
物理所实现空气耦合的MHz频段高灵敏度超声波探测

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/20599.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！

物理所实现空气耦合的MHz频段高灵敏度超声波探测

。高灵敏度、小型化的超声探测器在诸多方面发挥着重要应用，例如医学诊断、光声成像、无损检测等。目前，商用的超声波探测器主要采用压电换能器，但为了实现较高的灵敏度，往往需要较大的尺寸，其传感器的典型尺寸一般为毫米到厘米。近些年来，随着微纳光电技术的发展，在硅芯片上微加工制备得到的光学超声波探测器可同时实现较高的灵敏度和空间分辨率。其中，微腔光力系统由于其高灵敏度、宽带宽、低功耗和易于集成等优越特性，引起越来越多的关注。由于微腔光力系统中的较强光力相互作用，微腔的机械位移可以通过光学共振信号来敏感读出。由于机械共振增强了响应，且光学共振可增强读出灵敏度，因此微腔光力系统已被证实是位移、质量、力、加速度、磁场和声波等物理量的高灵敏探测理想平台。

前期工作中，研究人员已在各种体系的光学微腔中实现超声波/声波的探测，例如二氧化硅微腔、聚合物微腔、硅微腔等。多数超声波探测是在液体环境中实现的。而在空气环境中，由于超声波吸收损耗大，且声源/空气界面处的阻抗失配大，高灵敏度的超声波探测依然颇具挑战。前期工作中，空气耦合的超声波探测只在1 MHz以下频段实现。空气耦合的超声波探测在一些特定场景中具有重要应用，例如气体光声光谱和非接触式超声医学成像等。

为了提高空气耦合的超声波探测灵敏度，并拓展探测频率范围，近日，中国科学院物理研究所/北京凝聚态物理国家研究中心研究人员使用微芯圆环腔演示了在MHz频率范围内的空气耦合高灵敏度超声波探测。

在该工作中，研究人员通过光刻、氢氟酸腐蚀、氟化氙刻蚀、二氧化碳激光回流的微加工工艺，制备了带有较细的硅基座的微芯圆环腔，从而减少来自衬底的机械运动的约束，获得了在2.56 MHz的一阶拍动模式

下约700的高机械品质因子，同时光学品质

因子达到 10^7 以上。凭借较高的光学和机械品质因子，以及与超声波具有较大空间重叠的2.56 MHz的一阶拍动模式，他们在机械模式附近0.6

MHz的频率范围内实现了仅受热噪声限制的灵敏度，在0.25-3.2 MHz的频率范围内实现了 $46 \mu\text{Pa}/\text{Hz}^{1/2}$ -10

$\text{mPa}/\text{Hz}^{1/2}$

的灵敏度。此外，他们在机械共振频率下利用超声波驱动传感器时观察到了二阶和三阶机械边带，通过测量不同超声波压强(P

)下的信噪比(SNR)，发现一阶、二阶和三

阶机械边带的 $\sqrt{\text{SNR}}$ 分别与 P 、 P^2 和 P^3

大致成正比，三个机械边带上的测量强度与理论结果一致。这种非线性转换提供了一种扩展位移传感动态范围的方法。

该研究演示了一种基于微芯圆环腔的空气耦合高灵敏度MHz频段超声波探测方案，实现了宽带、高灵敏度超声检测。这项工作拓宽了使用微腔光力系统进行空气耦合的超声波探测的频率范围，并获得了较大频率范围的热噪声主导区域。相关研究成果以High-Sensitivity Air-Coupled Megahertz-Frequency Ultrasound Detection Using On-Chip Microcavities为题于近日发表在Physical Review Applied

上。相关研究工作得到国家重点研发计划、国家自然科学基金委项目和中科院基础前沿科学研究计划的支持。

上。相关研究工作得到国家重点研发计划、国家自然科学基金委项目和中科院基础前沿科学研究计划的支持。

[论文链接](#)

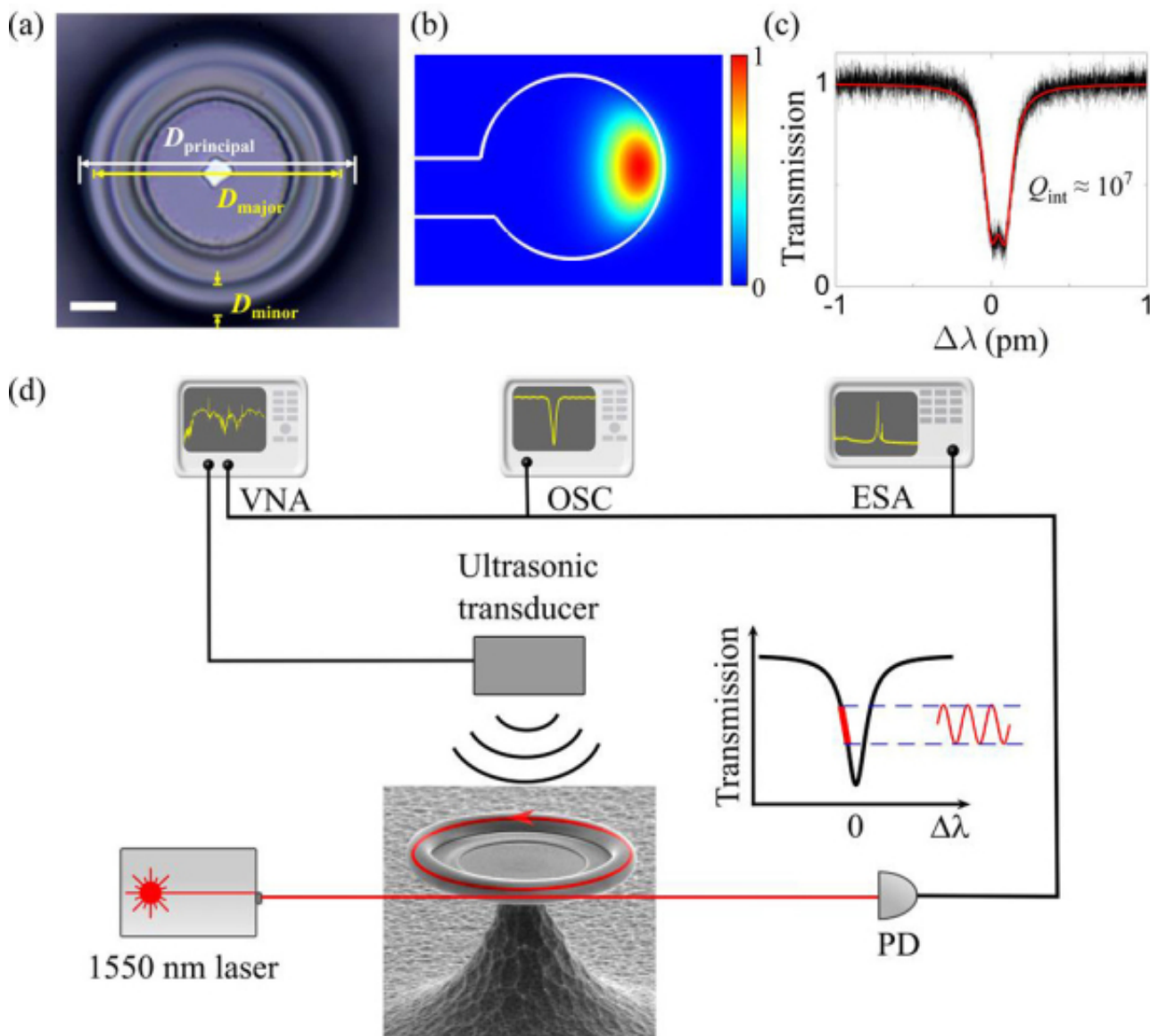


图1 (a) 微芯圆环腔的光学显微镜图。(b) 模拟的回音壁模式的基模光场分布。(c) 1550 nm附近微腔的透过率谱。(d) 超声波探测实验装置的示意图。

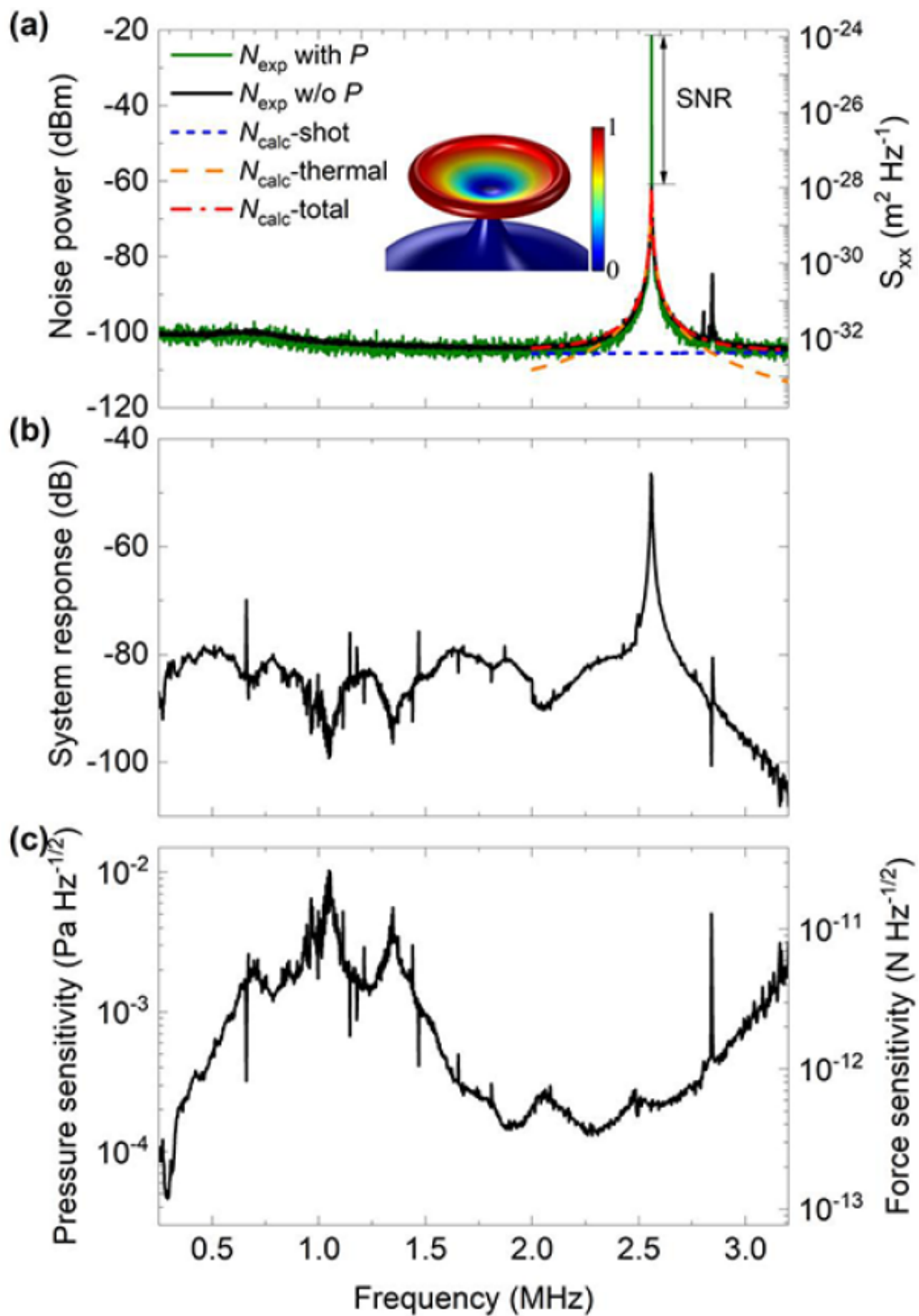


图2 (a) 微腔超声波探测器的噪声功率谱 (黑色实线) 与在2.56 MHz频率处施加了超声波信号的响应谱 (绿色实线), 虚线为计算得到的理论噪声。(b) 微腔超声波探测器的系统响应, 即微腔对不同频率的超声波的响应。(c) 微腔超声波探测器的压强 (左轴) 和力 (右轴) 灵敏度谱。

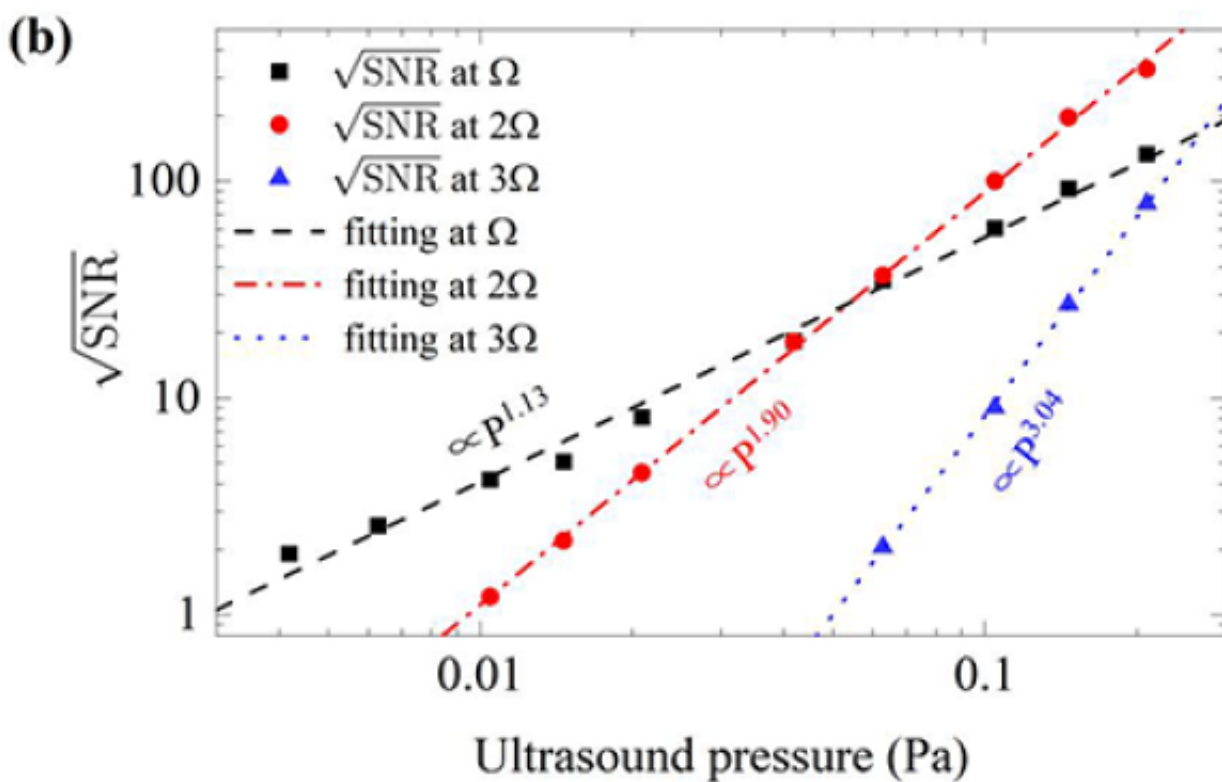
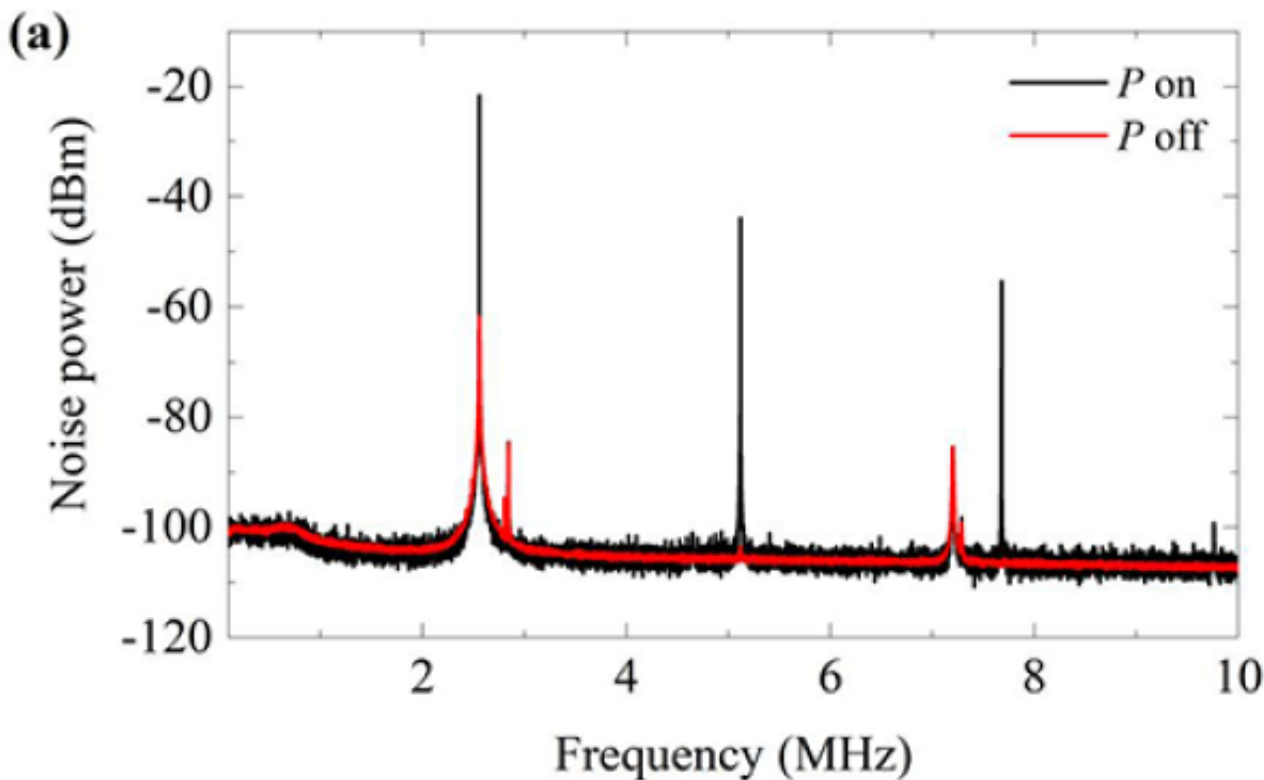


图3 (a) 施加单频超声波后不同阶机械边带的响应。(b)
一阶、二阶、三阶机械边带的 $\sqrt{\text{SNR}}$ 与超声波压强的关系。

研究团队单位：物理研究所

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](http://www.iikx.com)转发