
用于腔场原位测量的光电腔

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/33488.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！

用于腔场原位测量的光电腔。 导读

太赫兹波段的光电腔为调控材料性质和量子物质控制提供了独特的途径。然而，缺乏对腔内场的直接访问限制了在腔中实现材料控制的潜力。近日，德国弗里茨·哈伯研究所（马克斯·普朗克学会）的Sebastian F. Maehrlein团队提出了一种新型的有源光电腔，能够在亚周期时间尺度上测量其腔内电场，实现了腔内模式的定量检索，可覆盖广泛的太赫兹频率范围。此外，他们设计了一种可调谐的多层腔，使得能够针对极化子系统设计混合腔。这些理论模型揭示了模式色散中免交叉的起源，并将在混合腔内任意材料中实现完全可切换的极化子效应。

这种光电腔有望成为集成探针，能够在所有耦合范围内探测光与物质相互作用，为场可分辨的腔内量子电动力学奠定基础。该文章发表在国际顶尖学术期刊《Light: Science Applications》，题为Electro-Optic Cavities for In-Situ Measurement of Cavity Fields，Michael S. Spencer为论文的第一作者。Michael S. Spencer和Sebastian F. Maehrlein为论文的共同通讯作者。

研究背景

尽管电磁腔在量子电动力学原理的实验验证方面取得了显著进展，但这些研究主要集中于可见光、红外和微波频段。这些频段的腔本征能量与大多数凝聚态物质的激发能量不匹配，限制了对太赫兹波段低能、场驱动的腔电动力学的探索。

当前太赫兹腔研究的目标是实现腔诱导的平衡态物质性质的重整化，以及利用驱动腔模式与活性物质之间的共振相互作用，实现超快控制和非平衡态的动态设计。尽管已有理论提出通过腔来增强电子-电子吸引以提高超导性等，但这些研究大多局限于在没有外部场驱动的情况下进行。此外，以往的太赫兹腔测量都是间接的，通过研究从腔中发射的光来进行，即在光-物质耦合的基本过程发生后才进行评估。这种方法无法直接观察到腔内的光-物质相互作用。

尽管提出了许多关于太赫兹腔物理应用的方案，但如何充分利用亚周期太赫兹物理工具进行腔电动力学研究，尤其是在实现对腔内场的直接测量方面，仍然是一个未解决的关键问题。传统的太赫兹时域光谱法虽然允许直接检索幅度和相位分辨的电场，但这些技术通常用于研究已经与物质相互作用后的光，而不是直接测量腔内的电场。因此，实现腔内电场的原位测量对于充分发挥太赫兹腔电动力学的潜力至关重要。

创新研究

该研究所提出的光电腔利用光电效应实现了对太赫兹波段腔内电场的直接和定量测量。这种有源腔设计突破了以往无法直接访问腔内场的限制，允许在亚周期时间尺度上对电场进行测量，极大地提高了对太赫兹波段光与物质相互作用的理解。如图1展示了光电腔的工作原理和实验装置。

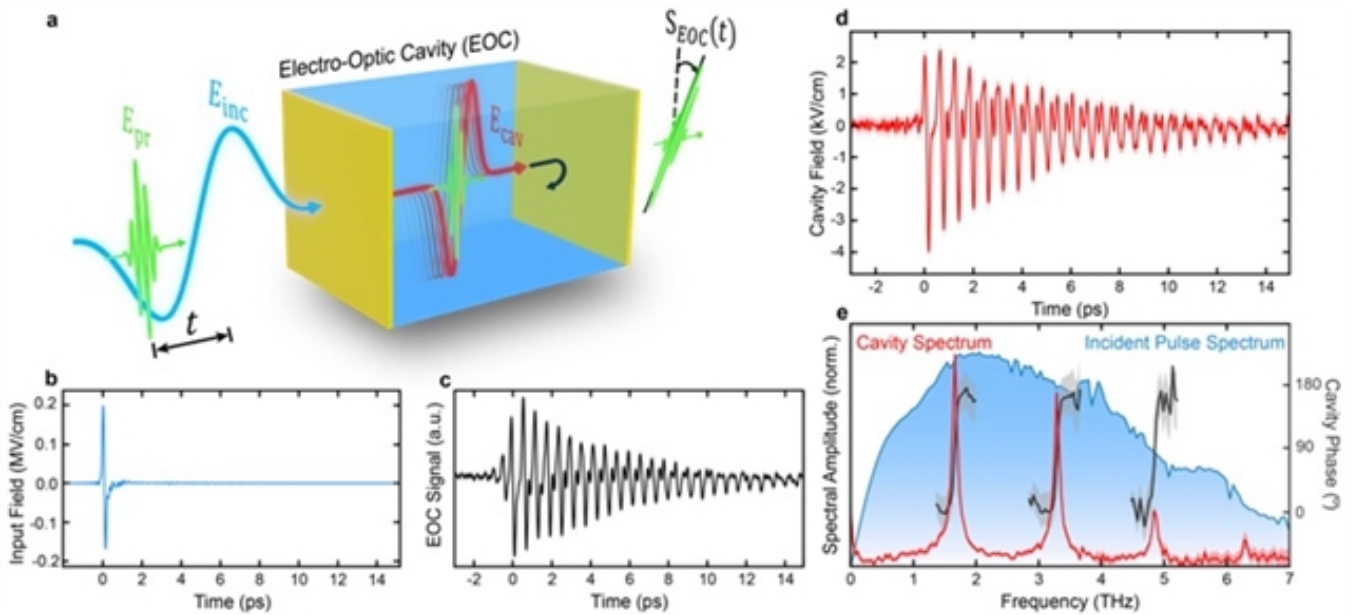


图1. 腔内场的光电测量。

研究人员开发了一种可调谐的多层腔设计，这种设计能够在单一设备中实现腔模式频率的连续调节。这种混合EOC设计不仅扩展了EOCs的功能，还为探索光与物质相互作用提供了新的实验平台。如图2展示了混合EOC的设计和代表性信号。

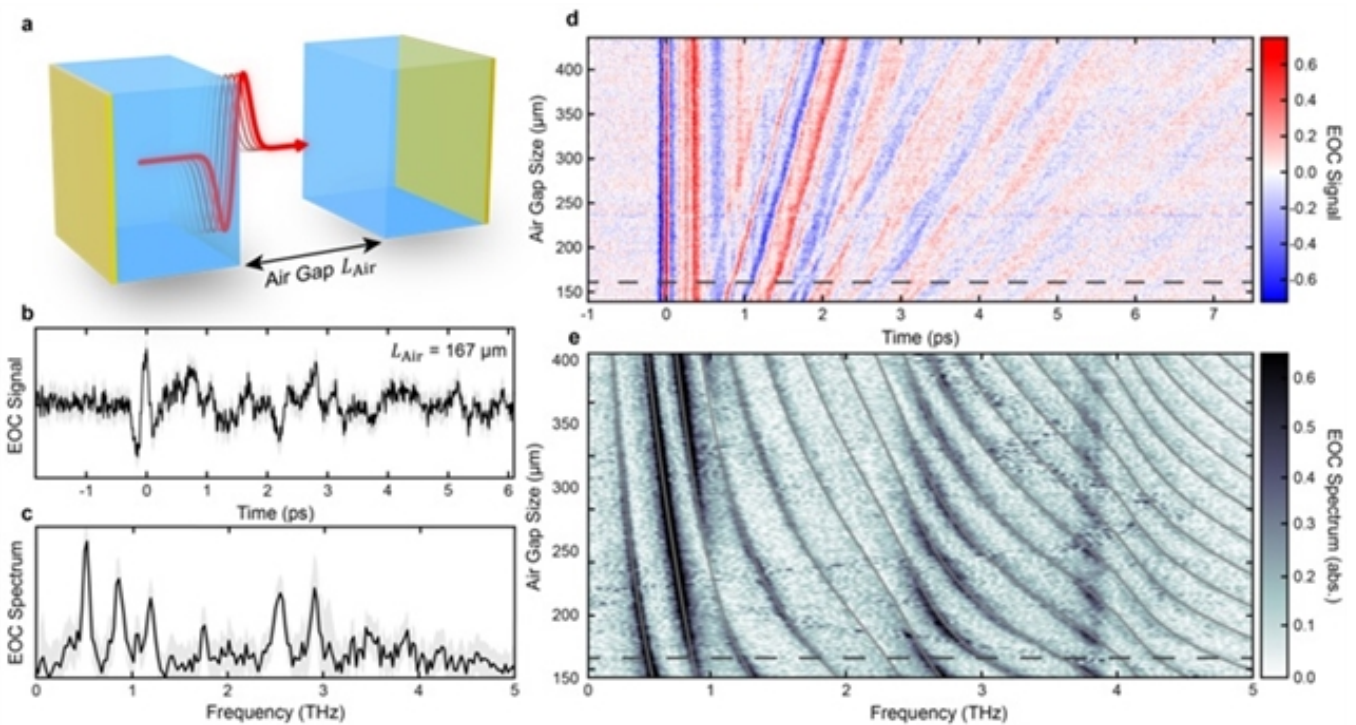


图2. 可调谐混合光电腔。

为了深入理解实验观察到的现象，研究人员构建了基于腔场的模型和耦合振子模型。这些模型不仅能够解释实验中观察到的复杂模式色散和免交叉现象，还为设计新型光电腔提供了理论基础，如图3展示了基于这些理论模型的计算结果。

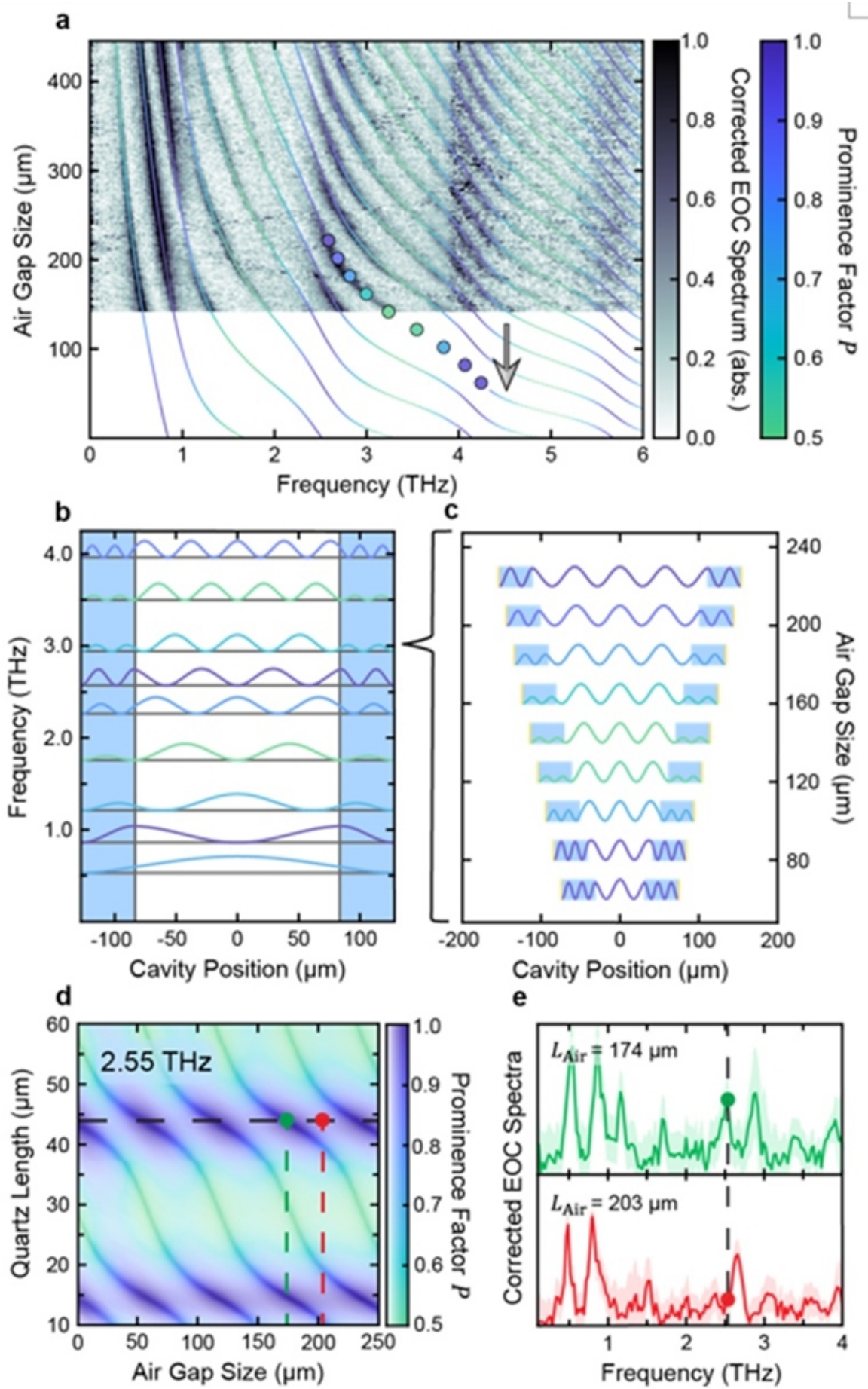


图3. 测量的混合光电腔特征和有源光电腔设计原理的理论建模。

该研究通过实验和理论模型的结合，为太赫兹波段的光与物质相互作用研究提供了新的视角。通过精确控制腔内电场，研究人员能够探索低能光与物质相互作用，为实现光控物质性质提供了新的可能性。此外，光电腔的实现为太赫兹波段的量子电动力学研究奠定了基础，为未来在通信、传感和成像技术等领域的应用提供了新的研究方向。

总结与展望

该研究成功展示了一种新型的光电腔，能够在亚周期时间尺度上对腔内电场进行直接和定量的测量。通过精确设计腔镜反射率和腔的光学长度，研究者们能够在不同的石英晶体长度和金膜厚度下调整腔的本征模式间距和品质因数。此外，研究者们还开发了一种混合光电腔平台，允许在单个设备中连续调节腔模式频率，同时保持了对腔内光电抽样的能力。这些实验结果通过腔场模型和耦合振子模型得到了理论解释，为未来设计新型光电腔提供了理论基础。

未来的研究将集中在进一步优化光电腔设计，实现更高效的光与物质相互作用控制。通过引入活性材料到混合光电腔中，研究者们期望能够探索能量交换、局域探测以及可调谐光与物质耦合等新现象。此外，光电腔的应用范围将进一步扩展，包括用于测量电磁真空场涨落、探索量子真空涨落以及实现对光物质相互作用的局域控制。这些研究不仅将推动基础物理研究的进展，还将促进集成光电子学和未来通信技术的发展。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-024-01685-x>

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：Michael S. Spencer 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