
片上全电介质超构表面构建拓扑奇异点

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/36373.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！

片上全电介质超构表面构建拓扑奇异点。 导读

近日，武汉大学李仲阳教授团队和清华大学深圳国际研究生院宋清华教授团队合作，在拓扑奇异点的构建与调控研究中取得重要进展。研究团队提出了一种新的拓扑奇异点构建策略，利用片上超构表面对导波光场的精准提取能力引入非厄米特性，创新地在片上全电介质环境中实现了拓扑奇异点的构造。具体而言，将经过筛选的超构原子排布在波导层上方，成功实现了在全电介质环境下的片上拓扑奇异点的构建与调控。同时，利用围绕奇异点构建的拓扑相位，结合几何相位实现了片上出射正交圆偏振光的解耦，生成了独立编码的左旋与右旋圆偏振全息图像。该成果突破了传统依赖金属材料构建拓扑奇异点所面临的欧姆损耗问题，发挥了片上全电介质平台的低损耗与高度集成优势，也为新一代光学AR显示设备，复用信息存储等技术应用提供了新思路。

相关研究成果以Creating Topological Exceptional Point by On-Chip All-Dielectric Metasurface为题发表于《Light：Science Applications》。武汉大学博士生易成、王泽静为该工作共同第一作者，武汉大学李仲阳教授和清华大学深圳国际研究生院宋清华教授为共同通讯作者。

研究背景

超构表面作为一种开放系统，能够在入射场和超构原子之间不断交换或吸收能量，这类系统可以被归类为典型的非厄米系统。同时，由于其卓越的光场操控能力，超构表面被广泛视为构建和利用拓扑奇异点的理想平台。过去，研究人员基于拓扑超构表面实现了多种光学功能，如偏振控制、相干完美吸收以及全息光场调控等。然而，由于以往的拓扑超构表面通常依赖于金属材料来引入奇异点特性，这一策略不可避免地带来了欧姆损耗，制约了器件的整体光学效率，并削弱了其在全电介质主流光学系统的兼容性。此外，传统的自由空间配置也成为了在紧凑光学平台中集成多个光学器件的阻碍。因此，亟需新的构建原理与技术路径，以突破当前拓扑超构表面面临的能耗与集成瓶颈。

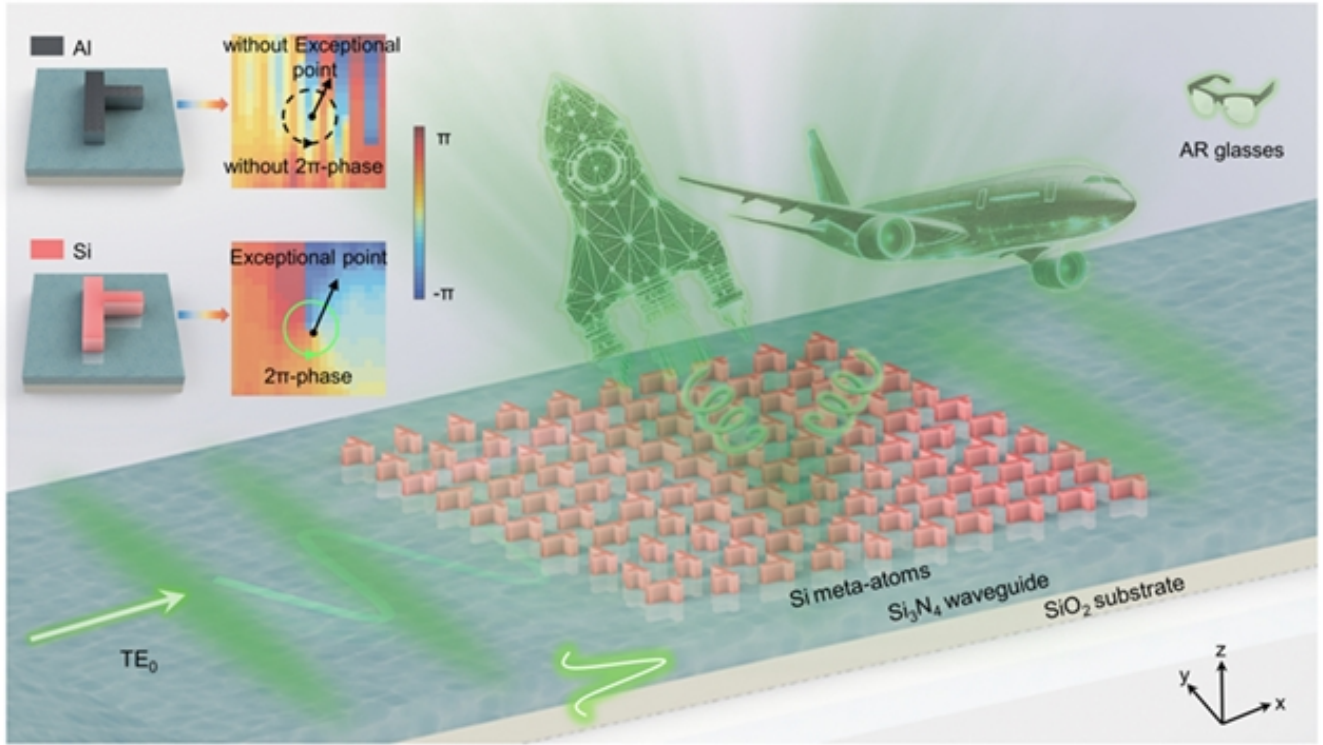


图1. 基于拓扑相位编码的片上全介质超表面实现双通道矢量全息示意图。

具体而言，研究团队通过大量扫描硅超构原子的形状与其几何参数（图2a），最终在左旋圆偏振光的提取通道中成功构建出奇异点（图2b），并且在围绕奇异点的附近观察到具有拓扑特性的相位分布；而在右旋圆偏振光通道中没有观察到类似奇异点的现象（图2c）。

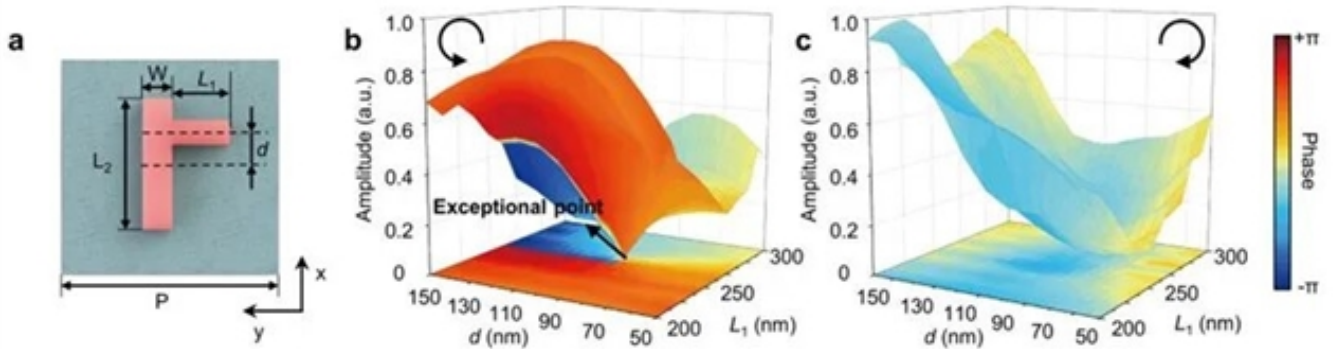


图2. (a) 硅超构原子俯视图；(b) 提取左旋圆偏振光分量的相位以及振幅分布；(c) 提取右旋圆偏振光分量的相位以及振幅分布。

为探究片上超构表面对拓扑奇异点的调控能力，研究团队提出了一种矢量全息编码策略，该策略基于围绕奇异点构建的片上拓扑超构表面，能够实现正交圆偏振光的解耦与独立编码。通过围绕奇异点选择四个具有不同结构参数的超构原子来进行拓扑相位的全息编码，联合二台阶几何相位的调控，研究团队依据所提出编码策略，获得了最终的超构原子阵列排布。

在此基础上，研究团队制备了片上超构表面样品用于实验表征。利用图3a中实验装置进行全息的

测量，实验结果如图3b所示，展现出了较高的对比度和清晰度。作为AR功能的概念验证，进一步利用图3c中所示的装置进行AR的测量。值得注意的是，全息图像并没有出现在背景图片中，但是可以被手机摄像头捕捉，仿佛漂浮在背景之上。实验测量的AR图像如图3d所示，可以实现双通道的交替切换，并且免受零级衍射的干扰，具有较好清晰度。

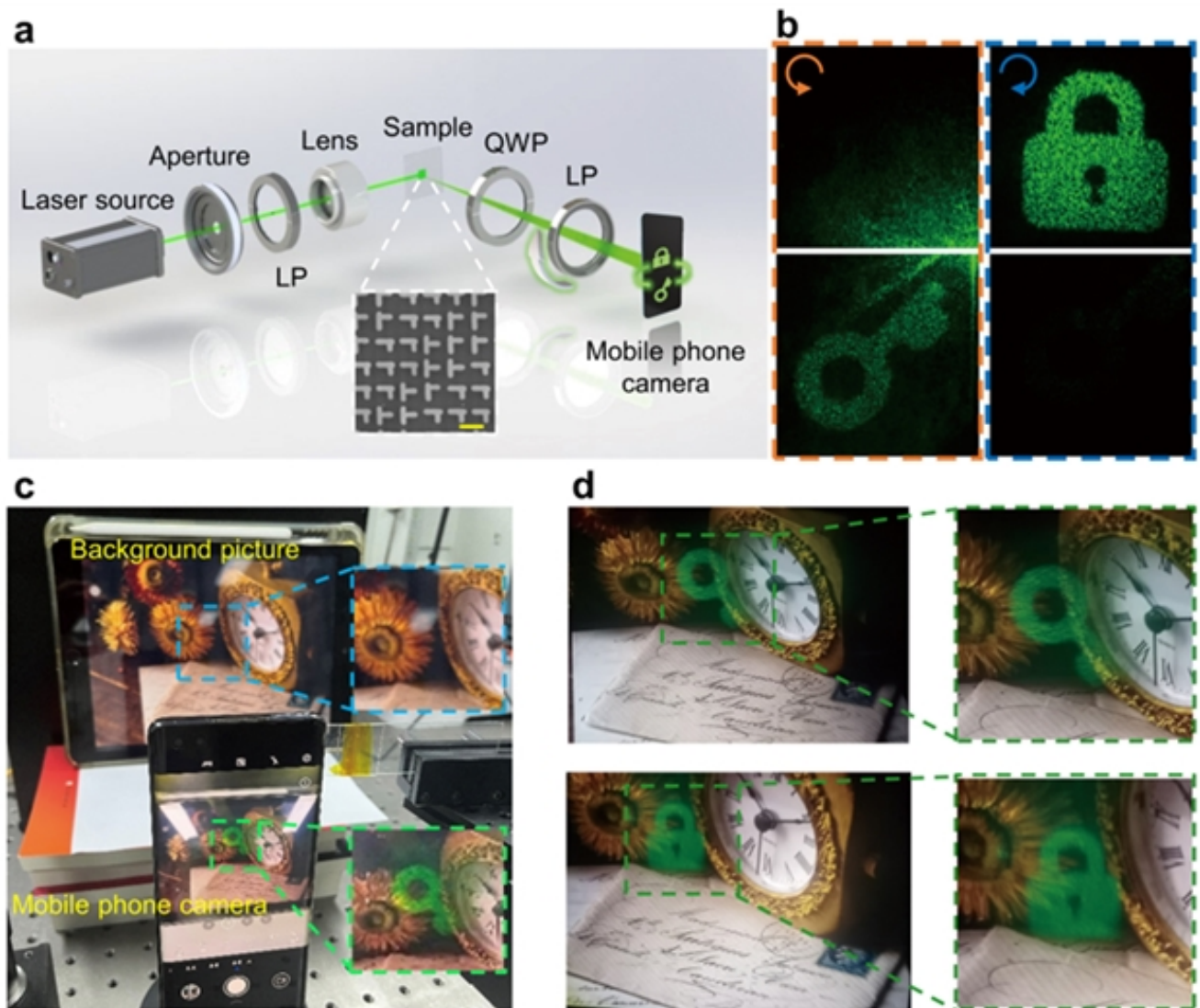


图3. (a) 全息图像的测量装置；(b) 全息图像的实验结果；(c) 用于AR演示的实验装置；(d) 实验捕获的漂浮在实际背景上的AR图像。

总结与展望

本研究提出并实验验证了一种集成在波导上的片上拓扑超构表面，能够在全电介质环境下构建并操纵拓扑奇异点，有效解决了金属材料所带来的欧姆损耗问题。研究团队利用围绕拓扑奇异点形成的、具有 2π 积累特性的拓扑相位作为光学编码的新自由度，并结合几何相位的调控，实现了正交圆偏振光通道的完全解耦，从而实现了可切换的双通道矢量全息术。得益于全电介质和独特的片上传播机制，所提出的超构表面器件不会对观察者造成零级衍射干扰，提升了图像清晰度与显示质量，并有助于在紧凑平台中集成多个片上光学组件。总体而言，该策略为下一代显示和存储应用展现了广阔的应用前景，包括可穿戴AR显示器、信息存储和光学多路复用。（来源：Ligh

tScienceApplications微信公众号)

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-025-01955-2>

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事宜，请与我们联系。

作者：李仲阳等 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