

光纤熔接

CO₂ 激光技术增加光纤端帽熔接和光纤阵列组装的灵活性

CO₂激光可实现复杂光纤结构的光纤端帽熔接，将各种光学元件熔接到光纤端面，以及组装高功率光纤阵列。

文/Thomas Theeg

CO₂ 激光功率的空间和时间控制，能够自动、可靠和定制地生产复杂的熔融单模和多模光纤组件，用于光纤激光器和放大器以及基于光纤的光束传输系统。除了熔接灵活性之外，CO₂ 激光还提供可重复使用且无污染的各种玻璃加热方法，维护需求显著减少。

空芯和大模场面积光纤的端帽熔接

大模场面积 (LMA) 光纤，尤其是空芯光纤的熔接必须极度小心。因此，将端帽（由纯熔石英制成的光学棒）熔接到这些类型的光纤上，需要极为精密控制的玻璃焊接工艺，因此基于激光的玻璃加热工艺被认为是一种有前途的方法。^[1,2] 在该熔接技术中，两项基本任务是在熔接区内准确定位激光束，以及准确设置光纤和端帽玻璃的粘度。玻璃的粘

度随温度而变化。^[3,4] 因此，至关重要的是可重复的高质量光纤端帽熔接工艺，必须具有连续且精确控制的熔接温度。

德国 FiberBridge Photonics 公司开发了一款基于 CO₂ 激光的熔接机，称为 End Cap 2540，它可以在整个过程中实时（毫秒范围）控制光纤熔接温度（见图 1）。这款基于 CO₂ 激光的垂直熔接机，可以熔接端帽和尺寸高达 50mm 的其他光学元件。较大的端帽不需要额外的引锥，因此可以使用市场上广泛的标准光学元件。

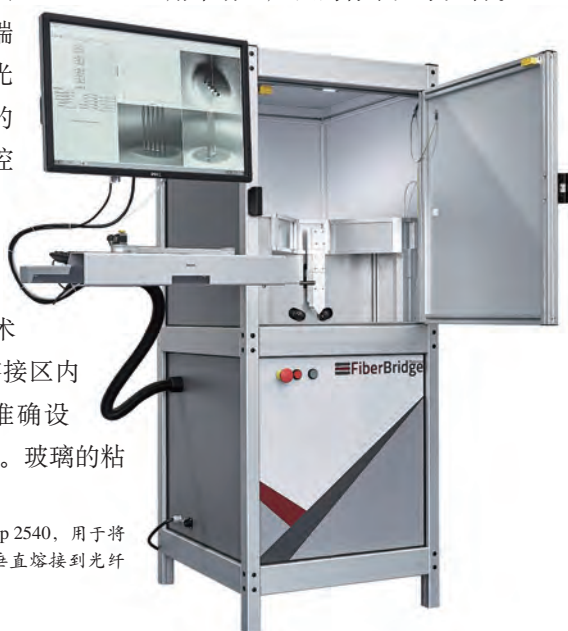


图1：基于CO₂激光的熔接机End Cap 2540，用于将不同尺寸和不同形状的光学元件垂直熔接到光纤端面上（参见图5中的熔接示例）。

该系统还具有用于激光束的自动定位系统，确保激光束在熔接区域内的精确对准。这种高水平的工艺控制，为空芯光纤和 LMA 光纤提供了出色的光学（光束质量和偏振）和机械（拉伸强度）性能。图 2 显示了在六根空芯光纤（NKT Photonics 的 HC-1060 光子晶体光纤）的端帽熔接之后，与光束轮廓和最大测量抗拉强度有关的熔接结果。镀有减反射 (AR) 膜的端帽的直径为 6mm，长度为 5mm。对于每个端帽熔接，空芯光纤的光束轮廓均能保留。通过在激光熔接过程中使用温度和光束位置控制，可以实现熔接的可重复性。

对 LMA 光纤 (PM-DC-10/125、PM-DC-25/250、PM-DC-30/250、PM-DC-20/400 和 PM-DC-25/400) 的研

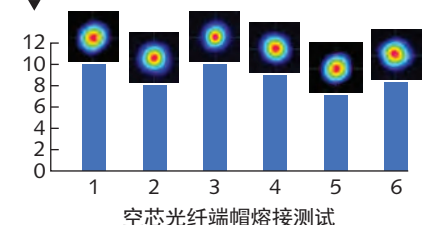


图2：使用基于CO₂激光的熔接机End Cap 2540，对六根空芯光纤（NKT Photonics的HC-1060光子晶体光纤）进行端帽熔接处理后，显示的光束轮廓和最大测量抗拉强度。

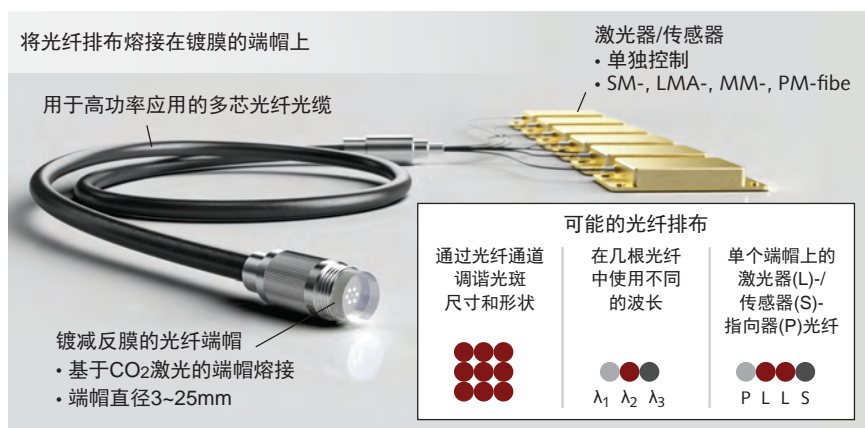


图3: 图中显示了在特定排布中, 用于高功率应用的多根光纤的端帽熔接。可以使用基于CO₂激光的End Cap 2540光纤熔接机(少量光纤), 或Fiber Array 3010工作站(可以线性排布多达30根光纤)对这些多根光纤排布进行端帽熔接。

究显示, 镀 AR 膜的光纤端帽可以用特殊的、对温度敏感的熔接工艺制造, 并且不会损坏端帽的 AR 膜。在研究中使用了直径分别为 3mm、6mm 和 12.7mm 的端帽(见图 3)。

所有熔接端帽的 LMA 光纤的光束质量和偏振都得以保持。熔接的低光学插入损耗, 与适用于镀 AR 膜端帽的熔接工艺相结合, 允许通过光纤端帽传输高功率激光。对熔接端帽的 LMA 光纤的研究结果显示, 其可以轻松应对 1kW 的激光功率。

基于CO₂激光的高功率光纤阵列熔接

将多根光纤熔接到端帽上是一项艰巨的任务。作为热源, CO₂ 激光提供了将多光纤排布熔接到不同光学元件上的自由度。图 4 中显示了将具有 20 根 LMA 光纤 (DC-25/250) 的光纤阵列, 熔接到直径为 0.5 英寸的镀 AR 膜的光纤端帽上的示例。该光纤阵列的熔接是由 End Cap 2540 熔接机的高级版本 Fiber Array 3010 熔接机完成的。

为了以各种排布熔接多根光纤, 需要根据端帽上的光纤数量和排布来

调整熔接区域。基于 CO₂ 激光的光纤熔接系统 (End Cap 2540/Fiber Array 3010), 能够熔接具有不同光纤排布和光纤类型的光纤阵列。可以熔接单模光纤、多模光纤和保偏光纤。

带端帽的光纤排布, 可以通过单独的光纤通道控制, 合束出高激光功率, 以及调整合束后的激光束的大小和形状。另外, 可以使用单独的光纤通道, 作为传感器或用于对工件或样品进行定位/标记。这种针对高激光功率水平的一体式坚固设计, 有望用于材料加工领域, 如半导体激光器的直接焊接应用、激光焊接、激光打标、3D 打印、光谱学、光纤医疗应用以及高功率 RGB 照明。



图5: 图中的案例显示了使用End Cap 2540熔接工作站, 熔接光学元件的灵活性; 镀有AR膜的最大端帽的直径为12.7mm, 可以熔接的光学元件的最大尺寸在50mm范围内。

将各种光学元件熔接到光纤输出

对于许多应用, 必须以某种方式对光纤的输出光束进行整形和导引。这可以通过形成光纤尖端, 或将明确的光学元件熔接到光纤端面来实现。图 5 显示了用 End Cap 2540 激光熔接机熔接的不同的光学元件。这里的熔接灵活性也归因于以下事实: 在整个处理时间内, 激光束在空间和时间上都得到了很好的控制。利用这种技术, 可以熔接球透镜、立方体、球形和聚光透镜、光学窗口、分束器或任何形状的光学元件。

此外, 通过将较小的光学元件熔接到光纤端面上来制造光纤尖端, 对于医疗设备来说非常有用, 例如用于

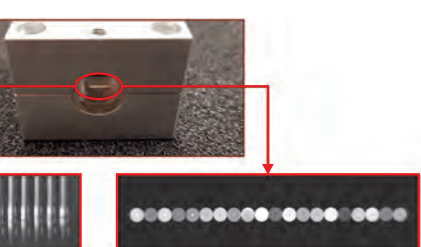


图4: 具有20根LMA光纤 (DC-25/250) 的光纤阵列, 将其熔接到直径为0.5英寸的镀AR膜的端帽上。

制造外科手术或泌尿外科探针。^[5] 传统上, 诸如弯曲的球(透镜)之类的光纤头形状, 是利用传统熔接机系统(电极或细丝)加热光纤尖端来制备的。^[6] 因此, 光纤端部可以用光纤材料形成, 当然这也会受到一定的限制。光学元件的熔接, 具有可以将任意光学元件连接到光纤端面的优点。这为

加工模式,使得打印尺寸大于物镜视场范围的元件成为可能。图2给出的高宽比为16:1的例子中,打印的墙壁结构的长度就是物镜视场的4倍。当然,也可以打印高宽比为20:1的结构,如图2所示的针状结构。这种针状结构高100 μm ,底座5 μm ×5 μm ,可以将外部光源导入到活体标本中,用于活体细胞的光激发研究。这种针状结构也可以作为原子力显微镜的悬臂,用于评估特殊的形貌结构。

除了以上几种结构,还可以打印等值曲面结构。等值曲面的打印,先用激光固化光刻胶,形成一个封闭的壳体结构,然后冲洗掉未曝光的光刻胶。显影之后,用紫外灯曝光壳体内部的光刻胶,使壳体与内部形成均匀连接。用这种方法打印微透镜组,每个透镜的加工时间只需1~5s,^[5]其打印效率比传统加工方法提升了95%。

图2中右上方给出的是3D打印的高宽比为43:1的柱面结构,该柱面高1.7mm,直径2mm。该柱面结

构也是通过无限视场模式打印的,柱面的圆周结构由线性位移平台和激光焦点的径向偏转配合形成的圆周运动打印而成,这种打印方法也叫做轨道光束操控。为了展示柱面结构的壁厚为0.04mm,所以没有打印柱面结构上面的盖子。打印这种类似结构的效率为3.6mm³/h,当然也可以通过光束整形工具将光束分束,或者整形成平顶光束来进一步提高打印效率。

值得注意的是,图2中给出的微结构只是用来展示大高宽比结构的几个例证,并不是极限案例。图中显示的高宽比43:1,也不是极限值。通过优化设计,可以打印更大的高宽比结构,宽度尺寸甚至能缩小到亚微米量级。

结论

高精度3D打印由于打印精度高,对打印的尺寸、复杂度、形状及衬底具备良好的加工自由度,将越来越多地用于工业应用中。高精度3D

打印的分辨率小于衍射极限,打印的元器件尺寸可以从亚微米扩展到厘米范围,因此微光学应用中的光学质量表面结构的3D打印,将是主要应用。高精度3D打印技术能够制造出高宽比达43:1的结构,并且能够通过控制焦点移动实现快速制造,因而能够打印出超高质量的微光学、微流体及其他功能部件。这样一种先进的加工方式,其加工能力是传统加工方法所无法企及的。□

参考文献

1. X. Zhou et al., AIP Advances, 5, 3 (2015).
2. S. Maruo et al., Opt. Lett., 22, 2, 132–134 (1997).
3. S. Steenhusen, “Untersuchungen zur sub-100 nm Strukturierung von Hybridpolymeren mittels Zwei-Photonen Absorption und Anwendungen,” Friedrich-Schiller-Universität Jena (2018).
4. B. Stender et al., Adv. Opt. Technol., 8, 3–4, 225–231 (2019).
5. B. Stender et al., Laser Tech. J., 14, 2, 20–23 (2017).

上接第22页

光纤输出辐射的整形和导引几乎带来了无限可能。

另一种常见的光纤尖端类型是带角度的光纤头(侧面出射技术)。这些光纤尖端用于在人体中去除组织。对于这种应用,还可以用控制良好的CO₂激光束,将单独设计的光学元件熔接到光纤端面上。根据特定的医学要求,可以使用CO₂激光熔接技术,来调整光纤尖端的侧面或径向(内辐射)激光发射。

用于光纤到光纤熔接的成熟熔接装置已经在市场上存在很多年了。可以控制加热区位置和大小基于CO₂激光的光纤熔接系统的出现,为“将单根和多根光纤熔接到各种尺寸和形状的光学元件上”开辟了新的可能性。实时控制熔接温度的能力,使精确和可重复的熔接结果达到了新水平。温度控制的熔接还为熔接不同的玻璃类型(例如软玻璃光纤)带来了可能性。□

参考文献

1. H. Fujita, Y. Suzuki, and A. Tachibana, Appl. Opt., 15, 320–321 (1976).
2. J. H. Chong and M. K. Rao, Opt. Express, 11, 1365–1370 (2003).
3. See <http://bit.ly/HeraeusRef>.
4. See <http://bit.ly/SchottRef>.
5. G. Keiser, F. Xiong, Y. Cui, and P. P. Shum, J. Biomed. Opt., 19, 8, 080902 (Aug. 28, 2014); <http://bit.ly/JBiomedOpt>.
6. K. Bescherer, D. Munzke, O. Reich, and H.-P. Looock, Appl. Opt., 52, B40–B45 (2013).