
实验观测太赫兹拓扑光纤

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/41093.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！

实验观测太赫兹拓扑光纤。导读

对太赫兹波段的技术探索和应用是目前备受关注的研究方向。得益于独特的频谱位置和物理特性，太赫兹波在通信、材料分析、安全检测和生物医学等领域展现出广阔的应用前景，成为连接电子学和光子学领域的关键桥梁。然而，现阶段太赫兹波仍然面临传输损耗以及有关波段器件稀缺等方面的研究壁垒。因此，对高效且稳定地传输太赫兹波提出有效的解决方案是当前发展太赫兹技术最为核心的研究方向之一。近日，南方科技大学电子与电气工程系丛龙庆副教授团队提出将拓扑狄拉克涡旋模式应用到太赫兹光子晶体光纤上，实现了具有超宽带、无偏振色散的单偏振单模传输太赫兹光纤，并且利用太赫兹近场时域扫描成像技术成功观测并验证了该拓扑光纤模式及色散。该思路有望提供高效、稳定的太赫兹传输方案，在太赫兹传感、亚波长分辨率成像以及分布式量子网络等新兴领域有重要的应用前景。

相关研究成果以 Experimental observation of topological Dirac vortex mode in terahertz photonic crystal fibers 为题发表于《Light: Science Applications》。

研究背景

传输稳定性和卓越的信号精度是太赫兹光纤通信中理想的性能。单偏振单模（SPSM）光纤允许在特定波长范围内传播一种模式和一种偏振状态，确保传输过程中高度的信号稳定性，有效减少多模和偏振相关干扰。目前为止，大部分太赫兹单偏振单模光纤的实现主要聚焦于将高双折射引入到光纤材料中，进而引起简并模式分离，在有限的一段范围内构建SPSM传输，包括在光纤中引入结构不对称、利用折射率匹配耦合方法、添加各向异性材料以及构建反谐振光纤结构等。然而，这些传统的方法仍然支持非简并的模式传输，会导致偏振色散引起的信号展宽。除此之外，有限的不对称性也限制了SPSM的工作带宽。

创新亮点

本文提出将来源于凝聚态物理中的Jackiw-Rossi零能模类比到光子学领域的拓扑狄拉克涡旋模式（DVM），应用于太赫兹光子晶体光纤。原理上，DVM在频谱上孤立于拓扑涡旋带隙的中间，同时空间上位于结构的中心位置，引入面外波矢后形成在光子晶体光纤中传输动量。该非简并模式不仅支持纯SPSM传输，消除偏振色散的影响；而且继承了DVM的频谱特性，在拓扑带隙内支持超宽的SPSM传输且无面内辐射。光子晶体光纤结构（图1a）采用凯库勒调制方法获得涡旋相位分布使系统从平庸变化到非平庸相。从色散关系上看，受拓扑保护的缺陷态在光纤的拓扑带隙中形成（图1b），非简并的DVM在超宽的频谱范围内可以实现SPSM传输；从空间分布上看，该模

式聚集在光纤中心位置（图1c），凭借极小的面内辐射可实现较低的限制损耗。

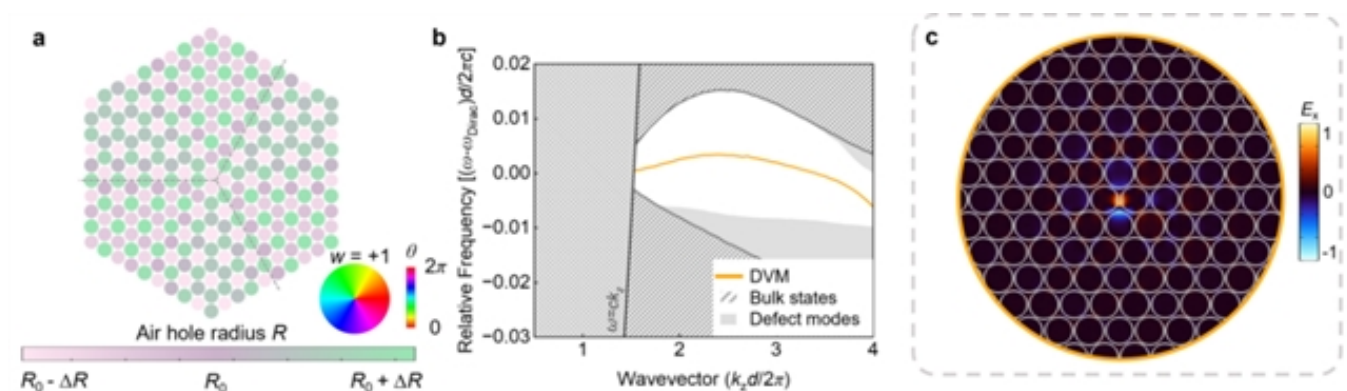


图1：(a)凯库勒调制后的光纤端面结构；(b)太赫兹拓扑光子晶体光纤的能带；(c) DVM的电场分布

为验证这一方法的可行性，研究团队利用3D打印技术制备光纤（图2a）。实验上，DVM的能带复现和近场模式分布均通过实验室自主搭建的太赫兹近场时域扫描光谱系统测试。沿光纤端面A方向的x偏振太赫兹时域信号测试结果（图2b）显示光纤中心位置周围存在强烈约束。通过对时域信号应用短时傅里叶变换分析，可以得到DVM随时间演化的时频特性（图2c），其中相位条纹描绘了DVM传播色散，SPSM传输的分数带宽为85.7%（0.2-0.5 THz）。时间-空间映射（图2d）捕捉了DVM的动态演变。最后，结合沿BB方向的测量结果可以获得完整的二维模式分布（图2e）。

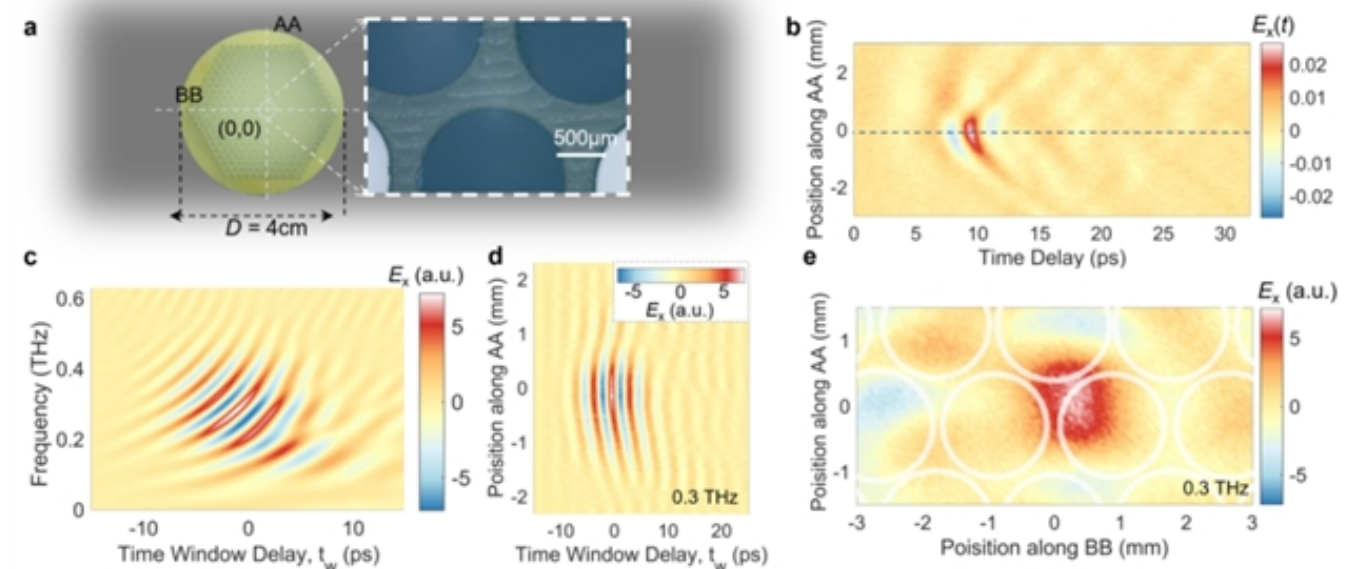


图2：(a)3D打印的光纤端面结构图；(b)沿AA方向探测的太赫兹时域信号；(c)DVM的时频特性；(d) DVM的时间空间映射；(e)实验复现的DVM近场模式分布

研究团队还通过改变入射的偏振角度分析DVM的涡旋偏振特性。图3展示了不同方向线偏振激发

下的DVM仿真和实验对比结果。结果显示，线偏振激发下的类偶极子分布特性随着入射偏振角度的变化而旋转，以此验证DVM的涡旋偏振特性。该结果同时表明，实际操作中无需采用特定的太赫兹偏振态激发，即可耦合SPSM光纤的DVM。

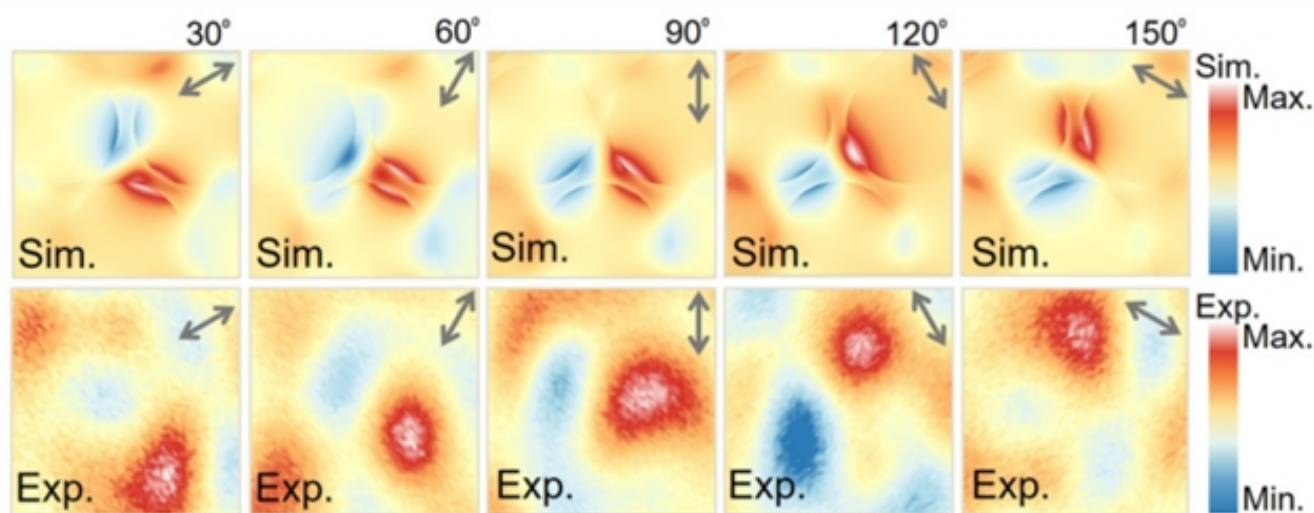


图3. 仿真和实验下不同偏振的DVM近场模式分布

总结与展望

基于凯库勒相位调制的DVM为太赫兹光子晶体光纤提供了一种兼具超宽带、强局域、低损耗潜力以及偏振稳定性的全新导模机制。这一结果不仅在基础研究方面拓展了拓扑光子学在光纤体系中的研究范式，也在应用层面为太赫兹集成、传输提供了关键器件方案。随着低损耗材料和高精度、低造价、大规模制备技术的发展，基于DVM的太赫兹光子晶体光纤有望切实助力太赫兹长距离传输。同时，此工作的实验测试方法为表征多样化模式特性及色散提供参考方案。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-026-02197-6>

作者：丛龙庆等 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