飞秒激光直写光子灯笼型模式复用器件

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/31949.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！

飞秒激光直写光子灯笼型模式复用器件。光子灯笼是一种连接单模波导和少模波导的低损耗器件。一端为满足特定模式条件的少模光纤，另一端由多根单模光纤组成。由于其结构与传统灯笼相似，因此得名光子灯笼。最初，光子灯笼是通过光纤拉锥技术制造的。标准的光子灯笼将多根单模光纤置于一个低折射率的毛细管中进行熔融拉锥，随着拉锥过程的进行，单模光纤逐渐变细，包层相互融合形成新的少模纤芯，而毛细管则成为少模光纤的包层。光子灯笼能够实现光束在单模波导与少模波导之间的低损耗传输。

光子灯笼的概念和结构最早由巴斯大学的Birks于2005年在天文学家Bland Hawthorn的启发下提出，最初应用于天体光子学的观测中。当时，光子灯笼的输入端由完全相同的单模光纤组成，因此不具备模式选择功能。随着单模光纤系统在长距离传输中的数据容量限制逐渐凸显，人们开始探索空分复用和模分复用技术，以应对大数据时代高速大容量光通信的迫切需求。光子灯笼因其作为绝热模式转换器的潜力，迅速引起了通信领域的关注。模式选择光子灯笼由此诞生，通过使用不同尺寸的单模光纤引入不对称性，从而实现模式选择功能。

近年来，飞秒激光直写技术因其超高精度、灵活性以及三维加工能力，逐渐被应用于光子灯笼器件的制作中。然而，传统的飞秒激光直写光子灯笼设计仍然延续了光纤型光子灯笼的设计思路，即通过加工不同尺寸的单模波导，并将多根单模波导重新排列聚合，形成少模波导，如图1（a）所示。然而，当这一设计应用于飞秒激光直写技术时，存在一定的不适配性。首先，在采用不同加工参数制作不同尺寸的单模波导时，各波导的传输损耗会有所差异，进而显著影响整个器件的性能；其次，该设计使结构更为复杂，增加了器件的长度，进一步加大了损耗。

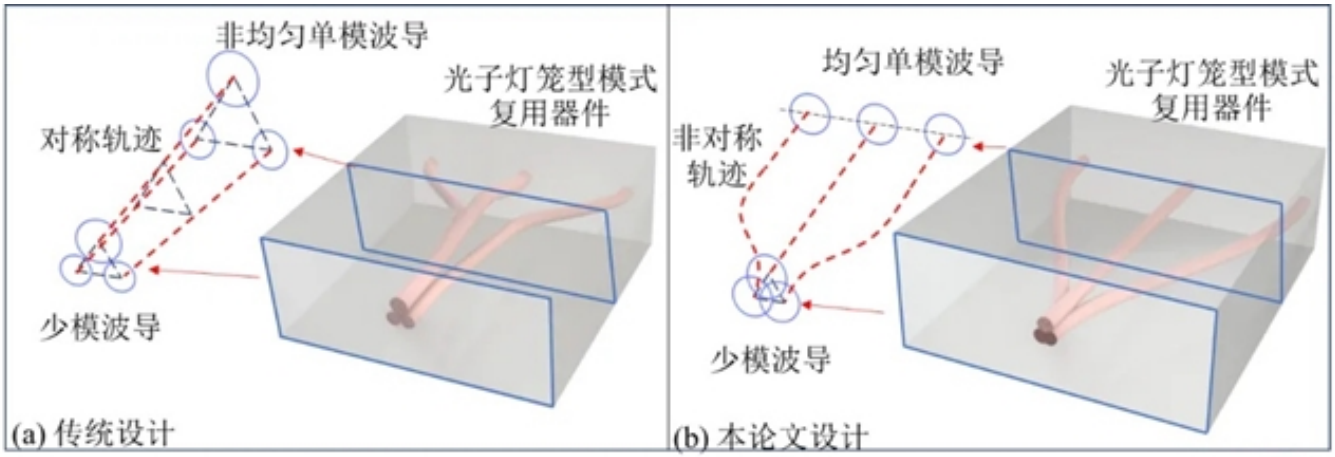


图1：光子灯笼型模式复用器件设计。（a）传统非均匀对称波导轨迹设计；（b）本论文均匀非对称波导轨迹设计

近日，华中科技大学武汉光电国家研究中心王健教授领导的多维光子学实验室（MDPL）团队在这一领域取得了重要进展，成功提出了轨迹不对称性和均匀波导结构设计，通过飞秒激光直写技术实现了低插入损耗和低模式串扰的光子灯笼型模式复用器件。这一创新为提高模分复用光纤通信系统的性能奠定了基础。

相关成果以Superior ultrafast laser-inscribed photonic-lantern mode (de)multiplexers using trajectory-asymmetry with uniform waveguides 为题发表在Light: Advanced Manufacturing。

与光纤型光子灯笼通过逐渐熔合各光纤的包层以形成少模端的纤芯不同，飞秒激光直写光子灯笼则是直接将单模波导纤芯融合，形成少模波导的纤芯。由于各纤芯间的强耦合作用，当各波导的耦合系数存在差异时，少模波导中的模式传播常数也会有所不同。因此，通过设计不同的波导轨迹，即使在使用相同波导的情况下，也可以实现模式的选择性激发，如图1(b) 所示。

所有单模波导均使用相同的加工参数，因而在尺寸、折射率分布等方面保持一致，从而确保传输损耗相同。中间波导设计为直波导，而两侧为弯曲波导，构成了非对称轨迹。这样的设计能够在耦合区域产生不同的耦合条件，确保少模波导中每种支持模式具有不同的传播常数，从而实现模式的选择性激发。通过简单的弯曲轨迹设计，尽可能缩短器件长度，同时提升器件性能。最终激发的少模模式如图2所示。

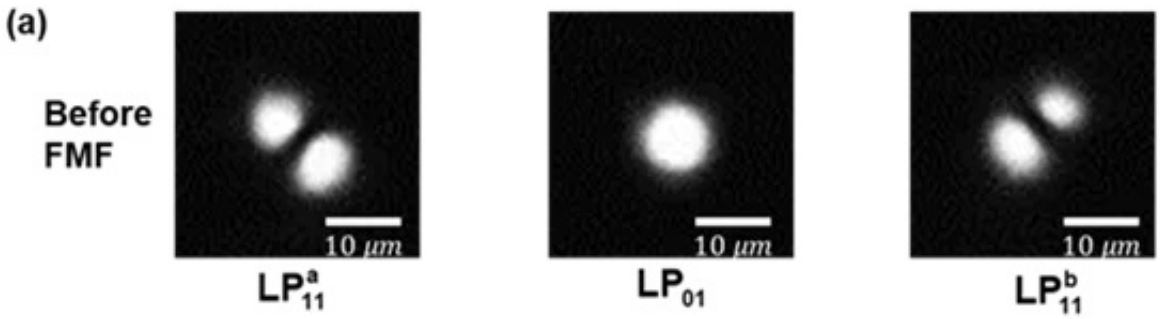


图2：模式复用器输出光束光场强度分布图

相较于非均匀波导结构，采用均匀波导能够使波导的传输损耗和耦合损耗保持一致，不仅有效降低了器件的整体损耗，还提高了器件的均一性，简化了加工流程，显著减少了与光纤耦合的难度，更容易实现工业标准化。在均匀波导的基础上，使用非对称轨迹设计能够实现选择性的模式激发。该模式激发具备更高的可控性，通过精细调节可以实现高纯度的模式激发。此外，非对称轨迹采用超低弯曲损耗的设计，使得各模式的激发和损耗更加均衡，从而进一步提升器件的均一性。

总之，这种设计优化不仅显著提升了器件性能，还为该类器件在实际光纤通信中的应用铺平了道路，有助于推进其工业化进程。（来源：先进制造微信公众号）

相关论文信息：https://doi.org/10.37188/lam.2025.002

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：王健等 来源：《光：先进制造》

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转发