基于回音廊微探针的拉曼光谱与成像

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/25506.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！

基于回音廊微探针的拉曼光谱与成像。近日，来自圣路易斯华盛顿大学的杨兰教授团队和宾夕法尼亚州立大学的刘志文教授合作，展示了一种新型的拉曼光谱平台。该平台巧妙地将回音廊模式（WGM）光学微谐振腔与纳米等离子体表面增强拉曼光谱（SERS）结构相结合，可实现对化学或生物分子的超高灵敏度探测和二维成像，为基于光谱学的材料分析提供了新的研究思路和应用前景。

研究背景

光与物质的相互作用是人们观察和认知世界最基本的方式。一般而言，光的反射和折射揭示了物质的形态，而像拉曼散射这样的非弹性光散射则可将分子的指纹信息编码到光子的能量偏移中，即由光谱信息反映化学键的特殊振动，从而提供作为鉴别物质的重要特征。拉曼光谱学已被广泛应用于环境检测、食品安全、生物医学监测以及新材料的开发与研究。然而，发生拉曼散射这种相互作用的可能性微乎其微，通常入射上亿个光子仅产生一个拉曼光子。在过去的几十年中，研究人员一直在寻找和开发特定的机制和结构以增强拉曼信号。纳米等离子体表面增强拉曼光谱（SERS）是有效的方法之一，即引入金属纳米结构来增强目标分子附近的电磁场，从而将发生拉曼散射的概率提高了百万甚至上亿倍。

另一方面，回音廊模式（WGM）光学微谐振腔也是增强光与物质相互作用的重要技术。作为光的储存器，光可以在微米级谐振腔中传播成千上万圈从而实现能量密度的积累，大大增强了光与物质的相互作用。其应用范围包括单分子探测、片上激光器、光谱学、生物医学成像等。将这两个平台有机结合并用于基于拉曼光谱学的高灵敏度分子探测和成像，无疑将开拓出极具吸引力的应用前景。

研究创新

首先，该研究团队提出了回音廊微探针的概念（图1）。其中回音廊模式微球谐振腔由光纤熔融烧制而成，尾端的光纤作为微球的支撑结构，可使其在三维空间内任意移动并精确地与纳米等离子体结构耦合。由此形成的回音廊-纳米等离子体（WGM-SERS）混合共振模式可实现对目标分析物拉曼散射的双重增强，这是利用了该结构对光在时域上长积累（回音廊谐振腔的高品质因子）和同时在空间内紧束缚（SERS等离子体热点仅分布在表面纳米范围内）的优势。

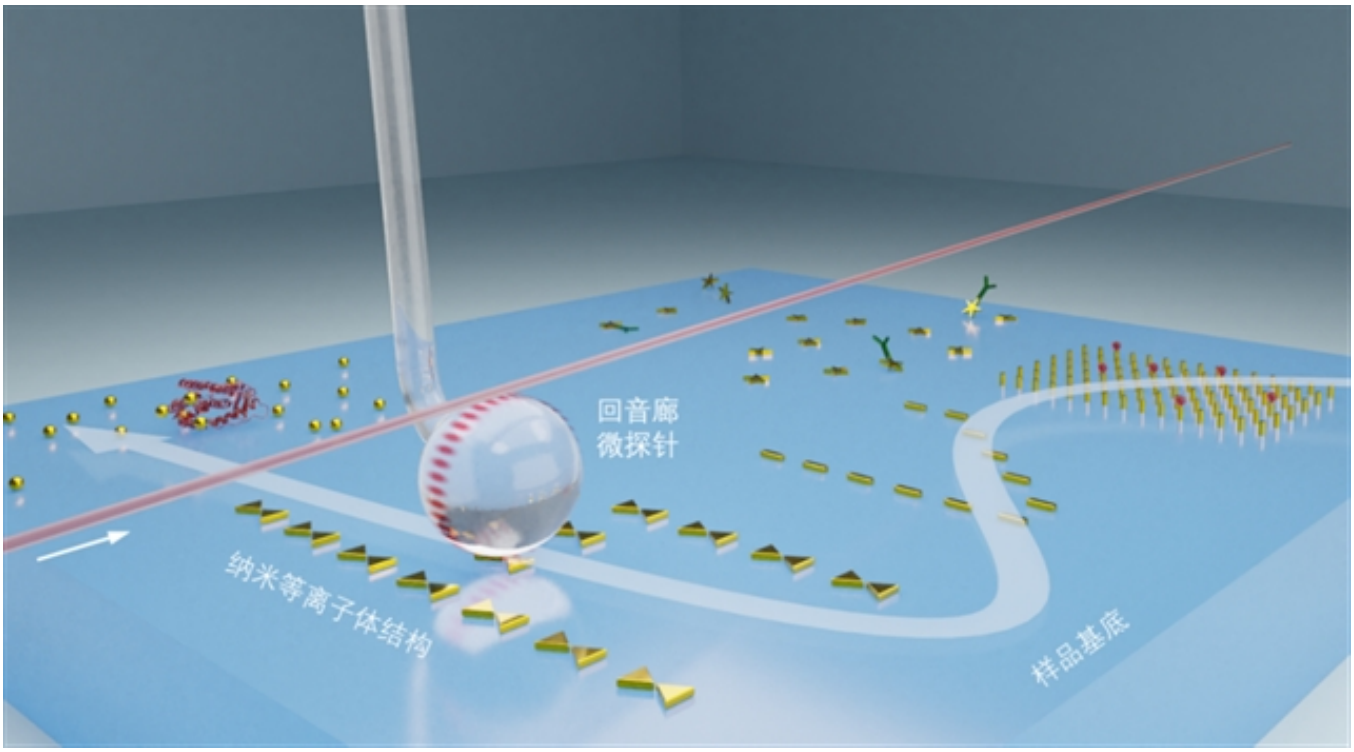


图1：用于拉曼光谱增强和成像的回音廊微探针示意图。

在传统由聚焦空间光束激发的纳米等离子体结构的基础上，回音廊微探针进一步实现了对拉曼信号两个数量级的增强（图2），总增强系数可超过108倍。值得一提的是，该新平台与各类纳米等离子体结构具有广泛的兼容性和通用性，包括但不限于金纳米颗粒、纳米棒、纳米柱、蝴蝶结形纳米天线以及商用市售SERS试纸。

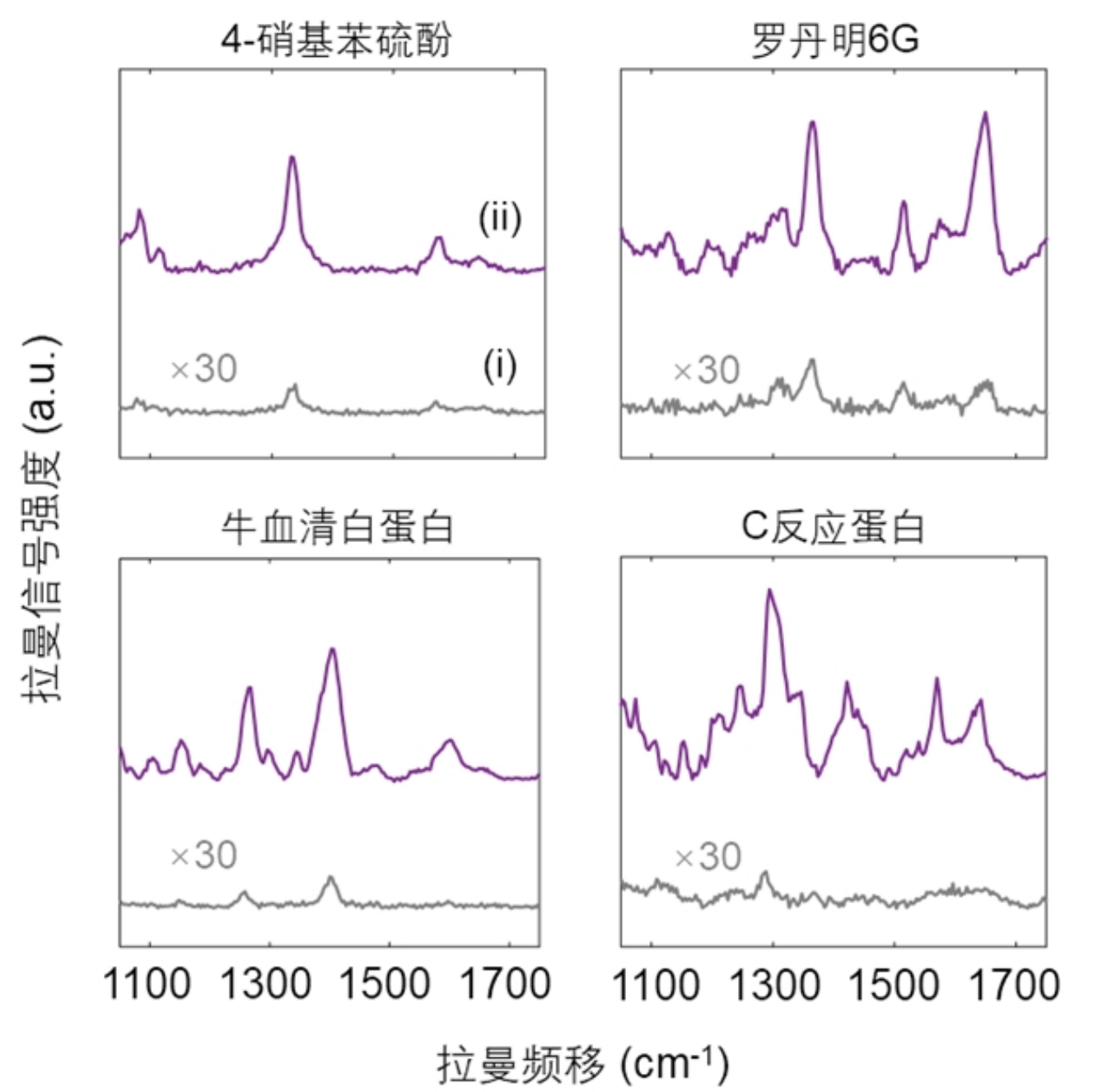


图2：微探针可增强各类化学或生物分子的拉曼光谱信号。通过回音廊微探针（ii）获得的信号比使用传统纳米等离子体测试纸（i）获得的信号增强约 100 倍。

同时，该团队系统地研究了各项参数对拉曼增强倍数的影响，如微球谐振腔与纳米等离子体结构的距离、纳米等离子体结构的数量和几何特征、谐振波长等。通过控制纳米等离子体结构的列间距，演示了具有相位匹配特征的谐振腔-纳米天线耦合机制，最大限度地增强了来自各种化学和生物样品的拉曼散射信号强度。此外，该团队利用微探针对样品进行扫描，在仅需亚毫瓦连续波泵浦功率的情况下，实现了超光谱（hyperspectral）二维拉曼成像（图3）。

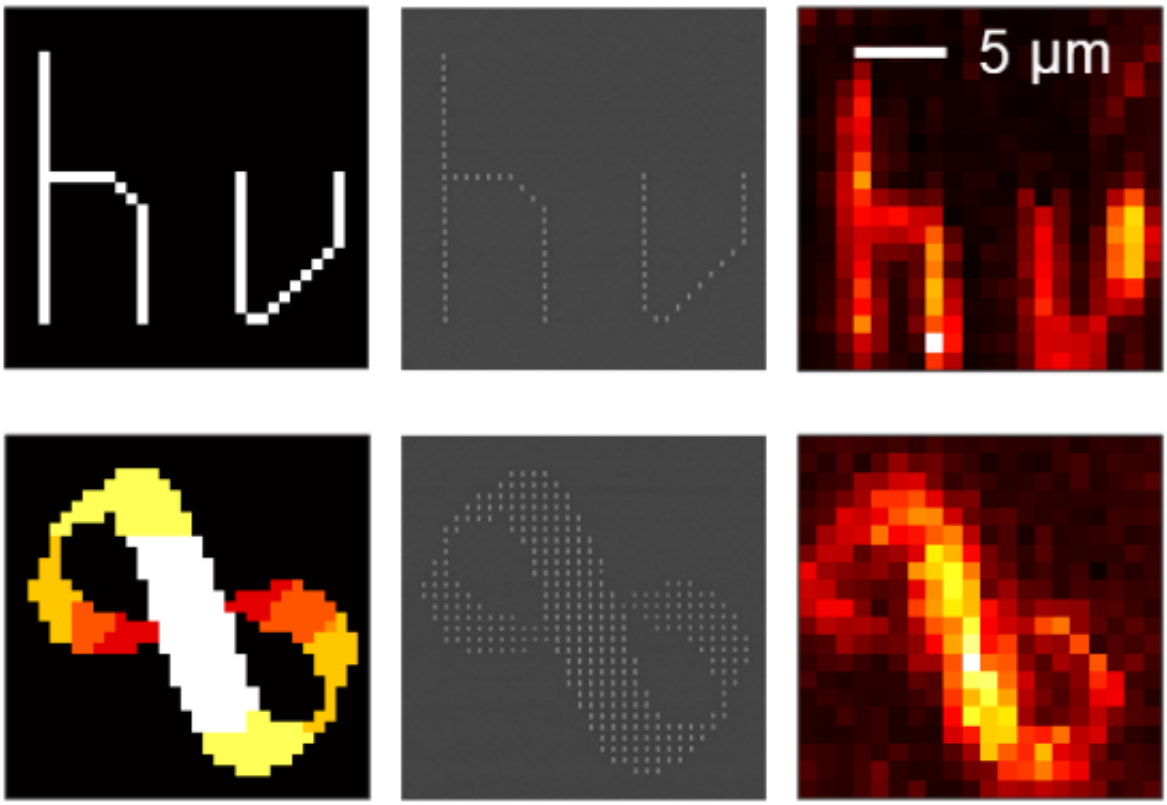


图3：希腊字母 hν 和莫比乌斯环的二维拉曼成像。（左）设计的预期图案，（中）通过光刻制备的纳米颗粒的扫描电镜图，（右）通过微探针扫描得到的拉曼成像图。

该工作为探索光与物质相互作用的增强机理提供了新的视角。通过回音廊模式微腔与纳米等离子体结构耦合形成的混合共振模式，待测样品的拉曼散射信号能够显著增强，还能够实现扫描式二维成像。微探针平台有希望发展成为用于物质材料探测与分析的有力工具，同时也为发展多功能、紧凑型、可集成化的光谱学测试平台带来技术上的突破和机遇。

该文章以A whispering-gallery scanning microprobe for Raman spectroscopy and imaging为题发表在国际顶尖光学期刊《Light: Science Applications》上，毛文博和李逸杭博士为共同第一作者，杨兰教授为通讯作者。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：https://www.nature.com/articles/s41377-023-01276-2

作者：杨兰等 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转发