
基于超构表面的轨道角动量多场复用

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/28375.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！

基于超构表面的轨道角动量多场复用。 导读

因为可以提供理论上无限的正交信号模式，光子的轨道角动量自由度为大容量、高速度信息处理带来了大量的创新应用。但是，为了拓展轨道角动量的应用范围，进一步提升光子信息传输处理的容量和速度，如何利用易于片上集成的微纳结构实现轨道角动量与其他光子自由度（比如波长、偏振等）的复用，成为一个亟待攻克挑战。

近日，中山大学物理学院周张凯教授课题组，通过提出复用相干像素的原理，成功利用单晶硅超构表面实现了光子轨道角动量和波长的多场复用，演示了轨道角动量-波长复用特性对于光子信息传输与存储能力的提升。该研究成果证明了包含轨道角动量的多场复用在微纳片上结构体系的可行性，为进一步拓展轨道角动量的应用空间，推进片上集成光子学器件的设计与应用提供了有效方案。相关成果以 *Multiplexed manipulation of orbital angular momentum and wavelength in metasurfaces based on arbitrary complex-amplitude control* 为题发表在国际顶尖学术期刊《*Light: Science Applications*》上。中山大学物理学院博士生何国立为第一作者，周张凯教授为通讯作者。该研究工作得到了国家重点研发计划和国家自然科学基金委项目的大力支持。

研究背景

具有轨道角动量的光会呈现为涡旋光这一特殊的光场形式。涡旋光的特点是相位面存在着一个奇点，并且光场的整体相位绕着该奇点呈螺旋状均匀变化，变化的快慢由拓扑荷数描述。因此理论上，同一波长的涡旋光可以根据拓扑荷数的不同，提供无限多的正交光场模式，从而极大地提高光子同时传输和处理信息的能力。由于螺旋状的特殊相位分布，涡旋光调控与应用的难度远远高于利用平面光生成涡旋光，特别是利用可大规模集成的片上器件调控轨道角动量还存在较多限制。目前为止，在微纳尺度复用轨道角动量和其他光子自由度还较为困难。然而，正如人们所熟知的，具备多自由度是光子的本质优势之一，而光子多自由度之间的高效复用也是推进现代光子技术不断发展的重要方式。因此，为了进一步提升光子在集成系统中信息处理的容量和速度优势，亟需得到有效的方法在微纳尺度实现光子轨道角动量和其他自由度的复用。

研究创新

基本原理

周张凯教授课题组通过提出复用相干像素的原理，利用超构表面实现了光子轨道角动量和波长两个自由度的多场复用。复用相干像素的基本原理是在同时考虑光场多波长和多拓扑荷的基础上，

实现对入射光场复振幅的调控。因此超构表面的设计可主要分为三个步骤：第一，通过选取合适的单晶硅纳米柱的尺寸，实现超构表面在所需工作波长下的最大工作效率(图1a、b)；第二，通过引入相干像素作为基本超构表面单元，实现出射光场强度与相位的解耦调控，完成对出射的正交圆偏振光中相位与振幅的任意独立调控(图1c)；第三，通过优化的遗传算法得到制备超构表面的所需的强度和相位分布，完成复用相干像素超构表面的设计(图1d)。复用相干像素超构表面所使用的基本结构单元的尺寸种类较少，便于大规模加工制备，能够有效地适用于各种复杂的应用场景。

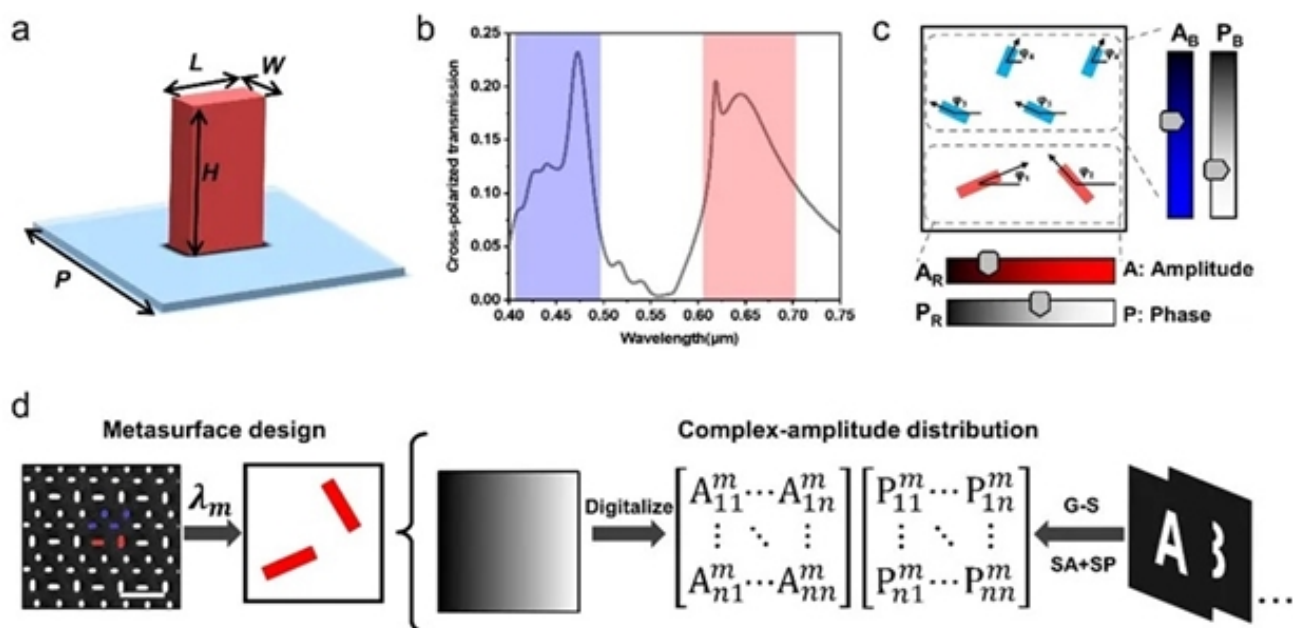


图1、(a)超构表面基本单元（纳米柱）的几何参数；(b)波长信道的优化；(c)利用相干像素实现了对出射光场相位与强度的独立调制；(d)复用相干像素超构表面的复振幅设计流程示意图。

应用场景1：大容量光信息存储

超构表面通过调控出射光场的相位和强度，可以实现高分辨平面或者全彩全息图像的存储与显示。由于同一片超构表面可以同时响应多种入射光场，因此这种光存储和显示的方法具有高密度、高安全性等优势。增加超构表面能够同时响应的光场数目，是提高存储容量的重要途径；比如引入超构表面对于涡旋光的调控，就极大地提高了超构表面光存储的性能。在此基础之上，本项工作进一步实现了超构表面对于不同波长涡旋光的控制，利用单层超构表面(图2a)实现了包含灰度图在内的多幅平面与全息图像的集成（图2b），演示了波长与轨道角动量复用在光存储领域的应用，极大地增加了单层超构表面所能承载的信息容量。

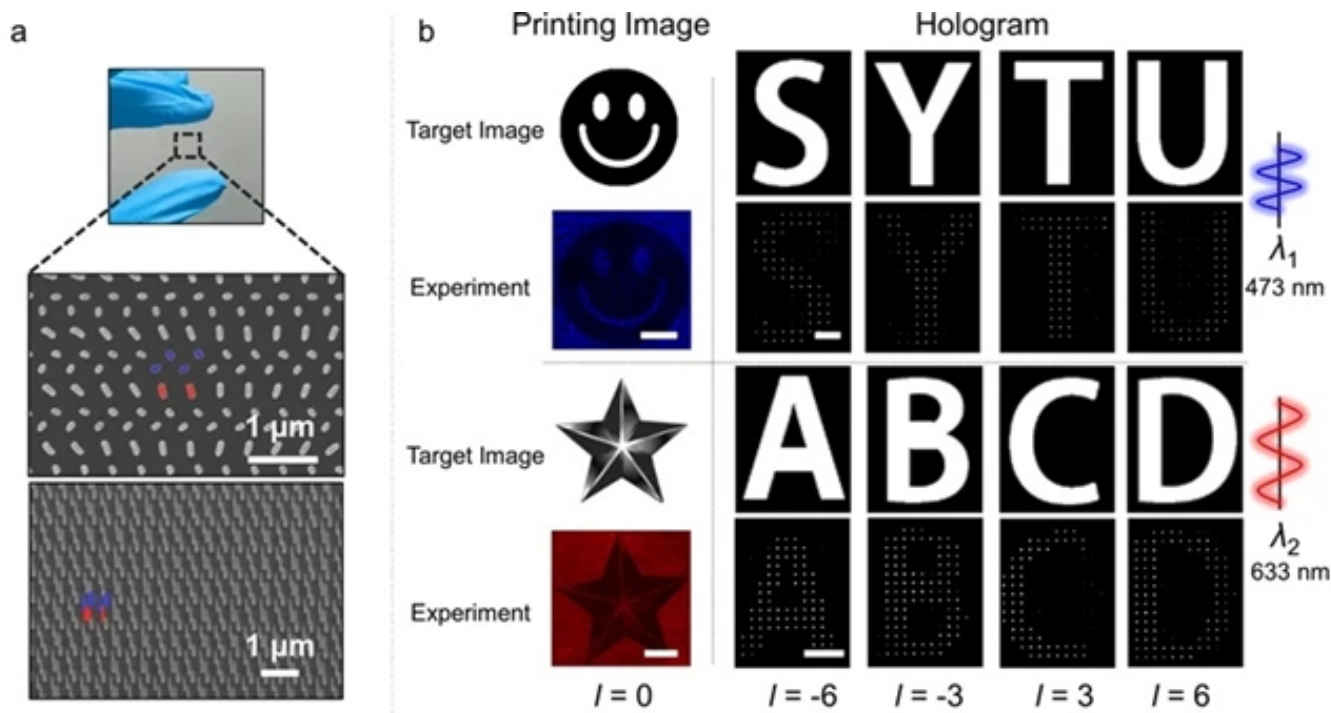


图2、(a)复用相干像素超构表面的实物图与扫描电子束显微镜图；(b)包含灰度图在内的两幅平面图与八副全息图的集成。

应用场景2：多波长的轨道角动量信号的解复用

随着轨道角动量被用于信息传输，相互正交的轨道角动量模式可以同时光纤通道中传输，极大地提升信号的传输效率。利用超构表面易于小型化和集成化的优势，发展基于超构表面的轨道角动量解复用器件，可以有力地推动集成光学和光电信息领域的发展。如图3a中所示，当不同波长的涡旋光入射到超构表面后，光信号将被衍射到不同的平面；而在同一波长的衍射平面内，不同拓扑荷数的入射信号，又将被路由到不同的预设位置(图3b)，最终实现利用同一超构表面器件完成对多波长轨道角动量信号的解复用。该功能将为拓展和深化超构表面在大容量信息通讯中的应用提供新的支持和思路。

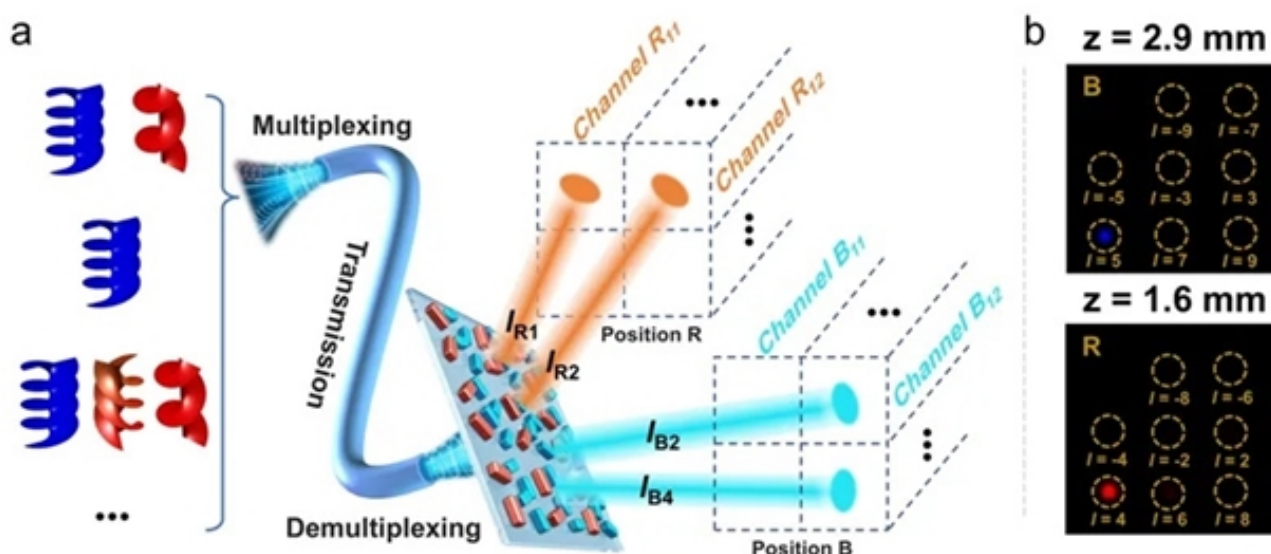


图3、（a）复用相干像素超构表面实现了多波长轨道角动量信号的解复用；（b）超构表面对于不同信号解复用的测试结果。

前景展望

研究者通过复用相干像素构建了可将入射光的轨道角动量与波长进行复用的超构表面器件，并且通过理论与实验证明了该超构表面可以实现信息存储、加密、多通道解复用等多种功能。未来通过进一步的优化结构设计与功能算法，该超构表面有望能同时复用更多的光场自由度，比如波矢方向、偏振等。这将进一步开拓超构表面在未来数据加密、信息处理、量子科学等领域的应用。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-024-01420-6>

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：周张凯等 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