

文章编号: 0258-7025(2003)04-0303-04

D 形内包层掺 Yb^{3+} 光纤激光器动态特性的研究

樊亚仙, 胡姝玲, 吕福云, 吕可诚, 董孝义

(南开大学物理科学学院光电信息科学系, 天津 300071)

摘要 对 LD 抽运的 D 形内包层掺 Yb^{3+} 光纤激光器的动态特性进行了实验研究。在单镜和双镜两种腔结构中, 研究了激光器的动态特性。在单镜腔结构中, 激光器表现出很强的自脉动行为, 脉冲宽度为微秒量级。随着抽运功率的增强, 开始出现更精细的结构, 周期不规则, 脉宽几十纳秒; 在双镜腔结构中, 自脉冲被有效地抑制, 在抽运功率较大时, 在直流强度上叠加了周期为 200 ns, 脉宽约 10 ns 稳定的脉冲序列。双镜腔的激光稳定性较单镜腔有所改善, 激光阈值功率明显下降。

关键词 激光技术; D 形内包层; 光纤激光器; 时域特性

中图分类号 TN 248.1 **文献标识码** A

Dynamics Characteristic of D-shape Inner Cladding Yb^{3+} -doped Fiber Laser

FAN Ya-xian, HU Shu-ling, LÜ Fu-yun, LÜ Ke-cheng, DONG Xiao-yi

(Department of Optical-Electronic Information Science,
Institute of Physics, Nankai University, Tianjin 300071, China)

Abstract Experiment study of dynamics characteristic of D-shape inner cladding Yb^{3+} -doped fiber laser is presented. The fiber laser in one-mirror and two-mirror cavity is pumped by a multi mode laser diodes. Self-pulsing regimes are obtained in one-mirror cavity. The Brillouin pulses appear with the increasing of pump power. The pulse duration is as short as 10 ns. The self-pulses are suppressed in the two-mirror cavity. In this case the stability of the laser is improved, and the threshold of the laser decreases.

Key words laser technique; D-shape inner clad; fiber laser; temporal characteristic

1 引 言

包层抽运技术是在 20 世纪 80 年代后期出现的。这一技术的出现使光纤激光器的功率水平有了很大的提高。高功率的光纤激光器以其结构紧凑、便携小巧和光束质量优良等优点受到人们的广泛关注。它在现代光通信、光传感、材料技术、生命科学及精密加工等领域获得了相当广泛的应用。近年来, 随着高性能抽运源的完善和包层抽运技术的发展, 人们对双包层光纤激光器的研究越来越广泛^[1~3]。尤其是掺 Yb^{3+} 双包层光纤激光器以其诸多优点倍受人们青睐^[4]。 Yb^{3+} 离子具有很宽的吸

收谱, 适合多种抽运机制; 它还具有较宽的荧光发射谱, 能够提供 970~1200 nm 光谱区的放大, 可实现宽带调谐和利于激光脉冲压缩产生高峰值功率的脉冲; 另外由于 Yb^{3+} 离子简单的二能级结构, 不存在激发态吸收问题; 同时由于其上能级荧光寿命长、高量子效率和无浓度淬灭, 从而可以提供高输出功率和实现高浓度掺杂。这些优点是大多数稀土离子所没有的。近年来, 在激光二极管(LD)的抽运下, 掺 Yb^{3+} 双包层光纤激光器在实现高功率输出方面取得了令人瞩目的进展。目前用双包层掺 Yb^{3+} 石英光纤制成的光纤激光器, 已在 1100 nm 波长上得到

收稿日期: 2002-01-30; 收到修改稿日期: 2002-05-09

基金项目: 国家自然科学基金(No. 69977012)和国家自然科学基金重点项目(No. 60137010)资助课题。

作者简介: 樊亚仙(1975—), 女, 内蒙古通辽人。南开大学物理科学学院光电信息科学系博士研究生, 现从事包层抽运光纤激光器及超短光脉冲的研究工作。E-mail: fanyx@eyou.com

了 110 W 的连续激光^[5]。Yb³⁺ 双包层光纤激光器在不同的抽运功率、不同的腔结构情况下,呈现出十分丰富多样的时阈特性^[6]。为了更好地控制和利用,我们对 LD 抽运的 D 形内包层掺 Yb³⁺ 光纤激光器的动态特性进行了实验研究。在单镜和双镜两种腔结构中,实验研究了腔输出损耗对动态特性的影响。并对不同的抽运功率水平下激光器所呈现的动态特性进行了实验研究和定性的分析。

2 实验装置

实验装置如图 1 所示,图 1(a)为单镜腔结构。

抽运光经透镜耦合后抽运增益光纤,将一片二相色镜 ($T_{976\text{nm}} = 89.9\%$, $R_{1064\text{nm}} = 99.5\%$) 紧贴光纤输入端面放置,作为光纤激光器抽运端的腔镜,另一端不加腔镜,利用光纤端面 4% Fresnel 反射提供腔反馈。抽运源为中心波长 975 nm,带有 800 μm 输出尾纤的多模 LDs,尾纤数值孔径 0.22。增益光纤为德国产 DCL 321-03 型掺 Yb³⁺ 双包层光纤,光纤长 20 m, Yb³⁺ 掺杂浓度 0.65 mol-% (Yb₂O₃),其横截面如图 1(a)上方虚线框中所示,纤芯直径 10.6 μm ,数值孔径 0.16,内包层为 400/340 μm 的 D 形,数值孔径 0.38。抽运光在 D 形内包层中传输、分布,避免了螺旋光,保证了抽运光被高效吸收。

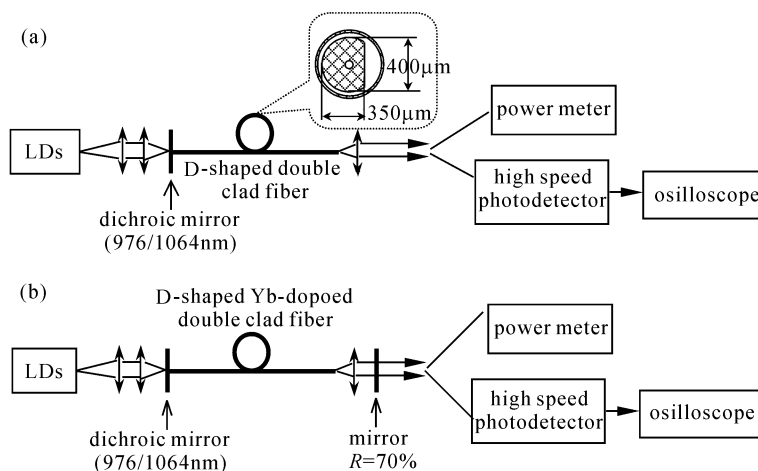


图 1 实验装置

(a) 单镜腔; (b) 双镜腔

Fig. 1 Experimental setup

(a) one-mirror cavity; (b) two-mirror cavity

图 1(b)为双镜腔结构。它与图 1(a)不同的是在输出端加了一个输出镜 ($R_{1064\text{nm}} = 70\%$)。在实验中使用 PIN 硅快速光电探测器和 500 MHz 示波器 (HP54616B) 直接观测激光的时域特性,同时用 LP-3A 型功率计监测其功率,用 MS9001B1 型光谱分析仪观测输出激光的频谱特性。

3 实验结果与分析

3.1 单镜腔结构

实验中首先采用单镜腔结构,测得激光中心波长 1083 nm,谱宽约 12 nm。图 2 所示为激光器输出功率特性曲线,从图中可得阈值抽运功率 370 mW,最大入纤功率 3 W 时,最大激光功率 2.34 W,斜率效率 86.6%。观测了激光输出的时域特性与

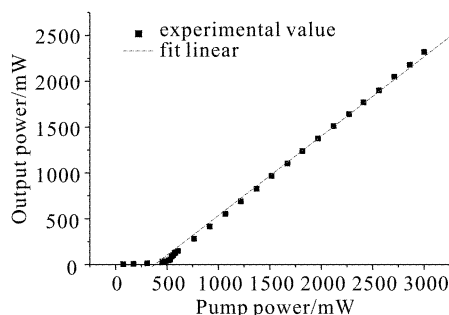


图 2 激光输出功率特性曲线

Fig. 2 Output power in one mirror cavity

抽运功率的依赖关系。图 3 所示为增加抽运功率的过程中得到的时域特性示波器图。激光输出波形表现为自脉冲序列。在产生自脉冲阈值 (545 mW) 附

近的时域特性如图 3(a) 所示。脉冲宽度为微秒量级,脉冲以弛豫振荡的形式表现出一定的重复性,典型的重复频率为 2 kHz。此时得到的激光平均功率为 113.5 mW。这种自脉动的产生是由于信号光子在未被抽运的那部分增益光纤中传输时,被增益介质吸收而引起的。在端抽运的二能级系统中,由于 1083 nm 的信号光在 Yb³⁺ 离子的吸收谱范围内,抽运功率较低时存在着较大的吸收作用。此时未被抽运的那部分光纤相当于一个可饱和吸收体的作用^[6]。因此在这种情况下,激光在时域上呈现出自

脉动特性。

当入纤抽运功率增加至 680 mW 时,在微秒脉冲基础上又出现了更窄的脉冲序列,如图 3(b) 所示。这些脉冲并不稳定,时断时续的。脉冲宽度大约几十纳秒。这种脉冲的出现是由于光纤中产生了背向受激 Brillouin 散射(SBS)而引起的^[7]。随着抽运功率的增加,纤芯中的激光功率达到了 SBS 的阈值,纤芯中发生了背向 Brillouin 散射,从而导致了几十纳秒脉冲的产生。

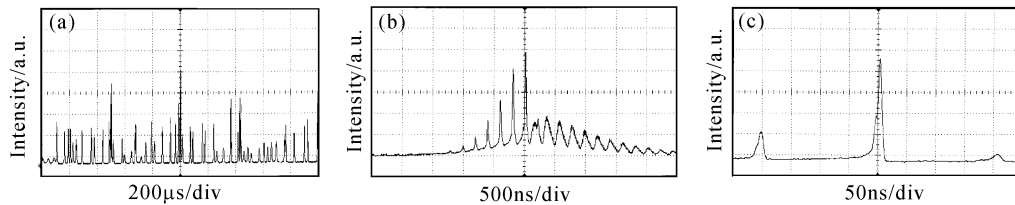


图 3 单镜腔激光输出特性

(a) 入纤功率 545 mW 时的自脉冲;(b) 背向 Brillouin 散射脉冲序列;(c) 背向 Brillouin 散射单脉冲

Fig. 3 Output character of one-mirror cavity

(a) self-pulsing output for $p = 545$ mW; (b) Brillouin pulses; (c) Brillouin single pulse

继续增加入纤抽运功率,可以看到由背向 Brillouin 散射引起的脉冲峰的个数逐渐减少,当抽运功率增至 1.2 W 后,就只有一主峰如图 3(c) 所示,脉宽也变窄为约 10 ns。这是由于随着激光功率的增强,背向 Brillouin 散射效应也增强,使能量集中压缩到了一个主峰中。再增加抽运功率,只是脉冲变得更强,没有其他变化。观测其光谱,并未观察到 Raman 谱线。实验中所用光纤纤芯直径为 10.6 μm ,数值孔径为 0.16,可容纳几个模式同时振荡,有效纤芯面积较大。而 SBS 和 Raman 散射的阈值与有效纤芯面积成正比,因此在现有的抽运功率水平下,纤芯中的激光功率密度只达到了 SBS 的阈值,而未达到 Raman 散射的阈值。可见选用较大纤芯的双包层光纤作为增益介质,可有效地克服一些光学非线性效应的影响,更适合用于大功率的光纤激光器。

3.2 双镜腔结构

利用图 1(b) 所示的腔结构,得到的激光输出功率特性曲线如图 4 所示。此时激光器的阈值抽运功率为 180 mW,斜率效率为 29.5%。最大激光输出功率为 835 mW。可见激光器的输出镜反射率高了,它的阈值大大降低了。同时激光输出功率(入纤功率远大于阈值时的)及斜率效率也大大减小了。

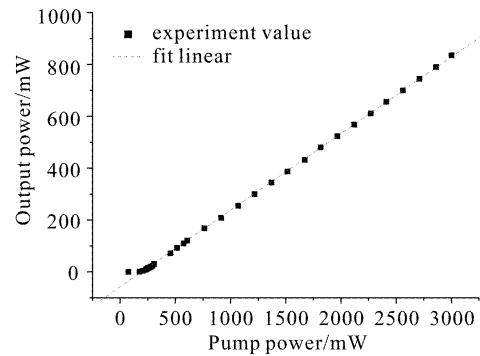


图 4 双镜腔激光输出功率特性曲线

Fig. 4 Output power in two-mirror cavity

在这样的腔结构中,激光器的时域特性与单镜腔不同。在阈值附近,激光输出表现为一些无规律的脉动;随着抽运功率的增加,输出激光逐渐变为连续光,如图 5(a) 所示。但在抽运功率增加到 1.5 W 时,输出光开始变为在一定直流成分上叠加了周期约 200 ns,脉宽约 10 ns 的稳定的脉冲序列。图 5(b) 为抽运功率 2 W 时典型的脉冲序列。此时脉冲宽度与单镜腔中得到的 Brillouin 散射单脉冲的宽度近似相等。Brillouin 散射产生的脉冲宽度是由声波场与纤芯的作用时间决定的。显然,在这样的腔结构中,由于加了一个外腔镜反馈,激光输出损耗减

小了,激光阈值明显降低。当抽运功率较低时,激光谐振腔中的情形与单镜腔结构相似,未被抽运的那部分光纤相当于一个可饱和吸收体的作用,输出激光表现为自脉冲行为。同时由于输出端具有较高的反馈,导致了腔内激光强度的平均,这使得输出激光

自脉动减弱。因此在一定的抽运功率范围内,纤芯中的功率密度达不到 Brillouin 散射的阈值,观察到了准连续激光输出。而当抽运功率增加到某一值后,纤芯中的功率密度则达到了 Brillouin 散射的阈值,产生了纳秒脉冲序列。

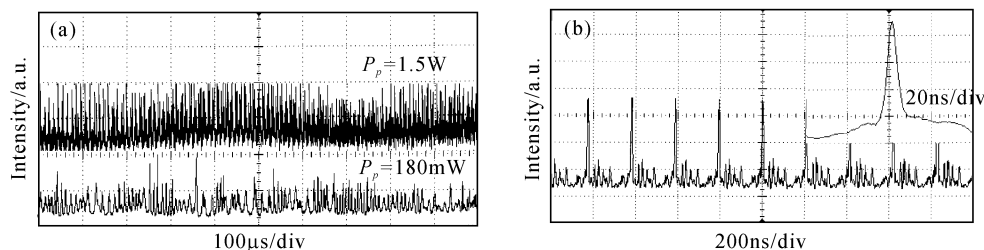


图 5 (a) 较低抽运功率时的时域特性;(b) 双镜腔中的 Brillouin 脉冲序列

Fig. 5 (a) Output intensity in two-mirror cavity for two values of pumping power;

(b) Brillouin pulses in two-mirror cavity for $P_p = 2 \text{ W}$

4 结 论

对单镜腔和双镜腔结构大功率掺 Yb^{3+} 双包层光纤激光器进行了实验研究。在单镜腔中得到了最大激光输出功率 2.32 W,斜率效率 86.6%,激光阈值抽运功率 370 mW,它的时域特性随抽运功率的增加表现为微秒自脉动、不稳定的纳秒脉冲序列和脉宽约 10 ns 的单脉冲。在双镜腔中,激光阈值功率 180 mW,最大激光功率 835 mW,斜率效率 29.5%,它的时域特性随抽运功率的增加表现为无规则的自脉动、准连续和直流叠加稳定的纳秒脉冲序列。可以看出,双镜腔结构的激光器,由于输出端反馈的增加,激光器的阈值也明显地降低了;同时在一一定的抽运功率范围内,时域特性有所改善,得到了准连续激光。但是激光器的输出功率水平和斜率效率也随之有所下降。

总之,在大功率双包层光纤激光器腔结构的设计中必须综合考虑抽运源功率水平和激光输出耦合比对激光的时域特性、输出功率及斜率效率的影响,适当地选择输出腔镜可以获得所需的激光。

参 考 文 献

1 H. Zellmer, U. Willamowski, A. Tünnermann *et al.*.

High-power cw neodymium-doped fiber laser operating at 9.2 W with high beam quality [J]. *Opt. Lett.*, 1995, **20** (6):578~580

2 R. A. Hayward, W. A. Clarkson, P. W. Turner *et al.*. Efficient cladding-pumped Tm-doped silica fibre laser with high power singlemode output at 2 μm [J]. *Electron. Lett.*, 2000, **36**(8):711~712

3 M. Auerbach, D. Wandt, C. Fallnich *et al.*. High power tunable narrow line width ytterbium-doped double-clad fiber laser [J]. *Opt. Comm.*, 2001, **195**(5~6):437~441

4 H. M. Pask, J. L. Archambault, D. C. Hanna *et al.*. Operation of cladding-pumped Yb^{3+} -doped silica fibre lasers in 1 μm region [J]. *Electron. Lett.*, 1994, **30** (11):863~865

5 V. Dominic, S. MacCormack, R. Waarts *et al.*. 110 W fibre laser [J]. *Electron. Lett.*, 1999, **35**(14):1158~1160

6 Ammar Hideur, Thierry Chartier, Cafer Ozkul *et al.*. Dynamics and stabilization of high power side-pumped Yb-doped double-clad fiber laser [J]. *Opt. Comm.*, 2000, **186**(4~6):311~317

7 A. Jonstone, W. Lu, J. S. Uppal *et al.*. Sustained and bursting oscillations in stimulated Brillouin scattering with external feedback in optical fiber [J]. *Opt. Comm.*, 1991, **81**(3~4):222~224