

文章编号: 1001-3806(2008)01-0008-03

双包层光纤激光器的熔接型侧面耦合器

欧攀^{1,2}, 闫平¹, 巩马理¹, 张春熹²

(1. 清华大学精密仪器系光子与电子技术研究中心, 北京 100084 2 北京航空航天大学仪器科学与光电工程学院, 北京 100083)

摘要: 为了解决采用折射率匹配介质的光纤角度磨抛侧面耦合器中由于折射率匹配介质不能承受高功率密度的抽运光而分解, 导致高功率抽运下侧面耦合器失效的问题, 提出了采用 CO₂ 激光器制作熔接型侧面耦合器的新方法, 并进行了实验验证, 介绍了其实验装置和制作过程。由于熔接型侧面耦合器无需折射率匹配介质, 因此能够承受很高的抽运光功率密度。在将该熔接型侧面耦合器用于高功率半导体激光器耦合实验中, 获得的耦合功率达到 7.23W, 耦合效率优于 70%。研究结果表明, 所研制的熔接型侧面耦合器在侧面抽运的高功率双包层光纤激光器中具有很好的实用前景。

关键词: 激光器; 光纤激光器; 双包层光纤; 熔接型侧面耦合器; 二氧化碳激光器

中图分类号: TN248.1 **文献标识码:** A

Fused side-coupler for double-clad fiber lasers

OU Pan^{1,2}, YAN Ping¹, GONG Ma-li¹, ZHANG Chun-xi²

(1. Center for Photonics and Electronics Department of Precision Instruments, Tsinghua University, Beijing 100084 China 2. School of Instrument Science and Optoelectronic Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083 China)

Abstract In order to overcome the decline of side coupler under high-power pumping conditions in which the index-matching materials cannot endure high-power light and will decompose, a novel method using CO₂ laser to make fused side coupler was introduced. The experimental equipments and making processes for such fused side coupler was included. This kind of fused side coupler can endure high-power light without index-matching materials. It acquired coupling power 7.23W and coupling efficiency better than 70.5%, when the fused side coupler was pumped by a high-power laser diode arrays in experiments. These results showed that this kind of fused side coupler was able to used in high-power side-pumped double-clad fiber lasers practically.

Key words lasers; fiber lasers; double-clad fiber; fused side-coupler; CO₂ laser

引 言

侧面抽运技术可以突破双包层光纤只有两个端面的限制, 能够在光纤的侧面多处注入抽运光, 对双包层光纤激光器进行功率扩展^[1-2], 从而形成多点抽运的高功率双包层光纤激光器^[3-5]。针对双包层光纤的特点先后研究发展了微棱镜耦合、V型槽耦合、熔锥耦合、光纤角度磨抛耦合、嵌入微反射镜耦合和光栅耦合等多种侧面抽运的耦合方式, 这些侧面耦合都有各自特殊的工艺要求^[6]。其中光纤角度磨抛耦合技术具有耦合效率高, 对双包层光纤无损伤, 工艺上较为容易实现等特点, 成为高功率双包层光纤激光器侧面抽运研

究热点之一^[7-8]。作者已在实验上将光纤角度磨抛耦合用于侧面抽运的掺 Yb 双包层光纤激光器, 研究了该耦合技术的耦合效率和耦合功率, 分析了影响耦合效率的因素^[9]。但是, 在实验过程中发现, 折射率匹配介质由于不能承受高功率密度的抽运光而分解, 导致侧面耦合器失效。对此提出了采用 CO₂ 激光器制作熔接型侧面耦合器的方法, 并进行了实验研究。由于熔接型侧面耦合器无需用光学胶作为折射率匹配介质, 因此能够承受很高的抽运光功率密度。在将该熔接型侧面耦合器用于高功率半导体激光器耦合实验中, 获得的最大耦合功率达到 7.23W, 耦合效率优于 70%。

1 制作熔接型侧面耦合器的实验原理和装置

早在 1976 年, 日本日立公司的 FUJITA 等提出 CO₂ 激光器熔接光纤的方式。利用 CO₂ 激光器作热源, 很好地解决了局部而快速的加热焊接, 多模光纤的连接损耗最好可以做到 0.12dB^[10-11]。

作者简介: 欧攀 (1977-), 男, 讲师, 博士, 从事光纤激光器和光纤传感器等领域研究工作。

E-mail: oupan23@gmail.com

收稿日期: 2006-11-20 收到修改稿日期: 2006-12-21

利用 CO₂激光器制作双包层光纤熔接型侧面耦合器的装置原理图如图 1 所示。主要包括: 双包层光纤

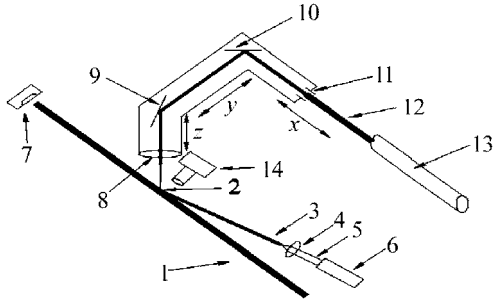


Fig 1 Scheme for making fused side coupler

1 熔接区 2 多模光纤 3 CD 物镜 4 He-Ne 激光光束 5 He-Ne 激光器 6 功率计 7 CO₂ 激光聚焦透镜 8 y 方向反射镜 9 x 方向反射镜 10 可变孔径光阑 11 CO₂ 激光光束 12 CO₂ 激光器 13 和 CCD 成像系统 14。

图 1 中从 CO₂ 激光器发出的 x 方向的激光光束被 x 方向反射镜反射后沿着 y 方向传播, 然后被 y 方向反射镜反射后转向竖直的 z 方向, 最后通过聚焦透镜形成聚焦光斑。聚焦透镜安装在具有 z 方向自由度的一维平移台上, 该平移台连同 y 方向反射镜被安装在具有 y 方向自由度的一维平移台上, 最后再将以上装置和 x 方向反射镜固定于具有 x 方向自由度的 1 个较大的一维平移台上, 该平移台由步进电机驱动。只要控制以上 3 个一维平移台的运动, 就能够分别实现 CO₂ 激光光束焦点在 z、y 和 x 3 个方向的运动和精确定位。

利用 CO₂ 激光进行光纤侧面熔接的研究虽然在理论上可行, 但是实验过程中却存在不少问题。首先, CO₂ 激光的波长为 10.6 μm, 为远红外波段, 不仅肉眼不可见, 也不能用 CCD 或者红外上转换片来进行检测, 因此光路的调整较为困难。对此, 先采用 He-Ne 激光引入光路, 将两面反射镜以及聚焦透镜的位置和角度调节好, 然后利用湿硬纸片来间接监测 CO₂ 激光光路。其次, 虽然利用旋转电位计控制通过 CO₂ 激光的电流可以改变 CO₂ 激光的输出功率, 但是旋转电位计的调整速度慢, 并且对电流也无法精确定位, 因此, 该方法无法快速改变熔接过程中 CO₂ 激光的功率。对此在光路中增加了 1 个可变孔径光阑, 改变孔径光阑的大小即可控制通过的 CO₂ 激光光束的大小, 从而对熔接过程中焦点处 CO₂ 激光的功率进行快速准确的控制。再者, 由于光纤纤细, 在熔接过程中用肉眼观看熔接的情况困难, 因此安装了 CCD 监视系统, 可以从监视器上观察到熔接部分的细节, 有利于对熔接过程进行实时的监控。

在熔接的过程中, 利用耦合进多模抽运光纤的

He-Ne 激光来监测熔接耦合的效果。当利用 CO₂ 激光进行侧面耦合器的熔接时, 熔接效果越好, 功率计在双包层光纤端面监测到的 He-Ne 激光功率也就越高。

实验中所采用的两块 CO₂ 激光反射镜均为 ∅30mm 的硅基底上镀金的镜片, 它们对 10.6 μm 的 CO₂ 激光反射率为 99%; 聚焦透镜的材料为硒化锌单晶, 焦距为 50mm。驱动 x 方向平移台运动的步进电机是四通电机, 驱动过程中的平稳性非常重要, 因此采用了具有 64 细分能力的驱动器, 并且专门设计了可以编程控制的脉冲发生电路。

2 熔接型侧面耦合器制作实验

实验中使用的双包层光纤为 400/350 μm 的 D 型内包层, 内包层数值孔径为 0.37, 多模光纤的芯径为 200 μm, 数值孔径 0.11。实验前, 首先要对待熔接的双包层光纤和多模光纤进行预处理。将双包层光纤待制作熔接型侧面耦合器处的涂敷层去除约 1cm, 露出内包层, 然后将双包层光纤和已去除涂敷层的芯径 400 μm 的石英光纤作为 CO₂ 激光聚焦定位参考平行地安放在支架上。将按照约 10° 耦合角端面磨抛的多模光纤安放在六维调节架上。如图 2 所示, 利用 CCD



Fig 2 400 μm silica fiber in parallel with double clad fiber was used for adjusting the focus of CO₂ in experiments

成像系统和监视器观察它们的位置, 并调节相应的调节架, 使多模光纤的磨抛斜角贴紧双包层光纤的内包层, 它们紧贴的部分就是要利用 CO₂ 激光扫描的熔接区域。

在开启 CO₂ 激光前可变光阑的孔径处于封闭位置。此时调节光路中 y 方向的一维平移台使 CO₂ 激光光束的焦点远离双包层光纤和多模光纤, 避免 CO₂ 激光光束聚焦后照射到光纤上而对它们造成伤害。将 CO₂ 激光器的循环水冷装置打开, 开启高压电源将 CO₂ 激光器的供电电流调至 4mA, 此时激光输出功率约 3W, 然后将可变光阑的孔径增大至 1mm, 再调节 y 方向的一维平移台使得 CO₂ 激光光束的聚焦光斑照射到 400 μm 的石英光纤上, 然后控制 x 方向的数控平移台, 使 CO₂ 激光光束的聚焦光斑沿着 400 μm 石英光纤运动到耦合器待熔接区平行的位置上。再将可变光阑

的孔径减小至 0.6mm, 调节 y 方向的一维平移台使得 CO_2 激光光束的聚焦光斑运动到耦合器的待熔接区, 再将可变光阑的小孔关闭。

接下来进行熔接型侧面耦合器制作过程中的预熔接。耦合器的预熔接是利用较低功率的 CO_2 激光将多模光纤的磨抛端熔接到双包层光纤的内包层上。在这个过程中, 首先利用 CD 物镜将 He-Ne 激光耦合进小角度斜抛光纤的另一端, 此时可以在监视器上观察到多模光纤的小角度斜抛端有大量的 He-Ne 激光逸出, 然后将挡板放在 He-Ne 激光器和 CD 物镜之间, 以免逸出的 He-Ne 杂散光不利于用 CCD 成像系统观察熔接过程。在双包层光纤的输出端放置功率计探头, 用以监测从多模光纤经过熔接型侧面耦合器进入内包层的 He-Ne 激光。将可变光阑的孔径增至 0.6mm, 调节 x 、 y 和 z 3 个方向的一维平移台, 使 CO_2 激光光束通过聚焦透镜后的焦点位于熔接区的最右侧, 然后利用步进电机驱动 x 方向的一维平移台以约为 $1\mu\text{m}/\text{s}$ 的扫描速度缓缓自右向左移动, 并将可变光阑的孔径增至 1mm。再将挡住 He-Ne 激光的挡板移开, 这时随着熔接扫描过程的进行, 用功率计监测到双包层光纤输出端的 He-Ne 激光不断增大。在熔接的过程中, 还要间歇用挡板挡住 He-Ne 激光, 用 CCD 成像系统观察熔接区的情况。图 3 是用 CCD 观测到的预熔接后大量 He-Ne 光从耦合器熔接部位散射出来。

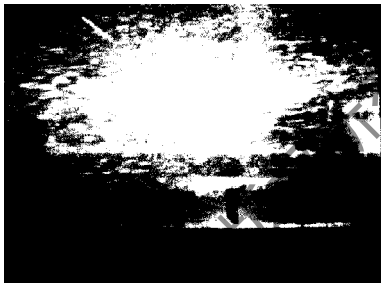


Fig 3 Fused side coupler after pre fusing

预熔接后, 还要对耦合器进行二次熔接, 耦合器的二次熔接是利用较高功率的 CO_2 激光将多模光纤的磨抛端和双包层光纤的内包层更深层次地熔接起来。由于预熔接中 CO_2 激光功率较低, 因此, 熔接过程中只有耦合器的上侧靠近 CO_2 激光焦点的部分熔接在一起, 为了使耦合器的中部以及下侧都能很好地熔接起来, 需要利用较高功率的 CO_2 激光来进行熔接。二次熔接的过程和预熔接相同, 只是要将可变光阑的孔径增至 2mm, 扫描速度提高至 $12.5\mu\text{m}/\text{s}$ 。二次熔接后, 用功率计监测到双包层光纤输出端的 He-Ne 激光要比一次熔接有显著提高, 一般为一次熔接的 2 倍 ~ 3 倍。从图 4 可以看出, 经过二次熔接后散射出来的 He-Ne 激光已经很少了。



Fig 4 Fused side coupler after second-fusing

3 高功率耦合实验

利用高功率半导体激光器对熔接型侧面耦合器进行了高功率耦合实验, 以考察其在高功率注入条件下的性能。

图 5 为 980nm 半导体激光器输出光功率、耦合进

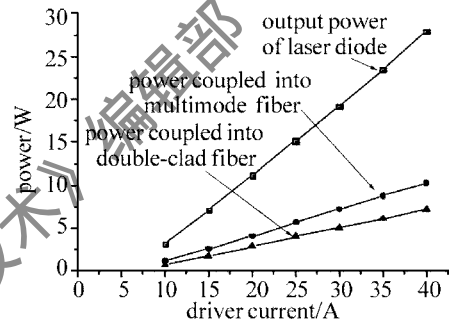


Fig 5 Output power of LD, power coupled into multimode fiber and power coupled into double-clad fiber vs driver current

多模光纤的光功率以及耦合进双包层光纤的光功率随半导体激光器驱动电流的变化曲线。从图中可以看出, 由于实验条件所限, 从半导体激光器耦合进芯径 $200\mu\text{m}$ 、数值孔径 0.11 的多模光纤的耦合效率只有 37.1%。但是从长度为 20cm 的双包层光纤输出端检测到的耦合输出光功率相对于耦合进多模光纤的光功率的效率为 70.5%。考虑到掺 Yb 双包层光纤对于抽运光的吸收以及双包层光纤输出端面的反射, 可以得到熔接型侧面耦合器的耦合效率高于该值。此外在驱动电流为最大值 40A 时, 从双包层光纤端面输出的最大光功率为 7.23W, 并且仍保持线性关系, 说明该熔接型侧面耦合器此时工作良好。实验过程中, 熔接型侧面耦合器处于自然散热状态, 随着实验时间的增加, 可以感觉到耦合器附近温度升高, 主要是由于耦合进双包层光纤的抽运光部分被器件吸收转化为热所致。直接用直径 50mm 的 12V 小风扇对耦合器部分进行强制风冷, 长时间测试双包层光纤端面耦合输出功率稳定, 耦合器附近温度低于 45°C 。

4 结 论

介绍了利用 CO_2 激光器进行熔接型侧面耦合器

(下转第 22 页)

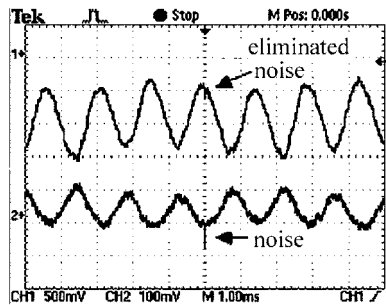


Fig 9 The regenerated signal and the amplified AC signal of pump beam

4 结 论

将电信号差分传输的优点引入到光信号的差分传输中,提出了一种新型的差分光调制器件,将这种器件应用到空间光通信中,不仅会极大提高系统的抗干扰能力,而且还可使得空间光通信距离得到延伸。这将在空间光传输中有着广泛的应用前景,这种新型差分光调制器件不仅可应用在光传输,还可应用在光互连,全光网络等方面。

参 考 文 献

- [1] REKLN J C, DAVIDSON F M. Bit error rate in a free-space laser communication system with a partially coherent signal beam [J]. SPE, 2003, 4884: 95-102
- [2] ZUO F, XIE F Z. Two transmitter two receiver free space optical communication system [J]. Laser & Infrared, 2004, 34(6): 419-421 (in Chinese).

- [3] YEH P. Two wave mixing in nonlinear media [J]. IEEE JQE, 1989, 25(3): 484-519.
- [4] KOEGLN K H. Coupled wave theory for thick hologram gratings [J]. Bell System Technical Journal, 1968, 48(9): 2909-2945
- [5] MOK F H, TACK I T M, C STOLLH M. Storage of 500 high resolution holograms in a LiNbO₃ crystal [J]. Opt Lett, 1991, 16(8): 605-607
- [6] WEBB D J, SOLYMAR L. Amplification of temporally modulated signal beams by two wave mixing in Bi₂SiO₂₀ [J]. JOSA, 1990, B7(12): 2369-2373.
- [7] REFREGIER P, SOLYMAR L, RAJENBACH H, et al. Two beam coupling in photorefractive Bi₂SiO₂₀ crystal with moving grating theory and experiments [J]. JAP, 1985, 58(1): 45-57
- [8] SHI S X, GUAN Y C, AN Y Y, et al. Study of dynamical properties of TWM in photorefractive crystals [J]. Chinese Journal of Lasers, 1989, 16(8): 462-467 (in Chinese).
- [9] WANG Ch, LIU J S, WU K N, et al. A novel free-space optical communication [J]. SPE, 2005, 6021: 1-9
- [10] GUO S J, SHI S X, GUAN Y C, et al. Theory of transmission and amplification of high speed amplitude modulated beam in photorefractive crystal [J]. Acta Optica Sinica, 1990, 10(4): 299-305 (in Chinese).
- [11] SHI S X, GUAN Y C, LIU J, et al. Amplification properties of high speed amplitude modulated beams in photorefractive crystal [J]. Acta Optica Sinica, 1991, 11(9): 805-809 (in Chinese).
- [12] QIU Q, LONG Z L, TAN J, et al. Microwave signal transmission over space optical communication system [J]. Laser Technology, 2005, 29(1): 43-45 (in Chinese).

(上接第 10页)

制作的实验原理、装置及其高功率耦合实验。由于熔接型侧面耦合器无须用光学胶作为折射率匹配介质,因此能够承受很高的抽运光功率密度。在该熔接型侧面耦合器高功率耦合实验中,获得了输出功率达到 7.23W 的光纤激光输出,耦合效率优于 70.5%。所研制的熔接型侧面耦合器在侧面抽运的高功率双包层光纤激光器中具有很好的实用前景。

参 考 文 献

- [1] GOLDBERG L, COLE B, SNITZER E. V-groove side pumped 1.5 μ m fibre amplifier [J]. Electron Lett, 1997, 33(25): 2127-2129
- [2] KOPLOW J P, MOORE S W, KLNER D A V. A new method for side pumping of double clad fiber sources [J]. IEEE JQE, 2003, 39(4): 529-540.
- [3] OU P, YAN P, GONG M L, et al. Multi-coupler side pumped Yb-doped double clad fiber laser [J]. Chinese Optics Letters, 2004, 2(5): 285-287
- [4] YAN P, GONG M L, LI Ch, et al. Distributed pumping multi-fiber

- series fiber laser [J]. Optics Express, 2005, 13(7): 2699-2706
- [5] OU P, YAN P, GONG M L, et al. Optimum design on three-position-pumped high-power double clad fiber laser [J]. Laser Technology, 2007, 31(1): 57-60 (in Chinese).
- [6] WEI W L, OU P, YAN P, et al. Side pumping coupler technology for double clad fiber [J]. Laser Technology, 2004, 28(4): 116-121 (in Chinese).
- [7] XU J Q, LIU J H, KUMAR G, et al. A non-fused fiber coupler for side-pumping of double clad fiber lasers [J]. Opt Commun, 2003, 220: 389-395.
- [8] OU P, YAN P, GONG M L, et al. Studies of pump light leakage out of couplers for multi-coupler side-pumped Yb-doped double clad fiber lasers [J]. Opt Commun, 2004, 239: 421-428
- [9] OU P, YAN P, GONG M L, et al. Coupling efficiency of angle-polished method for side-pumping technology [J]. Opt Engng, 2004, 43(4): 816-821.
- [10] FU JI A H, SUZAKI Y, TACHIBANA A. Optical fiber splicing technique with a CO₂ laser [J]. Appl Opt, 1976, 15(2): 320-321
- [11] EGASHIRA K, KOBAYASHI M. Optical fiber splicing with a low-power CO₂ laser [J]. Appl Opt, 1977, 16(6): 1636-1638