

氧化硅微纳光纤的并行制备

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/29106.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！

氧化硅微纳光纤的并行制备。近日，浙江大学郭欣教授、童利民教授团队提出了一种微纳光纤并行制备的方法，并成功在单次拉伸过程中制备出20根几何参数一致的氧化硅微纳光纤。制备得到的微纳光纤直径偏差低于5%，在1550 nm波长处具有高于96.7%的光学透过率，且直径可低至约500 nm。该研究有效推动微纳光纤及其阵列在光学传感、光机械和光纤-芯片耦合等领域的应用，并为高效、大规模的微纳光纤制备技术的发展奠定了基础。

该成果以Parallel fabrication of silica optical microfibers and nanofibers为题发表在Light: Advanced Manufacturing。

微纳光纤是一种直径接近或小于传输光真空波长的准一维光波导，通常由标准玻璃光纤在高温下通过物理拉伸方法制得，具有传输损耗低、光场约束能力强、倏逝场比例高、表面场增强、以及力学性能优良等特性（图1）。作为一个微型化光纤光学平台，微纳光纤已经在光学近场耦合、光学传感、非线性光学、原子光学、光纤激光器和光力学等领域得到广泛关注和深入研究。

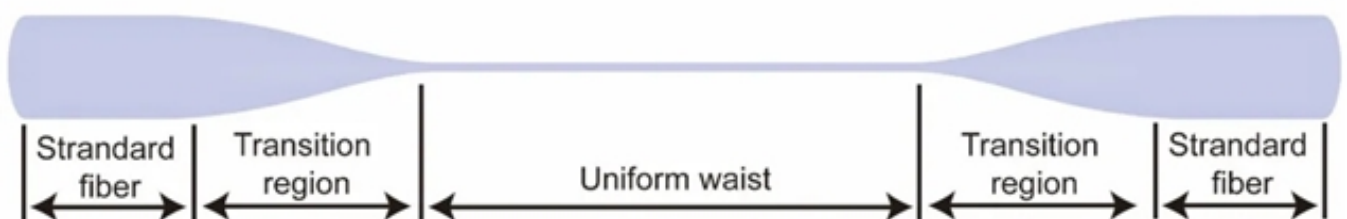


图1：微纳光纤结构示意图

近年来，微纳光纤阵列，或者说具有相同结构参数的多根微纳光纤结构，获得了越来越多的关注。从研究两根平行微纳光纤间的近场耦合特性及应用开始，微纳光纤阵列已经在超快响应和超高灵敏度的光学传感器[Opto-Electron. Adv. 3, 190022 (2020)]、超高分辨率的微型光谱仪[eLight 3, 9 (2023)]、智能可穿戴和人机交互设备[Adv. Fiber Mater. 4, 1108-1117 (2022)]，以及拓扑光子学[Laser Photon. Rev. 10, 995-1001 (2016)]等应用上有所报道。但是，至今为止，几乎所有的微纳光纤阵列都是通过多次拉锥单根光纤的方法制备得到的。为了精确把控每次制备的微纳光纤的结构参数，包括直径、过渡段形貌、长度等，微纳光纤的拉伸制备速度需要控制到一个较低的数值（通常为0.1 mm/s），并且通常还需要搭配光纤直径的准确测量和控制技术。这导致需要多次重复制备时，存在操作繁琐、耗时低效的问题。为此，在多微纳光纤功能结构的研究和实际应用中，需要发展一种能够高效制备具有相近几何特征的微纳光纤阵列的方法。

考虑到在微纳光纤阵列制备中，所需要的总拉力和光纤数量成正比，研究团队首先研究了单根氧化硅光纤拉伸过程中的拉力特征（图2），发现光纤拉伸温度从1158到1278的升高过程中，单根光纤的最大拉力可从4.8 N降低到0.4 N。为了保证多至20 × 微纳光纤阵列的拉伸制备过程的平稳性，研究团队选择1240-1250 的温度区间作为工作温度区间，对应总拉力约为15.8-17.4 N。

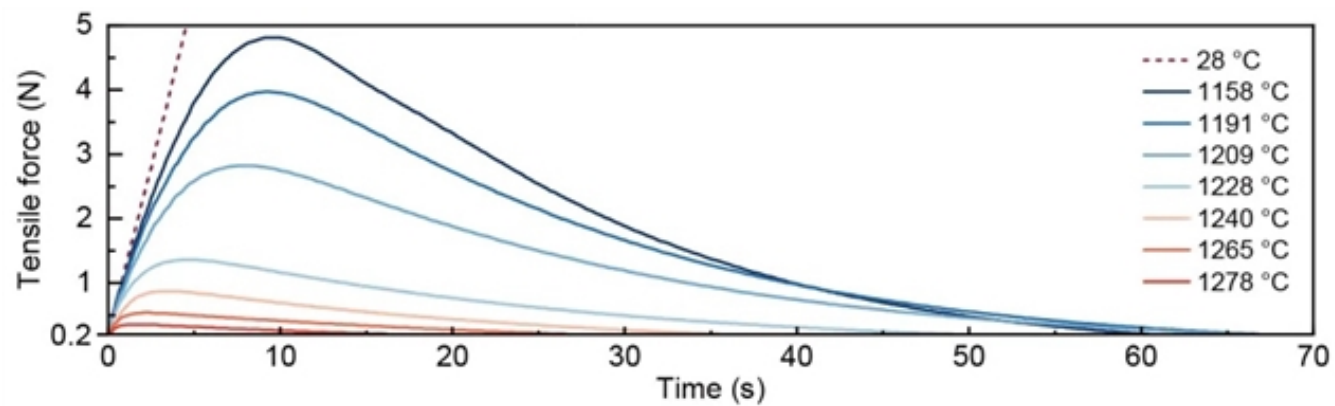


图2：不同温度下的单根微纳光纤拉伸时的拉力-时间变化曲线

其次，制备具有相同结构参数的微纳光纤阵列需要保证每根光纤的拉伸条件（比如温度、拉伸长度等）尽量一致，而市面上现有的微型加热器无法满足20根标准光纤阵列（光纤密排总宽度约5 mm）均匀加热的需求，为此研究团队研制了一款具有6.2 mm均匀温区宽度的电加热器，最高稳定加热温度能够达到1300℃，其基本结构和温度分布特性如图3所示。

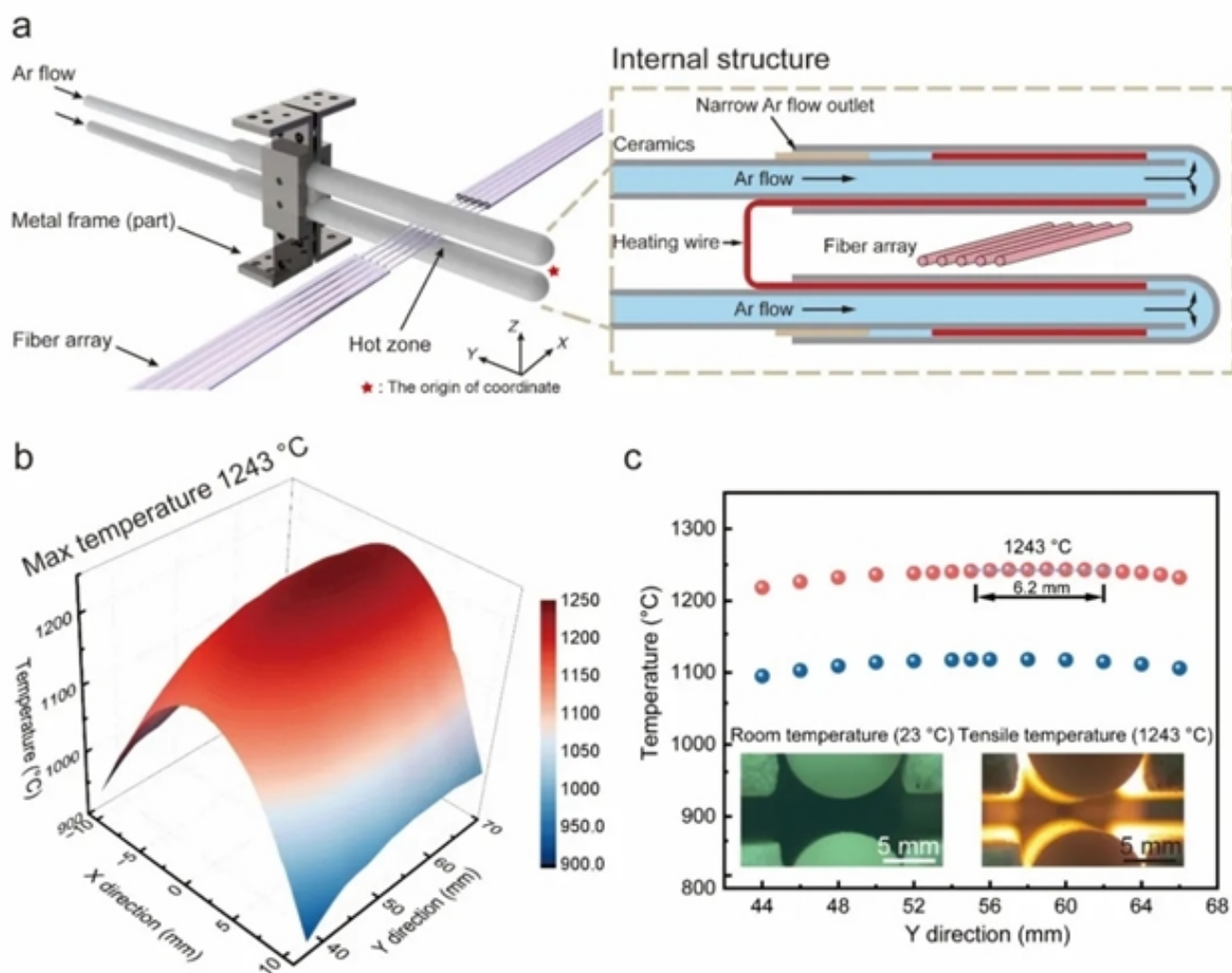


图3：电热源的基本结构和表征。a，电热源的基本结构示意图；b，热源中心平面（XY）平面的二维温度分布；c，热源中心平面中Y方面的温度分布。

微纳光纤阵列制备系统的总体结构和单根微纳光纤制备系统相似（图4a），但采用了上述的宽温区电加热器，以及适用于光纤阵列的夹持拉伸模块和光学监测模块。该系统能够同时拉伸制备20 × 微纳光纤阵列（图4b），并且每根光纤的透过率曲线几乎同时开始起振、在相近时间结束振荡，表明每根光纤的拉伸条件具有良好的一致性（图4c）。

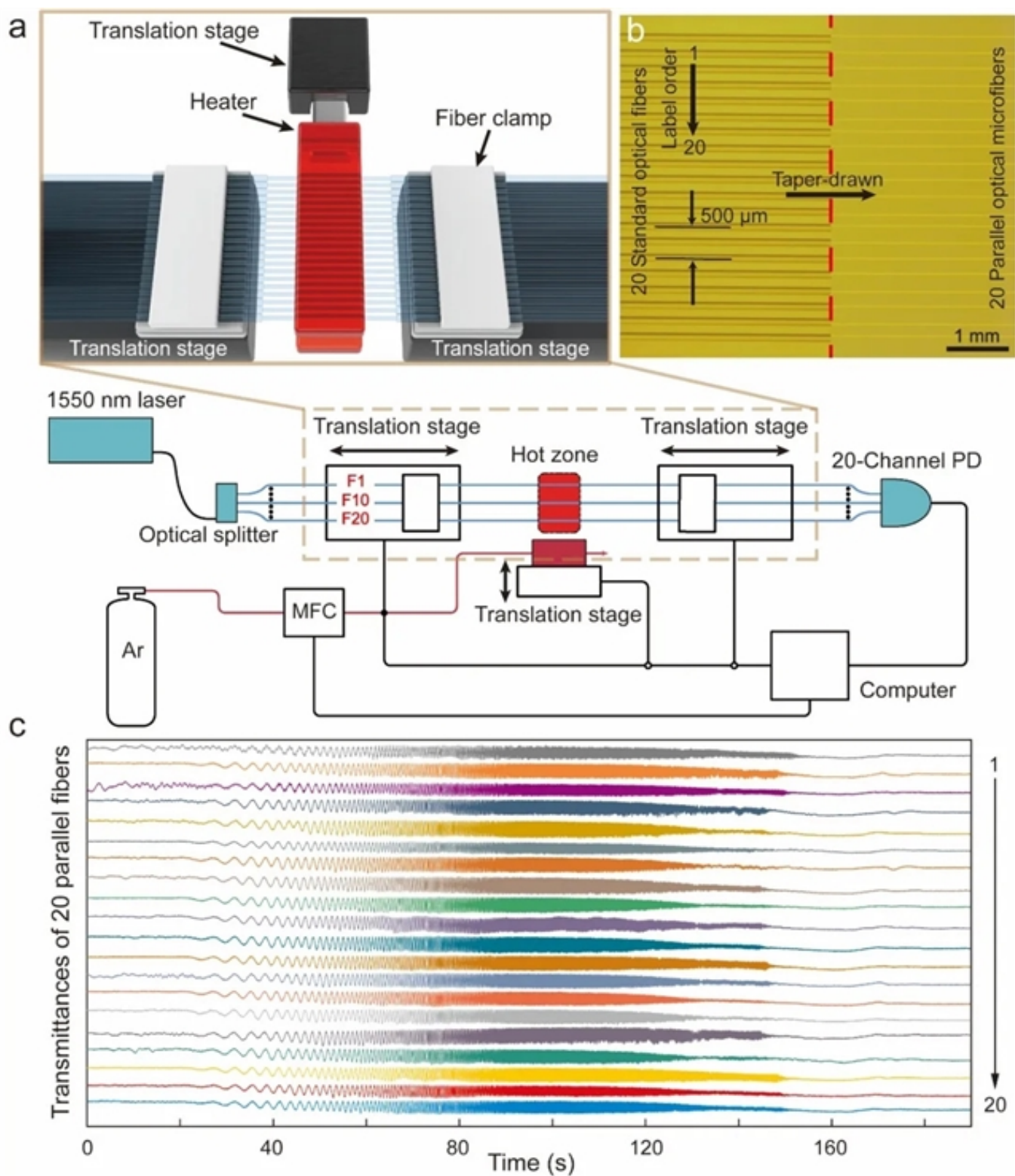


图4：微纳光纤阵列制备系统。a，系统结构示意图；b，20根标准光纤（拉伸前）和微纳光纤（拉伸后）的光学照片；c，拉伸制备过程中20根微纳光纤在1550 nm波长处的透过率曲线。

制备得到的微纳光纤阵列具有优异的光学透过率和直径均匀性。图5a展示了一组平均直径为1.22 μm的20 × 微纳光纤阵列的直径和透过率数据。微纳光纤的直径分布在1.19-1.27 μm范围内，并且在1550 nm波长处的透过率均高于97.2%。依靠加热和拉伸过程的高度稳定性，

微纳光纤的直径可低至约500 nm。比如，在图5b中给出的平均直径为529.4 nm的10 × 微纳光纤阵列中，光纤直径分布在519.2-552.7 nm之间，并且每根光纤仍然保持高于96.7%的光学透过率。

通过适当的夹具可以取用和转移完成制备的微纳光纤阵列。例如，使用一个Y型的叉子（图5c）可以悬空地取下制备系统上的微纳光纤阵列，用于光力学、微小颗粒传感等研究；也可以直接把制备好的微纳光纤阵列转移到如氟化镁、聚二甲基硅氧烷、硅基芯片等特定的衬底上（图5d），用于光场局域、柔性传感、光纤-芯片耦合等研究。

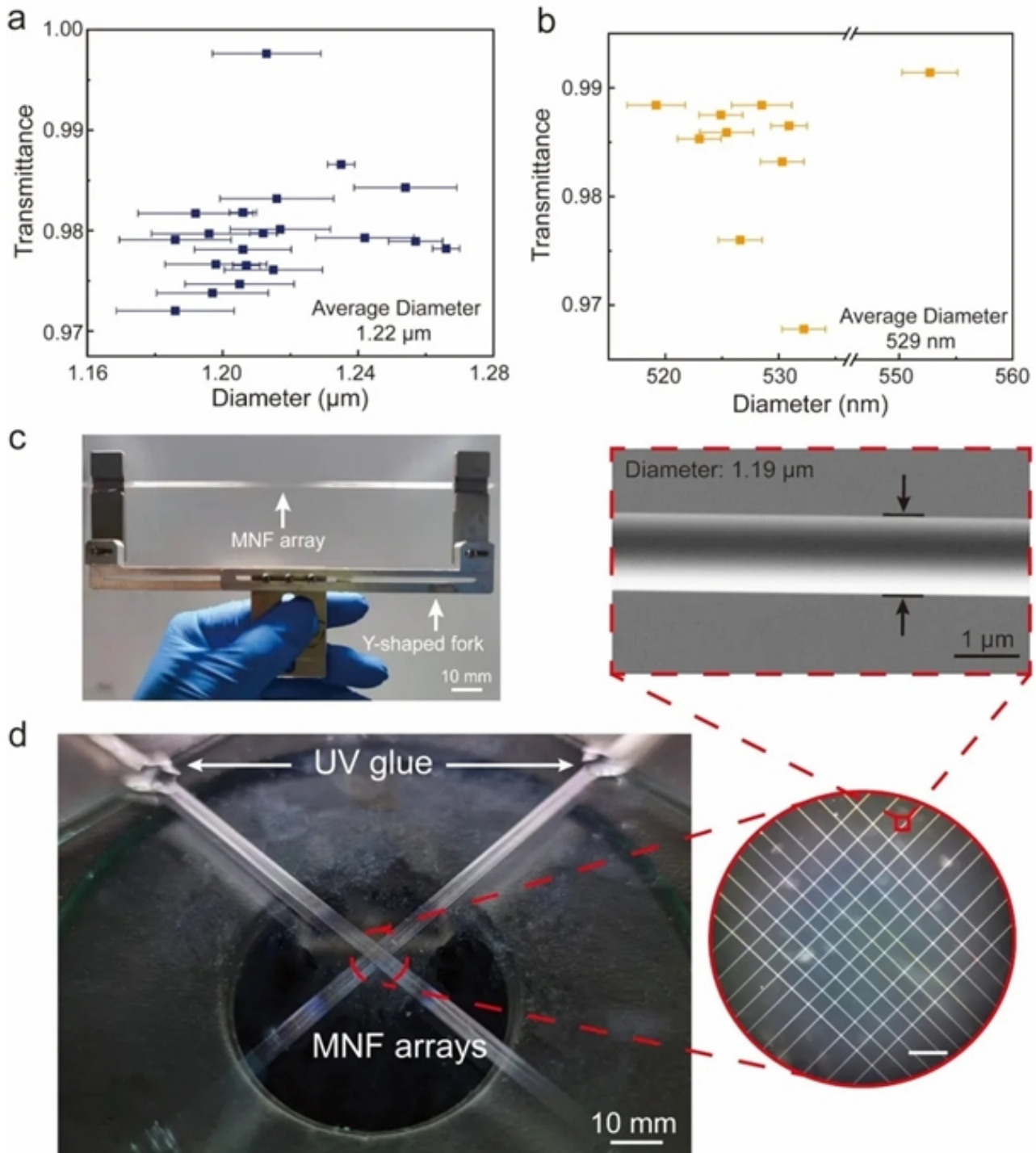


图5：微纳光纤阵列的表征和转移。a，20 × 微纳光纤阵列（平均直径为1.22 μm）的直径和透过率；b，10 × 微纳光纤阵列（平均直径为529 nm）的直径和透过率；c，被取用的微纳光纤阵列（平均直径约为890 nm）；d，交叉交叉的微纳光纤阵列对，插图中的比例尺：500 μm。

总结与展望

本文报道了一种能够同时制备多根氧化硅微纳光纤的方法。使用一个宽温区热源、多通道的光纤夹持拉伸模块和光学监测模块，能够制备直径低至约500 nm的微纳光纤阵列，并保持每根微纳光纤的透过率高于96.7%，光纤间的直径偏差小于5%。该技术有望推动微纳光纤高效制备技术的发展，并加速微纳光纤及微纳光纤阵列在光无源器件、光学传感、光机械、光纤-芯片耦合等方面的应用。（来源：先进制造微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.37188/lam.2024.020>

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：郭欣等 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](https://www.iikx.com)转发