

文章编号: 1001-3806(2010)03-0367-03

CO₂ 激光熔接型双包层光纤侧面抽运耦合器

邵 幢, 闫 平, 张海涛*, 巩马理

(清华大学 精密仪器与机械学系 光子与电子技术研究中心, 北京 100084)

摘要: 为了把高功率的半导体激光器抽运光耦合入直径只有数百微米的双包层光纤内包层, 以获得高的抽运功率, 同时简化端面抛磨式熔接型侧面耦合器复杂的光纤处理工艺, 提出了一种基于 CO₂ 激光熔接的双包层光纤侧面抽运耦合器的新方法, 并进行了实验验证, 介绍了试验装置和制作过程, 制作了内包层直径为 125 μm 非掺杂双包层光纤与 105 μm/125 μm 多模光纤的侧面耦合器, 得到了 82% 的耦合效率测试结果。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应用前景。

关键词: 激光器; 光纤激光器; 双包层光纤; 熔接型侧面耦合器; CO₂ 激光器

中图分类号: TN248 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1001-3806.2010.03.023

Fused side-coupler for double-clad fiber lasers with CO₂ laser

SHAO Tong, YAN Ping, ZHANG Hai-tao, GONG Ma-li

(Center for Photonics and Electronics, Department of Precision Instruments and Mechanology, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The purpose of coupling technology is to couple high-power laser from laser diode to double-clad fiber cladding to get the high pumped power. In order to simplify the fiber angle-polished side-coupling technology, a novel method using CO₂ laser to make fused side-coupler for double-clad fiber was introduced. The experimental equipment and making process for such fused side-couplers were introduced. The side coupler, from 105 μm/125 μm multimode fiber to 125 μm double-clad fiber, was made with a coupling efficiency of 82% by means of this method. These results show that this kind of fused side-coupler can be 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

近年来, 高功率光纤激光器已成为光电领域研究的热点, 随着高功率半导体激光器抽运技术和双包层光纤制作工艺的发展, 光纤激光器的光束质量和输出功率得到了大幅度的提高, 单模连续输出功率已经从最初的几百毫瓦上升到了千瓦^[1]水平。为了提高输出功率, 有效抑制非线性效应和热效应, 合理设计抽运方式是非常重要的。抽运方式通常分为端面抽运和侧面抽运, 端面抽运是一种较为简单的抽运方式, 但能够接纳抽运光的能力有限, 不利于光纤激光器的功率提高。已经提出的侧面抽运技术包括光纤侧壁上刻出 V 型槽^[2,3] 或放置光学元件^[4,5] 等将抽运光注入, 近年来, HERDA 等人提出了一种利用二元金属光栅对入射

光进行衍射以侧面耦合抽运光的技术^[6]。侧面抽运可以在光纤上设置多个抽运点, 有利于提高输出功率, 同时使光纤中的抽运光和激光分布较为均衡, 有利于降低非线性效应和热效应。然而这些方法都需要保证精细的结构, 有很高的工艺要求, 实现难度高。

由于石英对于波长为 10.6 μm 的 CO₂ 激光具有很好的吸收, 因此, 早在 1976 年, 日本日立公司的 FUJITA 就提出 CO₂ 激光的熔接方式^[7]。清华大学激光与光子实验室利用 CO₂ 激光熔接方式成功制作了熔接型侧面耦合器^[8,9], 通过光纤斜抛侧面耦合的方式, 将芯径 200 μm 的多模光纤与 350 μm/400 μm 的双包层 D 型光纤熔接, 得到了 70.5% 的耦合效率。已有的熔接型侧面耦合器工艺主要是要在多模光纤端面磨一个 10° 耦合角^[10], 并在 CCD 的监视下使多模光纤的耦合角贴紧双包层光纤的内包层。这种工艺过于复杂, 对于尺寸更小的光纤, 例如 125 μm 的双包层光纤, 对准将难以实现。为此作者改进工艺, 简化耦合器制作过程, 成功制作了熔接型侧面耦合器, 提高了耦合效率。

作者简介: 邵 幢 (1983-), 男, 硕士研究生, 主要从事光纤激光器方面的研究工作。

* 通讯联系人。E-mail: zhanghaitao@mail.tsinghua.edu.cn

收稿日期: 2009-05-18; 收到修改稿日期: 2009-05-25

1 制作熔接型侧面耦合器的实验原理和装置

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

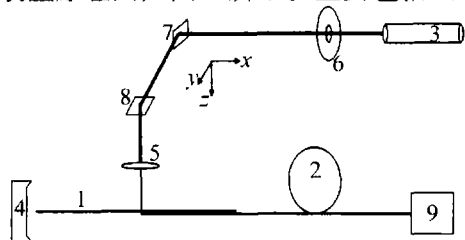


Fig. 1 Scheme for making fused side-couplers

纤 1、多模光纤 2、CO₂ 激光器 3、功率计 4、CO₂ 激光聚焦透镜 5、可调光阑 6、 x 方向反射镜 7、 y 方向反射镜 8 和单管芯半导体激光器 9。

图 1 中从 CO₂ 激光器发出的 x 方向的激光光束被反射镜 7、反射镜 8 反射后沿着竖直 z 方向传播, 最后通过聚焦透镜 5 形成聚焦光斑。聚焦透镜的材料为硒化锌单晶, 焦距为 50mm, 安装在具有 z 方向自由度的 1 维平移台上, 用来控制聚焦光斑的焦点位置和光斑大小。反射镜 7 和反射镜 8 以及聚焦透镜 5 装在一个平移台上, 该平移台由步进电机驱动。

在熔接的过程中, 利用带尾纤输出的 LD 与多模光纤端面对接, 用输出波长为 980nm 的激光功率来监测熔接效果, 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激光功率也就越高。

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 10 μm /125 μm 的双包层光纤, 内包层数值孔径 0.46, 多模光纤为 105 μm /125 μm , 数值孔径 0.22。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。取 10 μm /125 μm 的双包层光纤 30cm, 将双包层光纤待熔接区域的涂敷层去除约 3cm, 露出内包层, 为了保证后面耦合效率测量准确, 使熔接区域到光纤输出端长度在 20cm 以上。然后将多模光纤的输出端的涂敷层剥去 1cm ~ 2cm。实验中需要将两根光纤并紧, 制作了 U 型槽作为夹具将两根光纤放在夹具中, 在显微镜观察下并紧, 并在 U 型槽处用石蜡将两根光纤封装好, 使其位置固定, 如图 2 所示。

将用夹具固定好的光纤装在具有 x, y 2 维平移和沿 z 旋转的 3 维调节架上, 调整聚焦透镜到光纤的位置。通过实验发现, 如果把光纤置于透镜的焦点处, 那么聚焦光斑会非常小, 功率密度过高, 很容易使 125 μm 的光纤熔断, 因此, 采用离焦熔接, 将光纤置于

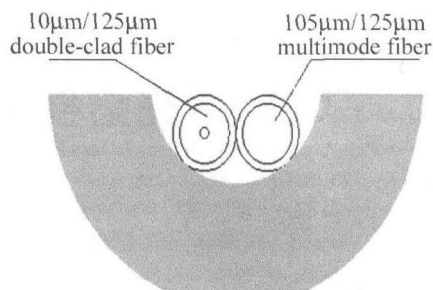


Fig. 2 Fixture of 125 μm fiber

焦点前 10mm 处。所选的 CO₂ 激光器输出的 CO₂ 激光为 TEM₀₀ 模, 束腰直径为 3.3mm, 发散角为 4.2mrad, 在 tracepro 下仿真聚焦光斑能量分布如图 3 所示。

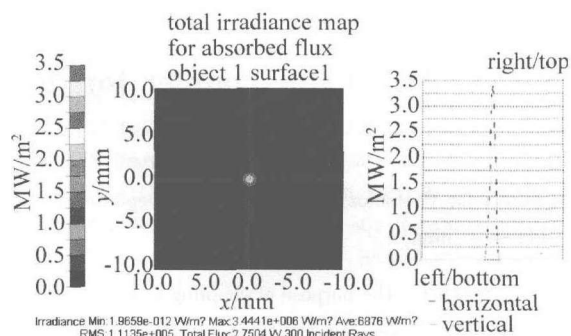


Fig. 3 Power distribution of focused beam

打开带尾纤输出的 LD 电源, 使输出功率为 0.5W。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 3mA, 此时, 激光输出功率约 2.5W, 然后将可变光阑的孔径增大至 1.5mm, 再调节 y 方向的 1 维平移台使得 CO₂ 激光光束的聚焦光斑照射到双包层光纤上。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双包层光纤运动到耦合器熔接区域上。下面开始初步熔接, 将数控平移台的平移速率调至 25 $\mu\text{m}/\text{s}$, 在 1mm 之内的范围内扫描熔接两遍, 这时可以观察到功率计已经能够接收到较少的激光输出, 此时, 将 CO₂ 激光器的供电电流调制 4mA, 输出功率为 3W, 数控平移台的

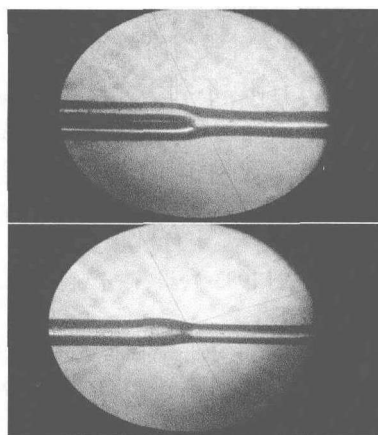


Fig. 4 Fused side-coupler after fusing

移动速率调整到 75 μm/s, 可以看到熔接区域吸收了很亮的 CO₂ 激光, 这样扫描熔接两个来回, 基本完成了整个的熔接过程。在 10 × 10 的显微镜下拍摄的熔接区域图像如图 4 所示。

3 耦合功率测试实验

利用带尾纤输出的半导体激光器对侧面耦合器的耦合效率进行测试。在进行侧面熔接实验之前, 先将波长为 980nm 的半导体激光器的尾纤与 105 μm/125 μm 的光纤对接焊好。测量对接后 105 μm/125 μm 光纤的激光输出功率, 之后进行侧面熔接实验, 再测量侧面熔接实验后 10 μm/125 μm 双包层光纤的输出功率, 得到耦合效率达到 82%, 如图 5 所示。

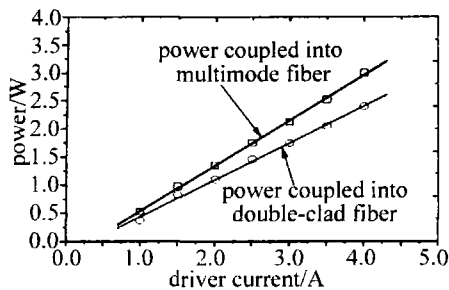


Fig. 5 Power coupled into double-clad fiber vs. driver current

4 结论

介绍了利用 CO₂ 激光器进行熔接型侧面耦合器制作的实验原理、装置和及其耦合功率测试实验。在该熔接型侧面耦合器功率耦合实验中, 获得了输出功率达到 2.4 W 的光纤耦合输出, 耦合效率达到 82%, 省去了光纤预处理过程, 工艺较为简单。由于熔接型侧

面耦合器将多模光纤和双包层光纤熔为一体, 所制作的耦合器熔接点非常平滑, 因此能够承受很高功率的抽运光。基于这种制作方式, 可以进一步制作 (2 + 1) × 1, (3 + 1) × 1, 乃至 (6 + 1) × 1 的耦合器。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应用前景。

参 考 文 献

- [1] JEONG Y, SAHU J K, PAYNE D N, *et al.* Ytterbium-doped large-core fibre laser with 1kW of continuous-wave output power[J]. *Electron Lett*, 2004, 40(8):470-471.
- [2] RIPIN D J, GOLDBERG L. High efficiency side-coupling of light into optical fibres using imbedded V-grooves[J]. *Electron Lett*, 1995, 31(25):2204-2205.
- [3] GOLDBERG L, COLE B, SNITZER E. V-groove side-pumped 1.5 μm fibre amplifier[J]. *Electron Lett*, 1997, 33(25):2127-2129.
- [4] WEBER T, LUTHY W, WEBER H P, *et al.* A longitudinal and side-pumped single transverse mode double-clad fiber laser with a special silicone coating[J]. *Opt Commun*, 1995, 115(1/2):99-104.
- [5] KOPLOW J P, MOORE S W, KLINER A V. A new method for side pumping of double-clad fiber sources[J]. *IEEE J Q E*, 2003, 39(4):529-540.
- [6] HERDA R, LIEM A, SCHNABEL B, *et al.* Efficient side-pumping of fibre lasers using binary gold diffraction gratings[J]. *Electron Lett*, 2003, 39(3):276-277.
- [7] FUJITA H, SUZAKI Y, TACHIBANA A. Optical fiber splicing technique with a CO₂ laser[J]. *Appl Opt*, 1976, 15(2):320-321.
- [8] YAN P, GONG M L, LI Ch, *et al.* Distributed pumping multifiber series fiber laser[J]. *Optics Express*, 2005, 13(7):2699-2706.
- [9] OU P, YAN P, GONG M L, *et al.* Fused side-coupler for double-clad fiber laser[J]. *Laser Technology*, 2008, 32(1):8-10 (in Chinese).
- [10] 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.

(上接第 353 页)

参 考 文 献

- [1] REN G G. Status and development trend of airborne laser-based IRCM[J]. *Laser & Infrared*, 2000, 30(6):323-327 (in Chinese).
- [2] WANG Y Z, YAO B Q, JU Y L, *et al.* 1.2W ZnGeP₂ optical parametric oscillator[J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2005, 17(s1):163-166 (in Chinese).
- [3] REN G, CAI B W, ZHONG M, *et al.* Theoretical design of 3 μm ~ 4 μm KTA optical parametric oscillator[J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2006, 33(s1):222-225 (in Chinese).
- [4] CUSSAT-BLANC S, IVANOV A. KTiOPO₄, KTiOAsO₄, and KNbO₃ crystals for mid-infrared femtosecond optical parametric amplifiers: analysis and comparison[J]. *Appl Phys*, 2000, B70(7):247-253.
- [5] MARSHALL L R. Efficient multiwatt 2 μm ~ 5 μm tunable sources[C]//*Laser and Hectro-Optics, CLEO '96*. New York: IEEE, 1996: 368-369.
- [6] RUFFING B. All-solid-state cw mode-locked picosecond KTiOAsO₄ (KTA) optical parametric oscillator[J]. *Appl Phys*, 1998, B67(5):537-544.
- [7] WU R F. Compact mid-IR intracavity OPO[J]. *Proc SPIE*, 2001, 4595:287-292.
- [8] VYSNIAUSKAS G, BURNS D, BENTJE E. Development of a nanosecond high energy KTA OPO system operating 2.9 μm[C]//*Lasers and Electro-Optics, 2002, CLEO '02*. New York: IEEE, 2002:333.
- [9] WANG B, REN G, LI T, NIU R H. Experimental study of a potassium titanyl arsenate optical parametric oscillator in the mid-infrared band[J]. *Laser Technology*, 2007, 31(3):225-227 (in Chinese).
- [10] FENIMORE D L, SCHEPLER K L, RAMABADRAN U B, *et al.* Infrared corrected sellmeier coefficients for potassium titanyl arsenate[J]. *J O S A*, 1995, B12(5):794-796.