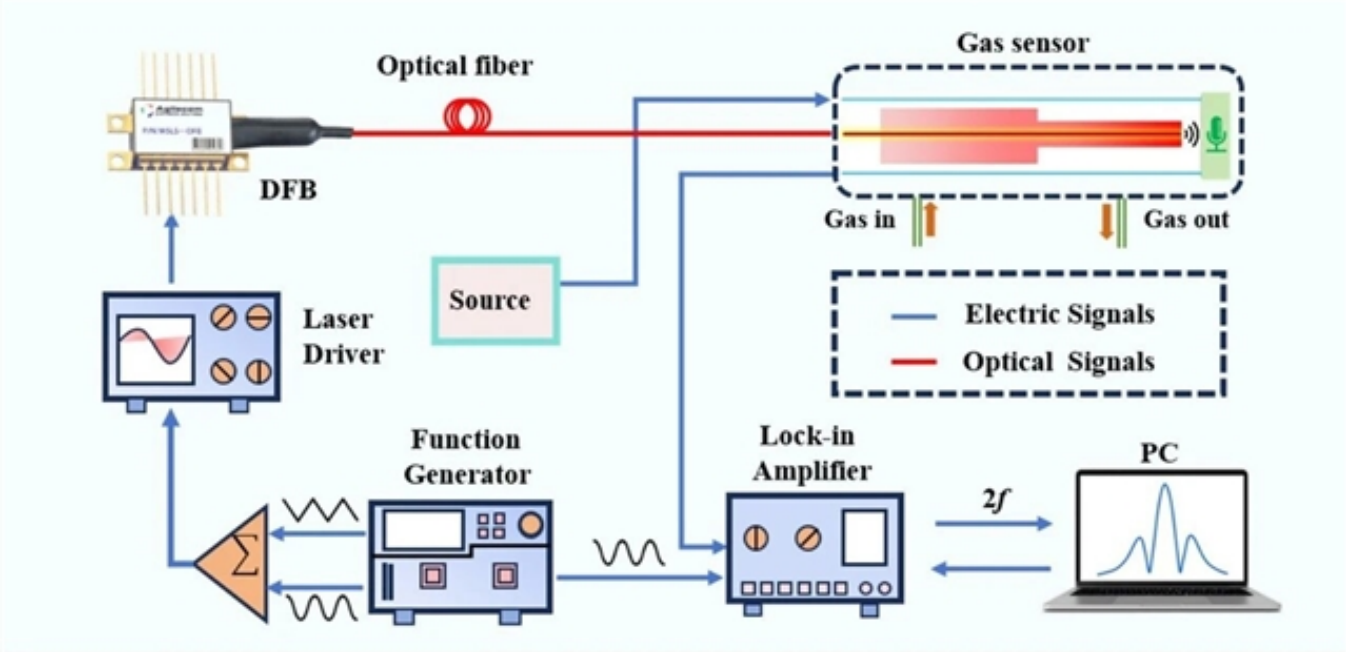


图3：光纤光声气体传感器装置图

通过实验对气体传感器的性能进行评估，如图4所示。与非共振腔相比，该T型谐振光学微腔的光声信号振幅和信噪比分别提高了约3.3 倍和7.0 倍；响应时间约为3
s；在纯氮气背景下，长期稳定性测试的浓度波动仅为5.82 ppm；经Allan-Werle 偏差分析，在75 s的积分时间下，该传感器能达到的最小检测极限为211
ppb，对应的归一化噪声等效吸收系数（NNEA）为9.46 × 10 − 9 cm − 1 · W · Hz − 1/2。此外该传感器具有良好的重复性和线性度，通过更换其他波长的激光器，可以扩展到多种气体的检测。

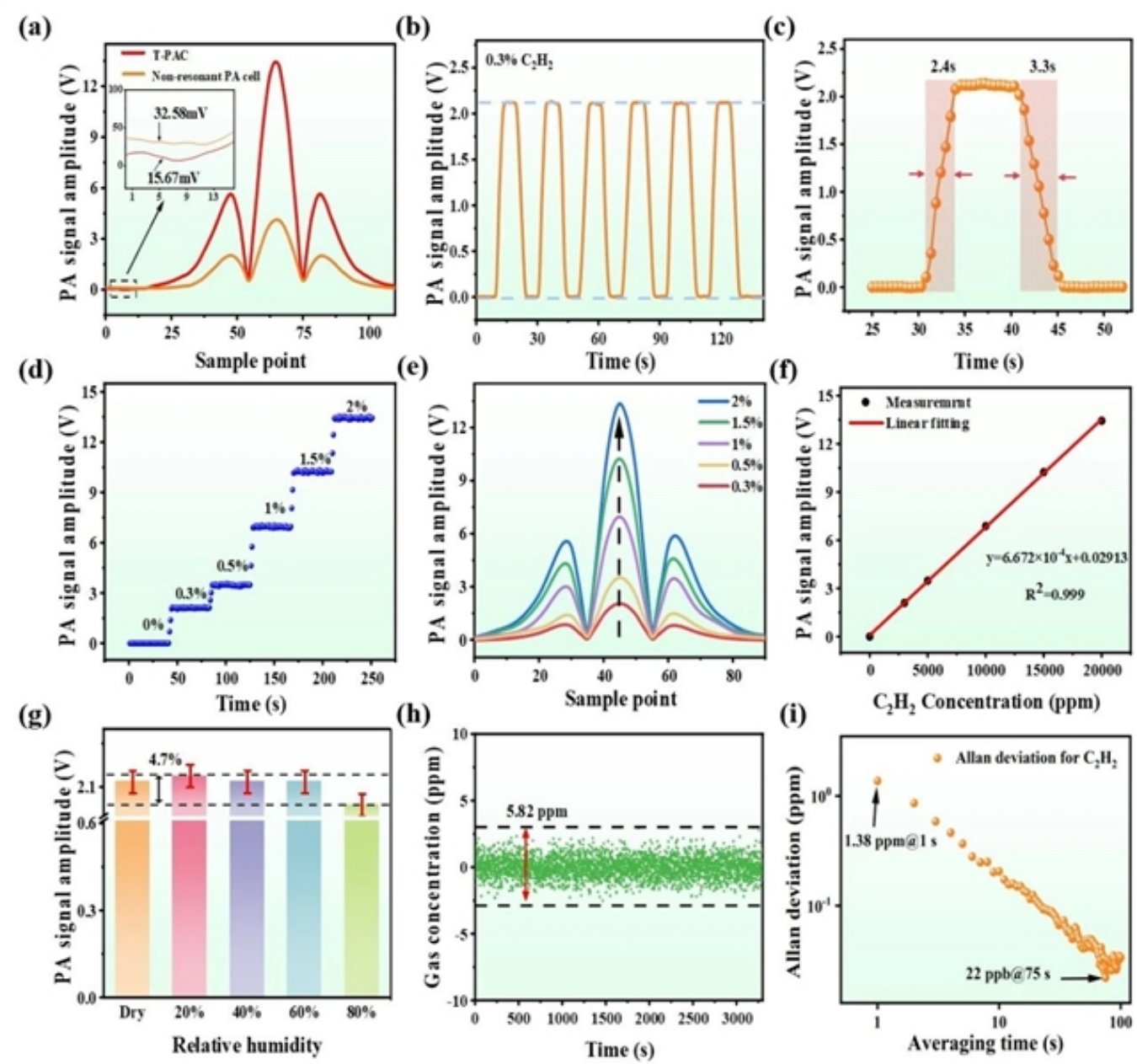


图4：光纤光声气体传感器的性能评估

总结与展望

该研究从传统光声气体传感器体积大、集成度低的技术瓶颈出发，提出一种微型化、高灵敏度的光电复合光纤光声气体传感器，该传感器兼具光信号和电信号传输的特性，推动了光纤光声气体传感器的进一步发展，为工业安全监测、环境污染物检测、生物医学呼出气分析等严苛环境下的痕量气体检测提供了全新的技术方案。（来源：先进制造微信公众号）

相关论文信息：https://doi.org/10.37188/lam.2026.028

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等事宜，请与我们接洽。
作者：郭团等 来源：《光：先进制造》

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

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，爱科学iikx.com转发