

文章编号: 0253-2239(2004)09-1237-3

# 利用光纤光栅的高功率掺镱光纤激光器

潘玉寨<sup>1</sup> 张 军<sup>2</sup> 胡贵军<sup>1,3</sup> 张 亮<sup>1</sup> 刘 云<sup>1</sup> 王立军<sup>1</sup>

1 中国科学院激发态开放实验室, 长春 130022  
2 中国科学院长春光机与物理研究所, 长春 130022  
3 吉林大学电子工程学院, 长春 130026

**摘要:** 报道了利用一对光纤光栅作为双包层 Yb<sup>3+</sup> 掺杂光纤激光器的谐振腔, 激光二极管光纤模块(LD)进行了抽运, 并采用锥形光纤实现了全光纤化结构, 获得了高功率双包层光纤激光器。光纤光栅通常是用融接技术实现与双包层光纤的一体化连接的, 采用的双包层光纤为内包层为梅花瓣形结构的掺 Yb<sup>3+</sup> 离子的石英光纤, 采用的抽运源为中心波长为 970 nm 的半导体激光光纤输出模块, 在抽运源电流达到 2.4 A 时, 获得了 10.8 W 的光纤激光器单横模输出, 输出波长 1100.5 nm, 峰值半峰全宽(FWHM)为 0.54 nm, 激光器斜效率为 59%。

**关键词:** 光纤激光器; 双包层光纤; 镱掺杂; 光纤光栅

中图分类号: TN248 文献标识码: A

## High-Power Ytterbium-Doped Fiber Laser Based on Fiber Grating

Pan Yuzhai<sup>1</sup> Zhang Jun<sup>2</sup> Hu Guijun<sup>1,3</sup> Zhang Liang<sup>1</sup> Liu Yun<sup>1</sup> Wang Lijun<sup>1</sup>

1 Laboratory of Excited-State Physics, The Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022  
2 Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,  
The Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022  
3 School of Electronics Engineering, Jilin University, Changchun 130026

(Received 2 June 2003; revised 20 October 2003)

**Abstract:** A double-clad Yb<sup>3+</sup> doped fiber laser is made when choosing fiber grating as resonator and pumped by LD fiber-coupled modules, with tapered fiber to get all-fiber structure. Fusion is often adopted to incorporate the fiber grating with the double-clad fiber, and the inner-cladding shape of double-clad fiber (DCF) is quasi-circular shape of Yb<sup>3+</sup>-doped silica fiber with 970 nm center wavelength of fiber output modules as pump source. When the current of pump source is 2.4 A, the single-transverse-mode output with max output power of 10.8 W is obtained with FWHM of 0.54 nm at output wavelength of 1100.5 nm, and the slope efficiency of 59% is observed.

**Key words:** fiber laser; double-clad fiber; Yb<sup>3+</sup>-doped; fiber grating

## 1 引 言

高功率光纤激光器最近几年来取得了快速发展<sup>[1~6]</sup>, 这得益于高功率, 高亮度多模半导体抽运激光器性能的提高和包层抽运双包层光纤技术的出现。如今光纤激光器以光纤作为增益介质具有良好的散热特性以及高转换效率(>60%)的优点, 其高功率器

件可广泛应用于工业加工、激光打标、军事、医疗以及光通信密集波分复用系统中。特别是工作波长可以在 1060~1200 nm 范围内实现高效率工作的以 Yb<sup>3+</sup> 离子掺杂光纤作为增益介质的高功率光纤激光器在工业激光加工领域有着重要的应用前景。

1988 年美国宝丽来公司 Snitzer 等<sup>[1]</sup> 发明了具有内包层结构的双包层光纤激光器, 使得掺杂光纤的吸收效率有了显著的提高, 在几米甚至几十米的长度上吸收效率达到 90% 以上, 从而使得光纤激光器输出功率得到几个数量级的提高。大功率光纤激

E-mail: panyuzhai@hotmail.com

收稿日期: 2003-06-02; 收到修改稿日期: 2003-10-20

光器多采用非圆的内包层结构破坏了抽运光在圆形内包层中的螺旋光的传播,改变了光线在光纤中的分布,使得抽运光在有限的距离内更充分地经过纤芯被掺杂离子吸收<sup>[2,5]</sup>。

高功率光纤激光器多采用端抽运技术,存在在整个光纤长度上抽运非均匀的现象,因此又出现了各种侧向抽运技术<sup>[3]</sup>,在光纤不同的位置输入抽运光实现在整个光纤长度上均匀的抽运。这种技术实现激光器分布集成,获得更加高效简便的高功率光纤激光器输出,同时简化光纤激光器谐振腔结构设计,实现全光纤化的光纤激光器。

光纤激光器在技术和性能方面的优越性使得世界上很多国家都在开展光纤激光器的研究,2002年报道了实现 135 W 单模光纤激光器<sup>[4]</sup>。国内也有多家单位开展此方面的研究<sup>[5~8]</sup>。中国科学院上海光学精密机械研究所报道了 4.9 W 的高功率双包层掺镱离子光纤激光器,他们所采用的谐振腔都是在光纤外加介质镜实现的,利用外加介质镜作为谐振腔具有损耗大,光路调节困难以及结构复杂的缺点。本文利用一对融接在有源光纤两端的光纤光栅作为激光器谐振腔,以大功率半导体激光器光纤耦合模块抽运的高功率掺镱离子掺杂双包层光纤激光器进行了研究,获得了 10.8 W 的光纤激光器近衍射极限的单横模输出,输出波长 1100.5 nm,线宽为 0.54 nm。

## 2 实验方法及装置

图 1 为实验装置示意图,在这个实验中采用了锥度光纤实现了光纤之间的低损耗连接,实验测定锥形光纤的传输效率为 90%。双包层光纤纤芯掺杂为镱离子( $\text{Yb}^{3+}$ ),在 970 nm 处的吸收系数为 0.2 dB/m,纤芯直径 7  $\mu\text{m}$ ,内包层为梅花瓣形结构(如图 1 中插图所示为光纤截面干涉图样),双包层光纤长度为 20 m。光纤输出光束经透镜后进入光谱

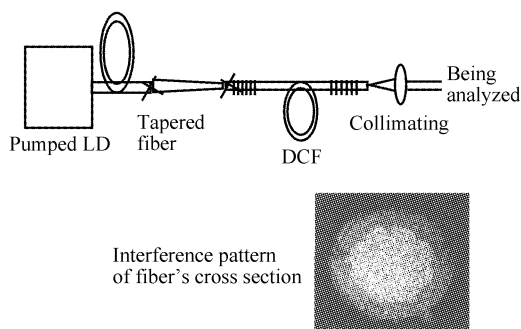


Fig. 1 Experimental setup of fiber laser, insert is interference pattern of fiber end-face

分析仪和功率计进行分析。

光纤激光器的谐振腔是利用光纤光栅的反射特性实现的谐振腔,光纤光栅在大功率光纤激光器中的运用使得光纤激光器的结构更加简单化,整体化。我们选用了一对光纤光栅构成谐振腔。构成前腔镜的光纤光栅的中心反射波长为 1100 nm,对抽运光 970 nm 的透射率为 99%,构成后腔镜的光纤光栅对抽运光的反射率为 100%,对 1100 nm 激光波长的反射率为 3%。

## 3 实验结果及讨论

实验中大功率半导体激光光纤模块的输出光纤直径是 400  $\mu\text{m}$ ,数值孔径是 0.22。双包层光纤的内包层直径为 210  $\mu\text{m}$ ,内包层与外包层之间的数值孔径为 0.45。双包层光纤的内包层形状为梅花瓣形结构,理论和实验验证梅花瓣形和其他非对称内包层结构一样有着非常高的耦合效率<sup>[9]</sup>,而且更有利于我们选用光纤融接技术来实现全光纤化结构。因此我们选择了锥形光纤的尺寸为:输入端光纤直径 400  $\mu\text{m}$ ,数值孔径 0.22。输出端的光纤直径为 200  $\mu\text{m}$ (略小于双包层光纤的内包层直径,保证有低的融接损耗)。光纤锥形区长度为 2.5 m,总长度为 3.5 m。用大芯径融接机将抽运光纤耦合模块输出光纤,锥形光纤和双包层光纤融接起来,选用合适的紫外胶材料进行封装。

我们选用的光纤抽运模块采用循环水冷却系统,温度稳定在 15  $^{\circ}\text{C}$ ,可以实现抽运波长的稳定工作,输出中心波长为 970 nm。图 2 示为抽运源输出功率随输入电流的关系曲线,其中抽运功率是在锥形光纤的输出端测量的。可以看到,当输入电流为 2.4 A 时,从锥形光纤输出的抽运功率为 18.6 W。图 3 为双包层光纤激光器输出端的功率与抽运源输入电流的关系,在电流加至 0.6 A 时,在输出端有光

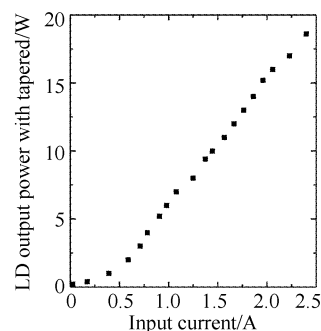


Fig. 2 Measured curve of output power with fiber tapered via pumped input current of LD

信号输出,逐渐增加抽运源输入电流,光纤输出功率随之增加,当抽运源输入电流为 2.4 A 时光纤激光器获得最大输出功率为 10.8 W,计算得出光纤激光器的斜效率为 59%。将光纤输出激光经衰减器输入光谱分析仪(光谱仪型号为 AQ7010c)进行光谱测量,如图 4 所示。中心波长为 1100.5 nm,半峰全宽(FWHM)为 0.54 nm。同时实验中高功率工作时光纤输出光谱上长波长侧较远处出现几个较弱的次峰,这主要是由于我们光纤光栅末端有一段较长普通光纤的散射作用所致。图 5 中所示为用 CCD 监视器对经衰减后光纤输出端光束进行成像,可以看出光斑清晰轮廓,光束的能量主要集中在中间部分,是一种近衍射极限的单横模高斯光束分布。

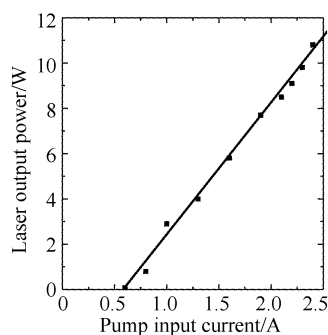


Fig. 3 Measured curve of output power from fiber laser via pumped input current of LD

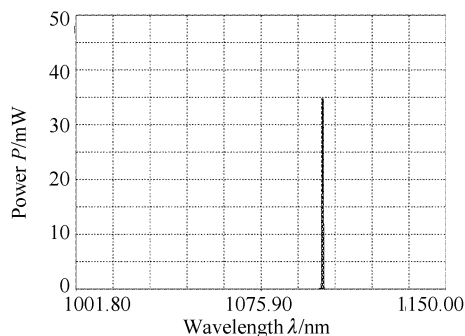


Fig. 4 Output spectrum of fiber laser after spectra analysis

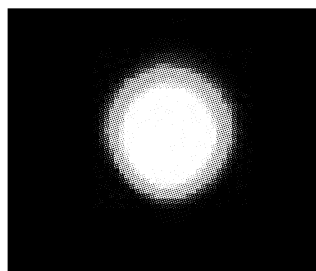


Fig. 5 Intensity distribution on output end-face of fiber laser scratched by CCD imaging

抽运源在 15 °C 工作时的输出波长 970 nm,并不在镱离子的吸收峰 975 nm 处,抽运源输出波长的温度漂移系数为 0.3 nm/°C,提高工作温度会影响抽运源的性能,特别是在高功率工作,因此我们选择较低的工作温度,因而降低了光纤激光器的斜效率,但仍高于采用 915 nm 波长的抽运源。

**结论** 本文报道了利用半导体激光器光纤耦合模块进行了高功率双包层 Yb<sup>3+</sup> 光纤激光器的实验研究,该光纤激光器谐振腔是利用在双包层光纤两端融接一对光纤光栅实现的,采用的双包层光纤为内包层结构为梅花瓣形的掺 Yb<sup>3+</sup> 离子的石英光纤,采用的抽运源为中心波长为 970 nm 的半导体激光光纤输出模块,在抽运源电流达到 2.4 A 时,获得了 10.8 W 的光纤激光器单横模输出,输出波长 1100.5 nm,峰值半峰全宽为 0.54 nm,激光器斜效率为 59%。这种全光纤结构紧凑,更利于产品化。

#### 参 考 文 献

- 1 Snitzer E, Hakimi P H, Tumminelli F *et al.*. Double-clad, offset cor Nd fiber laser. *Proc. Conf. Optical Fiber Sensors*, Postdeadline paper PD5, 1988. 41
- 2 Kurkov A S, Laptev A Y, Dianov E M *et al.*. Yb<sup>3+</sup>-doped double-clad fibers and lasers. *Proc. SPIE*, 2000, **4083**:118~126
- 3 Reichel V, Unger S, Hagemann V *et al.*. 8 W highly-efficient Yb-doped fiber-laser. *Proc. SPIE*, 2000, **3889**:160~169
- 4 Platonov N, Gapontsev D, Gapontsev V *et al.*. 135 W cw fiber laser with perfect single mode output. *Proc. Conference on Lasers and Electro-Optics*, USA, 2002, post-deadline paper CPDC3
- 5 Zhou Jun, Lou Qihong, Li Tiejun *et al.*. 4.9 W CW Ytterbium-doped double-cladding fiber laser and its output characteristics. *Acta Optica Sinica (光学学报)*, 2003, **23**(4): 476~479 (in Chinese)
- 6 Ning Ding, Huang Bangcai, Xiang Yang *et al.*. Effect of back-cavity mirror on Yb<sup>3+</sup>-doped double-clad fiber laser. *Acta Optica Sinica (光学学报)*, 2003, **23**(3): 313~316 (in Chinese)
- 7 Yan Ping, Gong Mali, Ou Pan *et al.*. 10-W cladding-pumped fiber laser with singletransverse mode output. *Chin. Opt. Lett.*, 2003, **1**(6): 332~333
- 8 Liang Janzhong, Hu Yimei, Sun Diechi *et al.*. Lasing wavelength red-shifed from reflection center of a Yb doped fiber grating laser. *Acta Optica Sinica (光学学报)*, 2002, **22**(8): 976~979 (in Chinese)
- 9 Bayart, Gasca L, Gelly G. Cladding-pumped erbium-doped fiber amplifiers for WDM applications. *Alcatel Telecom-Munications Review-3rd Quarter*, 2001. 179~180