3D打印多芯光纤端面磁场和温度解耦传感探针

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/28422.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！

3D打印多芯光纤端面磁场和温度解耦传感探针。微型化的光纤磁场传感器由于结构紧凑、抗电磁干扰、高灵敏度等优点而引起了广泛关注。然而，受限于传感材料固有的热力学性质，温度交叉灵敏度成为了影响传感精度和可靠性的一个挑战性问题。

近日，复旦大学肖力敏教授团队联合中天科技精密材料有限公司、上海大学和香港理工大学团队，以3D printed multicore fiber-tip discriminative sensor for magnetic field and temperature measurements为题在Light: Advanced Manufacturing上发表最新研究成果。该研究基于多芯光纤研发了一种光纤端面3D打印探针，并对其中一个探针进行磁敏材料修饰，实现了高灵敏度、高可靠性的磁场和温度解耦测量。

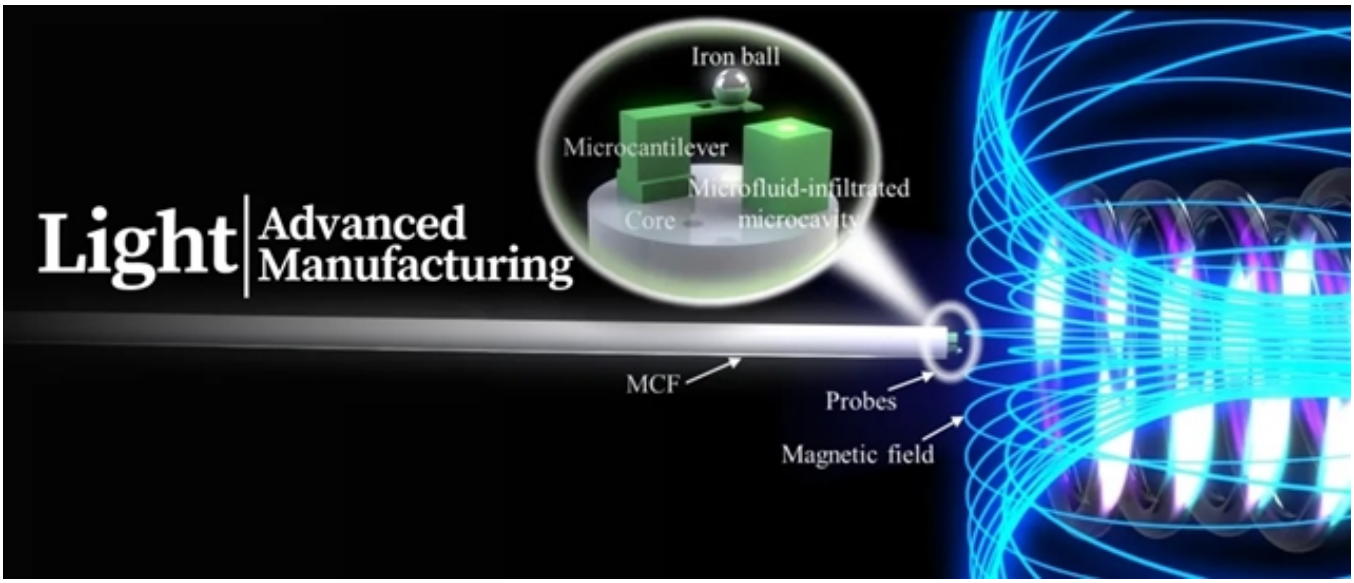


图1：多芯光纤端面传感探针概念图。

研究人员采用飞秒激光诱导的双光子聚合3D光刻技术在多芯光纤端面的不同纤芯分别打印了对磁场和温度敏感的探针。这种光纤尖端多参量传感器可快速和灵敏地测量环境中的磁场和温度，磁场灵敏度为1805.6 pm/mT，温度灵敏度为160.3 pm/°C，磁场响应时间仅为213 ms，整个传感器的尺寸仅为光纤包层的直径125 μm，在传感空间极其有限的情况下，为多参量的解耦测量提供了超紧凑、灵敏和可靠的方案。

磁场传感在医学、交通和航空航天等众多领域发挥着关键作用。光纤传感器具有体积小、探测距离远、成本低、高灵敏度等特点，已成为磁场传感器的研究热点。近年来，研究人员对磁性功能材料集成的光纤磁场传感器进行了广泛的研究。各类磁流体、磁致伸缩材料都被用来修饰如侧抛光纤、微纳光纤、光子晶体光纤、光纤光栅、光纤法布里珀罗干涉仪、光纤马赫曾德尔干涉仪等微结构光纤及其器件，以优化磁场传感性能。然而，磁场传感器不可避免的会受到环境温度扰动的影响，温度交叉灵敏度是影响传感精度和可靠性的一个重要因素。通过集成多个传感元件，可以有效地消除温度串扰，但代价是增加了整个传感装置的尺寸。并且，在多参数解耦传感中，多个传感元件较大的空间位置差异会导致测量误差。

双光子聚合是一种高精度、灵活的3D打印技术，可以在光纤平台上有效地制造微纳结构，在实现复杂的高性能光学、机械和生物结构方面取得了优异的效果。3D打印的光纤端面器件通常是基于单芯光纤实现的，光传输通道唯一，难以集成多个功能性元件。多芯光纤在一根光纤中包含多个光传输通道，具有高集成度和空分复用的优点。双光子聚合3D打印技术可以根据不同的应用场景，高效地在多芯光纤端面制造多个定制化传感元件，结构精巧，结合功能性材料，可广泛用作超紧凑的光纤端面多参量传感设备。

传感器设计与制备

研究人员设计出带碗状结构的微悬臂梁和液体聚合物填充的微腔。两个微结构分别位于多芯光纤端面的不同纤芯上方，形成独立的两个法布里珀罗干涉仪。对于磁场传感探针，碗状结构内填充磁球进行磁敏修饰，磁球在磁场作用下受磁力作用，使微悬臂梁发生变形，偏转的挠度等效于法布里珀罗干涉仪腔长的变化。对于温度传感探针，微腔内部封闭液体聚合物，其体积和折射率都会随温度变化而改变。两探针对磁场和温度的响应具有较大差异，可以分别获得磁场和温度灵敏度系数，通过计算双参量传感体系中的解耦矩阵，可实现对磁场和温度的解耦测量。制备流程如图2所示。利用3D建模软件对微结构进行建模，利用飞秒激光配合精密位移平台，在多芯光纤端面进行微结构的一次打印成型，并利用有机溶剂进行未聚合光刻胶的清洗，最后将磁球装配至碗状结构，实现微悬臂梁的磁性功能化。

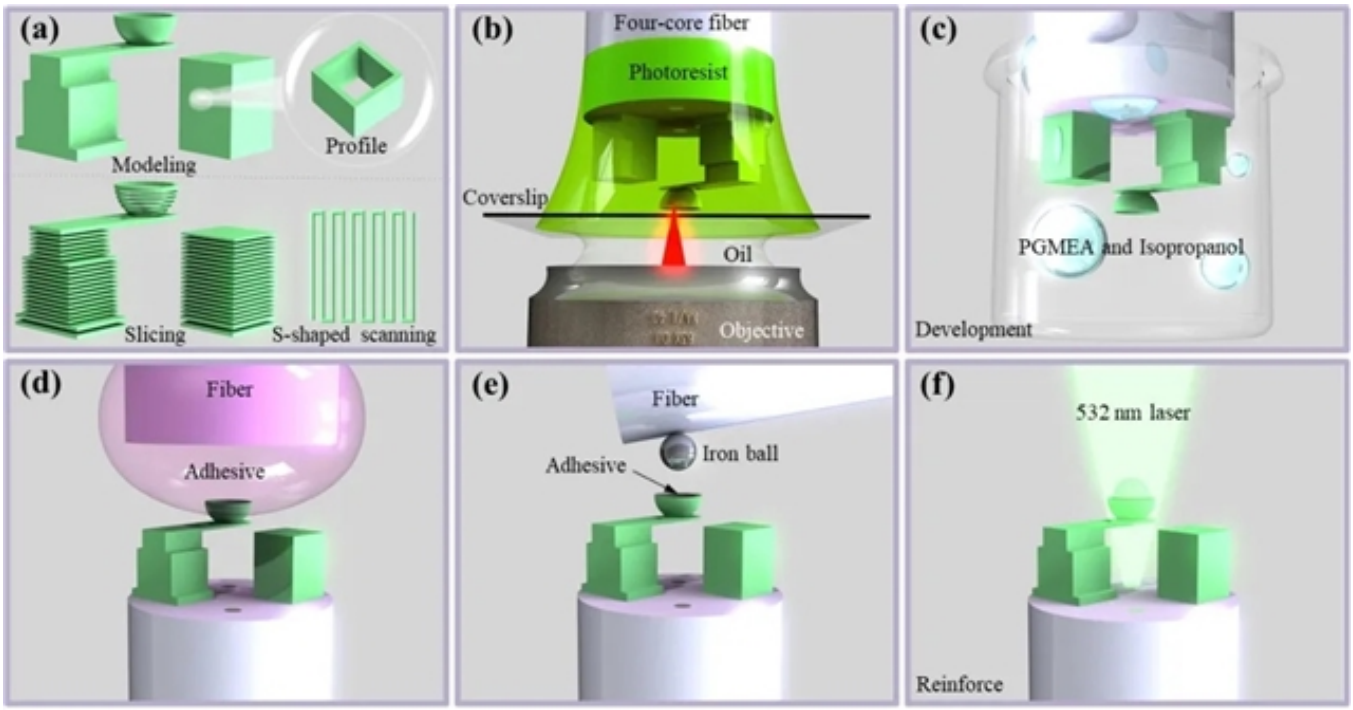


图2 多芯光纤端面3D打印微结构的流程图。

传感器表征与应用

利用团队自制的多芯光纤扇入扇出器件，对不同探针的反射光谱进行了独立地测量，微悬臂梁和液腔都激发了干涉，通过灵活的双光子聚合技术，可随意调整法布里珀罗腔的腔长，以满足测量需求。通过扫描电镜对所打印的微结构进行形貌表征，如图3所示。微结构形态完整，表面光滑。

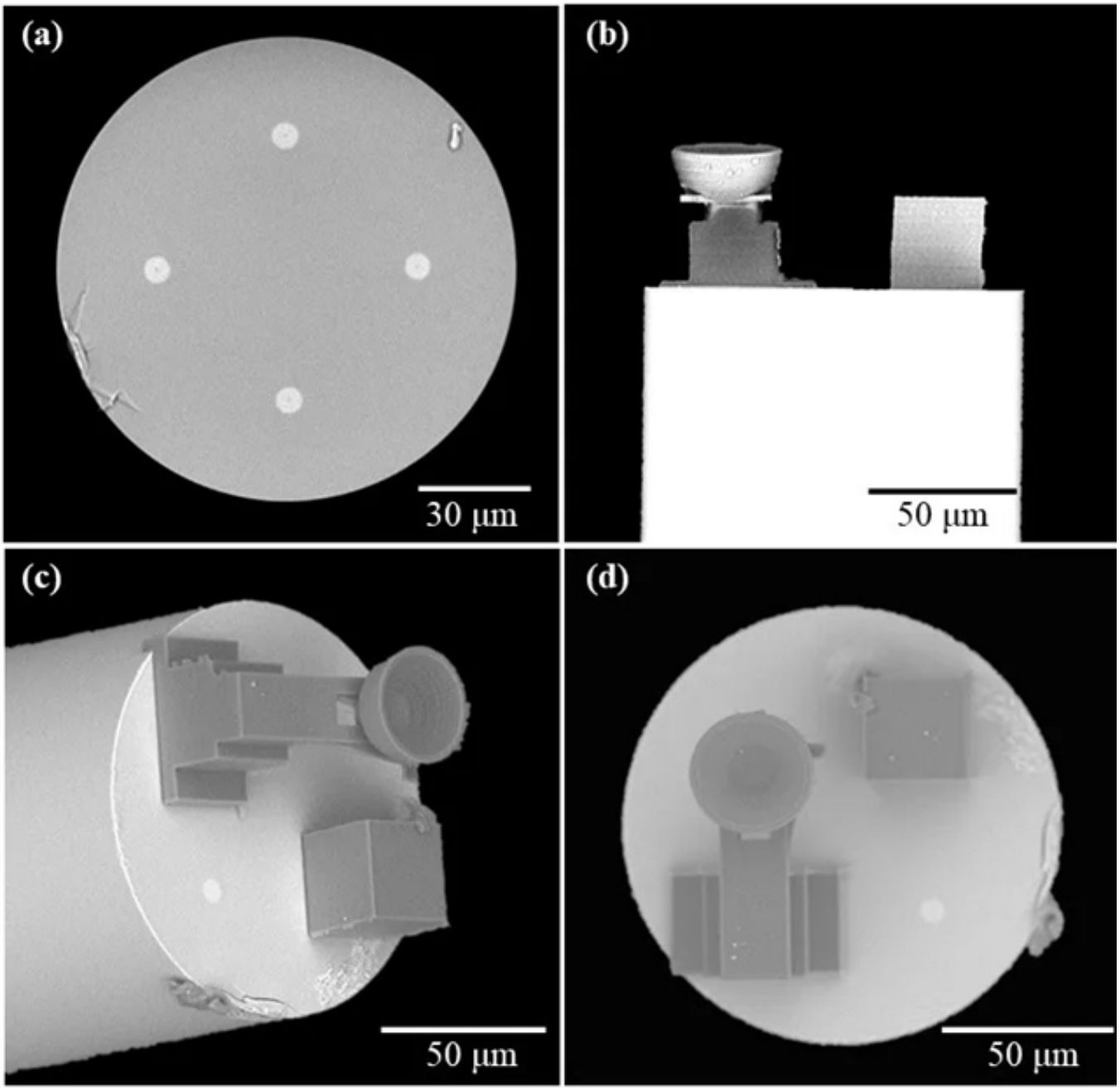


图3：多芯光纤端面微结构的扫描电镜图

研究人员利用磁球修饰的微悬臂梁对磁场强度进行了传感测试。微悬臂梁的反射光谱随磁场强度

的增加发生红移，表明微悬臂梁随磁场强度变大而向远离光纤端面的方向弯曲。跟踪谐振波长随着磁场强度变化的漂移趋势呈现出低灵敏度和高灵敏度区域，其中在50-90mT的磁场范围内，灵敏度呈线性，为154.46 pm/mT。重复测试实验中，无论磁场强度是增大还是减小，各磁场强度下的谐振波长都相对稳定，表明该磁场传感器具有良好的重复性。当磁场从30.8mT升至63.3 mT时，响应时间仅为213 ms。此外，还研究了磁球尺寸对灵敏度的影响，结果表明随着磁球的变大，灵敏度升高，当修饰的磁场尺寸为61 μ m时，磁场灵敏度达到1805.6 pm/mT.

研究人员还研究了两个探针的温度响应。随着温度的升高，两探针的光谱都发生红移，这是由于腔体膨胀导致腔长变大而导致的。液体聚合物比固体聚合物具有更大的热膨胀系数，因此液体聚合物填充腔的热灵敏度更高。

两个探针对磁场和温度具有不同的响应灵敏度，代入双参数传感矩阵，可实现磁场和温度的解耦测量，获得了11.28的低条件数，表明此双参数解耦传感器具有高可靠性。

应用与展望

本研究提出的多芯光纤端面多参量传感器兼具微型化、集成化和设计灵活的优点，碗状微悬臂梁可以为3D打印微结构与功能性材料结合提供一个有用的混合平台，从而打破可检测参量范围的限制。基于多芯光纤的探针式传感器也可以成为在极其有限的传感空间中进行多参数传感的强大工具。（来源：先进制造微信公众号）

相关论文信息：https://doi.org/10.37188/lam.2024.018

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：肖力敏等 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