

文章编号: 0258-7025(2008)Supplement2-0155-03

一种用于高功率光纤放大器的侧面抽运耦合器

黄榜才 张鹏 段云峰 宁鼎

(中国电子科技集团公司第四十六研究所, 天津 300220)

摘要 报道了一种应用于高功率光纤放大器的侧面抽运耦合器。采用熔融拉锥工艺以及最基本的 2×1 耦合方式, 实现了高耦合效率、高隔离度的光纤侧面耦合器的研制。通过对多种不同光纤组合的研究, 发现采用外径 $125 \mu\text{m}$, 数值孔径为 0.46 的无源双包层光纤做信号传输光纤和抽运耦合光纤, 可获得高达 74% 的抽运耦合效率; 耦合器信号光通过率为 95%; 信号输入端与抽运输入端的隔离度大于 50 dB; 抽运输入端对输出端反向传输光的隔离度为 20 dB。采用该侧面耦合器, 实现了输出功率达 1 W 的窄线宽全光纤放大器。

关键词 光纤光学; 耦合器; 侧面抽运; 高功率

中图分类号 TN253 文献标识码 A doi: 10.3788/CJL200835s2.0155

A Side-Pump Fiber Coupler for High-Power Fiber Amplifiers

Huang Bangcai Zhang Peng Duan Yunfeng Ning Ding

(Research Institute 46 of Chinese Electronic Technology Group Company, Tianjin 300220, China)

Abstract A kind of side-pump fiber coupler for high-power fiber amplifiers is reported. Using the fused taper technics and a basic 2×1 coupling method, the side-pump fiber coupler of high coupling efficiency and high isolation was realized. Through the investigation of different fibers of the side-pump fiber couplers, the double-clad fiber with outside diameter $125 \mu\text{m}$ and numerical aperture(NA)0.46 was the best selection for the signal transmission and pump launched fiber. The side-pump fiber coupler integrating a 74% pump coupling efficiency, 95% signal transmission, with exceeding 50dB isolation between the signal input end and pump-light input end and 20 dB isolation between the pump-light input end and the signal output end was obtained. Using the side-pump fiber coupler, the narrow line-width all-fiber amplifier with an output power exceeding 1W was demonstrated.

Key words fiber optics; coupler; side-pump; high power

1 引言

在高功率光纤激光器和放大器的研究中, 实现抽运光功率高效、安全地耦合是其关键技术之一, 目前的抽运方法主要包括光纤端面抽运和光纤侧面抽运两种。现有的侧面抽运耦合技术主要有: V 型槽侧面抽运耦合^[1,2]、嵌入反射镜式抽运耦合^[3]、角度磨抛侧面抽运耦合^[4,5]等。这几种耦合技术均有非常明显的缺点, 前两种技术难以实现全光纤化设计, 角度磨抛侧面抽运耦合技术虽然可以实现紧凑的结构设计, 但在高抽运功率下, 光学胶受热会挥发和分解, 导致耦合效率下降。采用熔融拉锥工艺研制的

侧面抽运耦合器可以解决上述问题。

光纤侧面抽运耦合器是一种实现侧面抽运耦合的新型器件, 包括一根信号传输光纤和一根抽运耦合光纤, 有抽运输入端、信号输入端和输出端三个可用端口。与普通光纤耦合器不同, 侧面抽运耦合器的主要设计目的是为了实现抽运光功率向信号传输光纤的单向耦合, 因此拉锥完成后, 两根光纤的纤芯之间相距较远, 抽运功率从抽运输入端光纤耦合进入信号传输光纤的内包层, 而在信号传输光纤的纤芯中传输的激光信号(包括正向和反向光)被限制在传输光纤的纤芯中与抽运输入端不发生能量耦合,

基金项目: 国家自然科学基金(10674074)和天津自然科学基金(06YFJZJC00300)资助课题。

作者简介: 黄榜才(1976—), 男, 博士, 高工, 主要从事特种光纤及其器件方面的研究。

E-mail: huangbangcai@mail.nankai.edu.cn

因此侧面抽运耦合器起到了抽运耦合与信号隔离的双重作用。

本文采用了熔融拉锥工艺,研制了 2×1 型结构、高耦合效率、高隔离度的光纤侧面耦合器。

2 侧面抽运耦合器的研制

2.1 实验装置和方法

根据光纤侧面抽运耦合器的工作原理和结构设计,尝试采用了熔融拉锥工艺以及最基本的 2×1 耦合方式,实现把一根抽运耦合光纤中的抽运光耦合进信号传输光纤。实验装置原理如图 1 所示

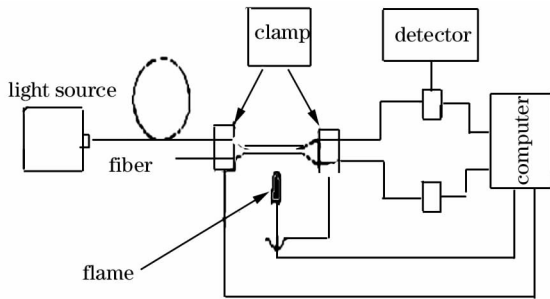


图 1 侧面抽运耦合器的实验装置

Fig. 1 Experimental setup of the side-pump fiber coupler

该装置为一套熔融拉锥系统,主要包括步进电机控制的平行拉伸装置、夹具和火焰进给装置组成,同时配有探测器、控制和显示设备。其中光源采用了 915 nm 波长的多模半导体激光器,输出功率 20 mW,输出尾纤为纤芯直径 $105 \mu\text{m}$,数值孔径为 0.22 的标准多模光纤;光源输出尾纤与侧面抽运耦合器的抽运输入端光纤熔接耦合。耦合器的抽运输入光纤和信号传输光纤长度均为 2 m,在中间的合适位置剥除一定长度的涂层作为耦合区域。拉锥使用氢气和氧气燃烧产生的氢氧焰,温度可达到 $1500 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

侧面抽运耦合器的拉锥方法有两种,即平行烧拉技术和打结烧拉技术。平行烧拉技术即先把两根光纤平行固定,再转移到拉锥平台上进行拉锥操作,实验时发现效果不好,两根光纤耦合到一定程度难以继续耦合,因此采用了打结烧拉技术,即把两根光纤相互缠绕,然后固定在拉锥平台上进行拉锥。为了提高耦合效率,实验中采用了抽运输入光纤的预拉锥处理技术,即先把抽运输入光纤拉锥一段距离,再缠绕到信号传输光纤上进行耦合拉锥。经过对预先拉锥的参数进行了一段时间的摸索后,从同一种光纤组合的实验结果看,采用预拉锥处理后的耦合效率要比直接拉锥高出 10%,侧面耦合效率有了一

定的提高,这和文献[6]相吻合。

2.2 实验结果和分析

利用上述实验装置,对多种不同光纤组合构成的侧面抽运耦合器进行了研究。

实验首先选用了数值孔径 0.22、纤芯直径和外径分别为 $105 \mu\text{m}$ 、 $125 \mu\text{m}$ 的多模光纤做抽运输入光纤,内包层数值孔径为 0.46、外径为 $125 \mu\text{m}$ 的圆形掺铒双包层光纤做输出光纤。由于后者的光学参数乘积(数值孔径与直径的乘积)大于前者之乘积,保证了抽运光由多模光纤向作为信号传输光纤的掺铒双包层光纤的耦合。但经过大量的实验,发现结果并不理想,两根光纤较难熔合到一起,导致耦合损耗很大、效率低,最大耦合效率只有 34.5%。分析认为主要有两个方面的原因:多模光纤的纤芯折射率为 1.468,而双包层光纤的内包层折射率为 1.457,两者相差较大,不能相互匹配;圆形掺铒双包层光纤存在对 915 nm 抽运光的吸收,增加了器件的损耗。

实验在多模光纤不变的情况下,信号传输光纤改用无源双包层光纤代替掺铒双包层光纤,无源双包层光纤的内包层数值孔径为 0.46、外径为 $125 \mu\text{m}$ 。经过实验研究和工艺参数优化,侧面耦合的效率可达 46.4%,但仍然较低。主要原因是:无源双包层光纤在 915 nm 波长处存在较大的本底损耗,为 0.62 dB/m;多模光纤纤芯和无源双包层光纤内包层在折射率上的差异仍然存在。

为了解决折射率匹配的问题,实验在无源双包层光纤不变的基础上,选用了石英丝来代替多模光纤做抽运注入光纤。拉锥过程中明显观察到两种光纤熔点的差异,这是因为石英丝包层为低折射率的掺氟介质,其熔点比石英低,当两光纤在同一火焰下加热时,石英丝很快处于熔融状态然后变形,而这时无源双包层光纤还没有到达熔点,所以拉锥过程很难控制。实验中侧面抽运耦合器的耦合效率只有 39.7%。

实验最后采用无源双包层光纤代替石英丝,利用两根无源双包层光纤制作的侧面抽运耦合器,实现了较高的耦合效率,最高可达 70% 以上。由于两根双包层光纤在性能上完全一致,所以解决了光纤的匹配问题,通过实验优化,主要性能指标达到:抽运光耦合效率达 74%;信号光通过率为 95%;信号输入端与抽运输入端的隔离度大于 50 dB;抽运输入端对输出端反向传输光的隔离度为 20 dB;承受峰值功率大于 15 kW。

3 应用

在侧面抽运耦合器研制成功的基础上,结合主振动功率放大技术(MOPA),进行了一级全光纤结构的窄线宽掺镱双包层光纤放大器的实验研究,实验装置如图2所示,窄线宽信号源最大输出光功率为15.3 mW,光隔离器(ISO)在中心波长1053 nm处的插入损耗为1.62 dB,隔离度为43 dB,侧面光纤耦合器编号为C070918-6,对抽运光的耦合效率为67%,对信号光的透射率为95.8%;抽运半导体激光器(LD)的中心波长为915 nm,3 dB带宽为2.2 nm,最大输出功率为6.5 W;掺镱双包层光纤(YDCF)长度为3.7 m,纤芯直径5.5 μm ,数值孔径0.18,内包层为八角形,角对角的距离为125 μm ,在915 nm波长处的有效吸收系数测量值为2 dB/m。剩余抽运光经过抽运光滤除器后被大部分滤除,在纤芯传输的放大信号则通过HI1060 nm光纤的FC/APC斜头输出,整个实验方案实现了全光纤化连接。

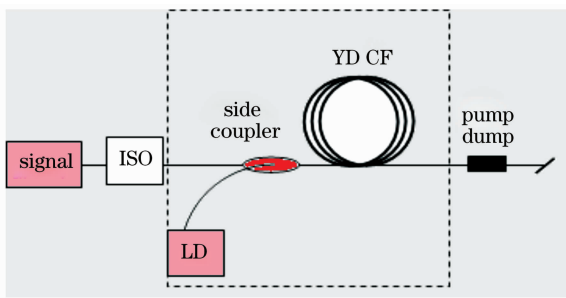


图2 一级窄线宽光纤放大器实验装置

Fig. 2 Experimental setup of narrow line-width one-stage fiber amplifier

利用图2所示实验装置,在最大入纤抽运功率为3.6 W时,获得了1.07 W的放大信号功率,信号增益为18 dB,信号输出功率随抽运入纤功率的增

加线性增加,斜率效率为33%,在可获得的抽运功率范围内,没有出现输出功率饱和现象。实验中侧面抽运耦合器性能稳定,实现了在高功率条件下稳定运行。

4 结论

通过熔融拉锥的工艺方法,研制成功了高耦合效率、高隔离度的光纤侧面耦合器。所研制的侧面抽运耦合器主要性能达到:抽运耦合效率大于70%,耦合器信号通过率大于95%,信号输入端与抽运输入端的隔离度大于50 dB;抽运输入端对输出端反向传输光的隔离度可达20 dB。采用该侧面耦合器,实现了输出功率1 W以上的窄线宽全光纤放大器,但进一步提高注入侧面抽运耦合器的抽运功率,器件存在被烧毁的危险,所以需要进一步降低器件损耗、提高耦合效率。

参考文献

- 1 L. Goldberg, P. K. Jeffrey. Highly efficient 4-W Yb-doped fiber amplifier pumped by a broad-stripe laser diode[J]. *Opt. Lett.*, 1999, **24**(10): 673~675
- 2 L. Goldberg, B. Cole, E. Snitzer. V-groove side pumped 1.5 μm fiber amplifier[J]. *Electron. Lett.*, 1997, **33**(25): 2127~2129
- 3 P. K. Jeffrey, W. M. Sean, A. V. K. Kliner. A new method for side pumping of double-clad fiber sources [J]. *J. Quant. Electronics*, 2003, **39**(4): 529~540
- 4 P. Ou, P. Yan, M. L. Gong *et al.*. Multi-coupler side-pumped Yb-doped double-clad fibre laser and pump light leakage at coupler[J]. *Electron. Lett.*, 2004, **40**(7): 418~419
- 5 Xu Jianqiu, Lu Junhua, G. Kumar *et al.*. A non-fused fiber coupler for side-pumping of double-clad fiber lasers[J]. *Opt. Commun.*, 2003, **220**: 389~395
- 6 Pavel Polynkin, Valery Temyanko, Masud Mansuripur *et al.*. Efficient and scalable side pumping scheme for short high-power optical fiber lasers and amplifiers[J]. *Opt. Lett.*, 2004, **16**(9): 2024~2026