

LD 抽运的掺 Yb^{3+} 双包层光纤激光器

陈 柏 陈兰荣 林尊琪 陈绍和

(中国科学院上海光机所 上海 201800)

明 海 许立新 谢建平

(中国科学技术大学物理系 合肥 230026)

尹红兵 刘有信

(武汉邮电科学院 武汉 430074)

提要 首次尝试利用 981.5 nm 国产 LD 抽运掺 Yb^{3+} 双包层石英光纤, 在多个波长获得激光输出。其中在 1037 nm 获得 3.84 mW 的激光输出, 出光阈值为 3.58 mW, 激光斜效率为 55%, 激光空间模式为基横模。

关键词 LD 抽运, 双包层光纤, Yb^{3+} 掺杂, 基横模

1 引 言

光纤激光器能方便地延长增益介质的长度以使抽运光被充分吸收。这一特性使光纤激光器能在低抽运功率下运行。同时也使在低增益介质实现激光振荡成为可能; 再加之紧凑、小体积等特性, 引起了人们对它的研究兴趣。早期主要集中于掺钕或掺铒光纤激光器的研究。由于掺 Yb^{3+} 光纤激光器具有宽的吸收谱、增益带宽和调谐范围等特性, 因而逐渐引起了人们的关注^[1-3]。特别是用半导体激光器(LD)抽运的掺 Yb^{3+} 光纤激光器具有稳定、全固化、小体积等特点, 激起了人们对它的研究热情^[4]。但 LD 激光与单模光纤的耦合效率较低, 双包层光纤为这一问题的解决提供了途径。有人曾用钛宝石激光作抽运源对掺 Yb^{3+} 双包层光纤激光器进行过研究^[5]。本文报道了我们对 LD 抽运的掺 Yb^{3+} 双包层光纤激光器的实验研究结果。

2 双包层光纤结构及特点

如图 1 所示, 双包层光纤由纤芯(芯径典型值约 $4 \mu\text{m}$)、内包层(直径约十几微米或几十微米)和外包层构成。折射率沿径向变化为纤芯大于内包层, 而内包层大于外包层。抽运光在内包层中传播, 并以折线方式反复穿越掺杂纤芯, 而激光则在掺杂纤芯内传播。较小的芯径能保证所输出的激光空间模式为基横模, 较大的内包层口径则有利于抽运光耦合。普通单模光纤则由纤芯(芯径典型值约 $4 \mu\text{m}$)和单一包层构成, 抽运光和激光都在纤芯内传播。因

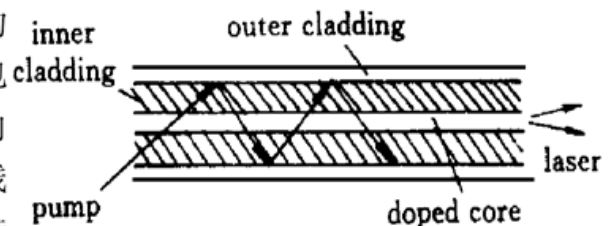


图 1 双包层光纤结构图

Fig. 1 Concept of the double-clad fiber

此当用 LD 作抽运源时, 采用双包层光纤便于抽运光与光纤之间的耦合, 且有较普通单模光纤大得多的耦合效率。

3 实验与结果

实验中采用 F-P 腔结构, 如图 2 所示。前腔镜对激光(1020~1120 nm) $R > 97\%$, 对抽运光(980 nm) $T > 80\%$; 后腔镜则分别采用具有不同反射率的腔镜依次进行实验, 其反射带在 1020~1100 nm 之间。抽运光经非球面透镜(焦距约 3 mm)准直后, 再经显微物镜(20 \times)聚焦耦合入前腔镜后的光纤。

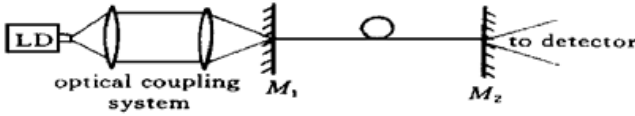


图 2 实验装置图

Fig. 2 Experimental setup

实验所用光纤为武汉邮电科学院研制的双包层掺 Yb³⁺ 石英光纤。其芯径为 4 μm , 内包层直径为 11 μm , 所用光纤长度为 18 m。掺杂浓度约为 $1.8 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 。抽运源为中国科学院半导体研究所提供的半导体激光器。其中心波长为 981.5 nm, $\delta\lambda = 1.6 \text{ nm}$, 最大输出功率为 56 mW。

把抽运光调制成脉宽约 3 ms 的方波后, 用 PIN 管接收光纤输出激光, 随后用示波器观察并记录呈阻尼振荡式的弛豫振荡波形。在观察弛豫振荡后, 利用光栅单色仪、光电倍增管及 X-Y 记录仪, 记录双包层光纤激光器输出的激光光谱。首先采用反射率为 95% 的后腔镜。当光纤吸收抽运功率为 2.6 mW 时, 出现激光振荡。激射波长为 1045 nm, 半功率宽度为 5.6 nm, 激光斜效率约 14%。当用 X-Y 记录仪研究激光光谱随抽运功率的变化时发现, 激光中心波长不随抽运功率改变。但抽运吸收功率为 6.22 mW 时, 又同时记录到第二个激光峰, 其中心波长为 1026 nm。当吸收抽运功率为 8.38 mW 时, 第三个激光峰出现, 其中心波长为 1064 nm。图 3 (a) 所示为抽运吸收功率为 9.5 mW 时记录的激光光谱。由图 3 (a) 可知, 左右两波峰与中间波峰相隔的距离几乎相等, 即都为约 19 nm。随后改用反射率为 75% 的后腔镜, 激光阈值为 3.58 mW, 激光中心波长为 1037 nm, 半功率宽度为 2.2 nm, 如图 3 (b) 所示。当吸收抽运功率为 10.6 mW 时, 获得 3.84 mW 激光输出, 激光斜效率约 55%, 如图 4 所示。当吸收抽运功率大于 9.2 mW 后在现有抽运条件下, 在 1032 nm 处, 有时能观察到第二个激光峰, 而有时则该峰不出现。之后再改用反射率为 50% 的后腔镜。激光阈值为 7.4 mW, 激光中心波长为 1024

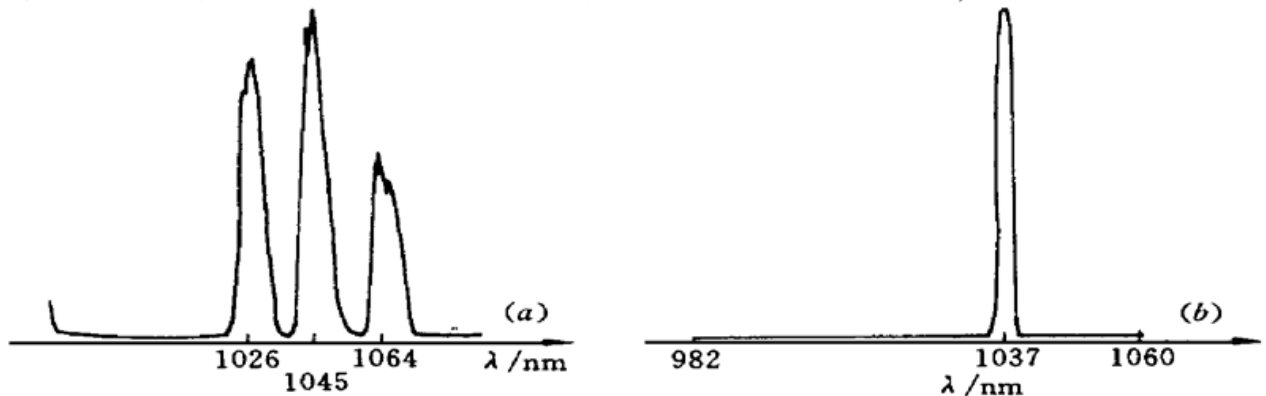


图 3 掺 Yb 双包层光纤激光器激光光谱

Fig. 3 Lasing spectrum of Yb-doped double-cladding fiber laser

(a) $R_2 = 0.95$, $P_{th} = 2.6 \text{ mW}$, $P_{abs} = 9.53 \text{ mW}$; (b) $R_2 = 0.75$

nm, 半功率宽度为 1.46 nm, 当吸收抽运功率为 10.29 mW 时, 获得 1.84 mW 激光输出, 激光斜效率约 66%。在抽运源所允许的条件下增大抽运功率, 使用反射率为 50% 的后腔镜没有观察到第二个激光峰。以上实验还发现, 当腔镜反射率减小、抽运阈值升高时, 输出激光之半功率宽度变窄。对弛豫振荡波形进行研究时发现, 随着后腔镜反射率降低, 弛豫振荡波周期变大。而对于确定的腔镜反射率, 弛豫振荡波周期随抽运功率增大。图 5 为后腔镜反射率为 75%, 抽运吸收功率为 4.7 mW 时记录的弛豫振荡波形。当滤去抽运光后, 用上转换板观察输出激光的空间模式, 由此判断所输出激光的空间模式为基横模。

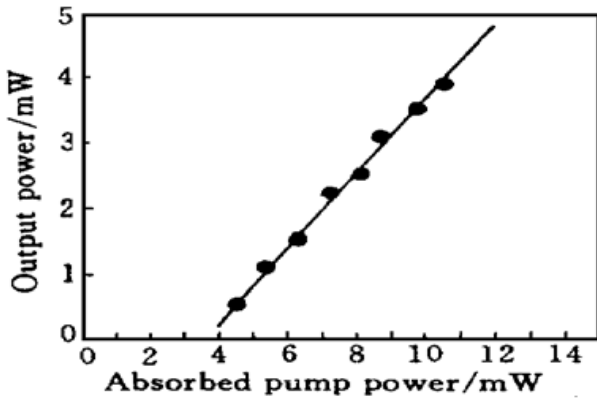


图 4 掺 Yb 双包层光纤激光器输出特性图

Fig. 4 Output power against absorbed pump power for the Yb-doped double-cladding fiber

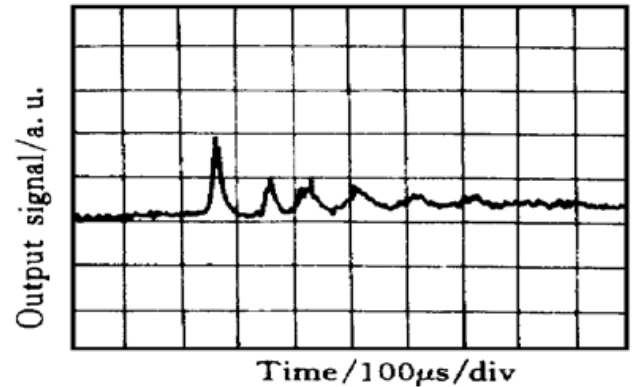


图 5 掺 Yb 双包层光纤激光器弛豫振荡波形

Fig. 5 Relaxation oscillation waveform of Yb-doped double-cladding fiber laser

以上所述抽运吸收功率为光纤实际所吸收的抽运功率, 其数值按如下方法确定, 即用耦合入光纤中的抽运功率减去光纤末端出射的剩余抽运功率。为确定光纤末端出射的剩余抽运功率, 在功率计探斗前放置二片滤光片(在 1000~ 1120 nm 区, $R > 90%$; 在小于 1000 nm 区, $T > 80%$)。入纤抽运功率及抽运耦合效率则如下确定, 在实验结束前剪断光纤, 在前腔镜后留下约 10 cm 长光纤。依次改变 LD 输出功率并逐次记录光纤出射抽运功率, 然后移掉光纤直接记录前腔镜后的抽运功率。依据以上数据则可得出入纤抽运功率及抽运耦合效率。

4 结论与分析

利用 981.5 nm LD 抽运掺 Yb³⁺ 双包层石英光纤, 采用不同反射率的后腔镜获得了多个波长的激光输出。从激光阈值、斜效率、激光输出功率及空间模式看, 以上激光器的性能是优良的。较大的外包层口径使抽运耦合效率达约 35%, 而较小的芯径使输出激光空间模式为基横模。为在同样的截止波长以上获得基横模, 若利用普通掺 Yb³⁺ 单模石英光纤在同样的耦合系统中只能获得约 11% 的抽运耦合效率。利用反射率为 75% 的后腔镜在 1037 nm 获得了 3.84 mW 激光输出。为获得更大功率的激光输出, 可选择具有更大内包层口径的掺 Yb³⁺ 双包层石英光纤以获得更大的抽运耦合效率。在此基础上若再采用多条阵列大功率 LD 将能极大地提高激光输出功率。从实验结果可看出, 由于 F-P 腔中存在的空间烧孔效应, 在腔损耗及阈值较低情况下, 掺 Yb³⁺ 石英光纤激光器容易导致多波长激光振荡。因此为获得高功率激光输出又不致出现多波长激光振荡, 需在掺 Yb³⁺ 双包层石英光纤激光器中采用光纤光栅以选择和限制振荡波长。

参 考 文 献

- 1 J. Y. Allain, M. Monerie, H. Poignant. Ytterbium-doped fluoride fibre laser operating at 1.02 μm . *Electron. Lett.*, 1992, **28**(11): 988~ 989
- 2 J. R. Armitage, R. Wyatt, B. J. Ainslie *et al.*. Highly efficient 980 nm operation of an Yb^{3+} -doped silica fibre laser. *Electron. Lett.*, 1989, **25**(5): 298~ 299
- 3 D. C. Hanna, R. M. Percival, I. M. Perry *et al.*. An ytterbium-doped monomode fibre laser: broadly tunable operation from 1.010 μm to 1.162 μm and three-level operation at 974 nm. *J. Modern Optics*, 1990, **37**(4): 517
- 4 A. Asseh, H. Storoy, J. T. Kringlebotn *et al.*. 10 cm Yb^{3+} DFB fibre laser with permanent phase shifted grating. *Electron. Lett.*, 1995, **31**(12): 969~ 970
- 5 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. *Electron. Lett.*, 1994, **30**(11): 863~ 865

LD Pumped Yb^{3+} -doped Double-cladding Fiber Laser

Chen Bai Chen Lanrong Lin Zunqi Chen Shaohe

(*Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800*)

Ming Hai Xu Lixin Xie Jianping

(*Physics Department, University of Science and Technology of China, Hefei 230026*)

Yin Hongbin Liu Youxing

(*Wuhan Research Institute of Posts and Telecommunication, Wuhan 430074*)

Abstract A double-cladding Yb^{3+} -doped silica fiber laser pumped by LD is reported. The laser outputs are obtained in several wavelengths. The laser output of 3.84 mW at 1037 nm was obtained with a pump threshold of 3.58 mW and a slope efficiency of 55%. The spatial profile of laser is single spatial mode.

Key words LD pump, Yb^{3+} -doping, double-cladding, single spatial mode