

# 高功率、低量子亏损同带抽运掺镱光纤放大器

姜曼 肖虎 周朴<sup>†</sup> 王小林 刘泽金

(国防科学技术大学光电科学与工程学院, 长沙 410073)

(2012年8月23日收到; 2012年9月3日收到修改稿)

开展了基于同带抽运的高功率、低量子亏损的掺镱光纤放大器实验研究. 搭建了一台输出功率为 21 W 的 1018 nm 短波长掺镱光纤激光器, 并利用其对双包层掺镱光纤进行同带抽运, 获得 18.6 W 的 1080 nm 波段激光输出, 光-光转换效率高达 90.86%.

**关键词:** 光纤放大器, 同带抽运, 双包层光纤, 转换效率

**PACS:** 42.55.Wd

**DOI:** 10.7498/aps.62.044210

## 1 引言

随着光纤制作的工艺水平以及高亮度半导体激光器二极管 (LD) 抽运技术的快速发展, 单根双包层光纤激光器的输出功率得到了飞速的提高<sup>[1-7]</sup>. 然而, 抽运过程中的量子数亏损和 LD 有限的亮度这两个因素制约了单根光纤的最大输出功率<sup>[6,7]</sup>. 采用传统的利用 LD 直接抽运掺镱光纤激光器的方式, 所获得的最大输出功率将被限制在千瓦级水平<sup>[8]</sup>. 因此, 为了能够进一步提高单根光纤激光器的输出功率, 就需要从抽运源的亮度和量子效率两个方面着手. 一种比较有效的解决方案就是利用短波长掺镱光纤激光器抽运掺镱光纤的同带抽运的方式<sup>[8]</sup>. 一方面, 与 LD 的波长相比, 抽运光的波长与输出激光的波长更加接近, 这样就使得激光器的量子数亏损减小, 热效应降低. 另一方面, 抽运光的亮度比 LD 抽运光源的亮度要高很多, 良好的光束质量有利于激光器对于抽运光的吸收, 提高了光光转换效率. 目前国际上最高功率的光纤激光器即是利用多束 1018 nm 光纤激光对掺镱光纤进行同带抽运实现的<sup>[9]</sup>.

由于 1018 nm 波段的吸收截面和发射截面的大小几乎一样, 并且远小于常规波段 (1060—1130 nm)<sup>[10]</sup> 的发射截面, 这就使得它很容易出现受

激自发辐射 (ASE) 和自激现象. 因此, 在国内外有关该波段光纤激光器的研究报道为数不多. 在国外, IPG 公司已实现 300 W 量级的 1018 nm 掺镱光纤激光器, 但未报道有关该激光器实验的细节和数据. 在国内, 2011 年, Li 等<sup>[11]</sup> 报道了 7.5 W 的空间结构 1018 nm 光纤激光器, 斜率效率约为 16%. 同年, Liu 等<sup>[12]</sup> 报道了输出功率为 113 W 的 1018 nm 光纤放大器, 斜率效率为 77%. 在 1018 nm 波段同带抽运方面, Xiao 等<sup>[13]</sup> 报道了一台瓦量级同带抽运高效率光纤放大器, 斜率效率约为 80%. 目前还未见瓦量级以上更高功率的实验报道.

本文报道一台基于短波长掺镱光纤激光器抽运掺镱光纤的同带抽运的高功率、低量子亏损掺镱光纤放大器. 搭建一台高效率、全光纤结构的 1018 nm 激光器, 并用其对掺镱光纤进行同带抽运, 对 1080 nm 波段激光进行高效放大, 最终获得了 18.6 W 1080 nm 波段激光输出, 光-光转换效率高达 90.86%, 充分体现了同带抽运低量子亏损的优势.

## 2 高功率 1018 nm 激光光源

实验中采用的 1018 nm 激光光源的结构如图 1 所示. 整个系统为全光纤结构. 振荡器由高反射率光纤布拉格光栅 (HR FBG) 和低反射率光纤布拉格

<sup>†</sup> 通讯作者. E-mail: zhoupu203@163.com

光栅 (LR FBG) 共同组成. 抽运源为稳波长 LD, 输出激光的中心波长为 976 nm. 激光二极管发出的抽运光经合束器, 通过 HR FBG 到掺镱光纤中, 再经过 LR FBG 实现激光输出.

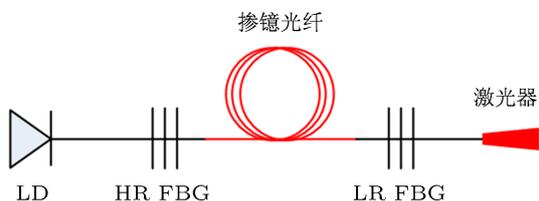


图1 1018 nm 光纤激光器结构图

激光器的输出光谱和功率特性曲线分别如图 2(a) 和 (b) 所示. 在最大抽运功率为 28.6 W 时, 得到了 21 W 1018 nm 光纤激光输出, 光 - 光转换效率为 73.4%. 此时, 抽运光得到了充分吸收, 输出光谱成分中没有残余抽运光和 ASE 成分.

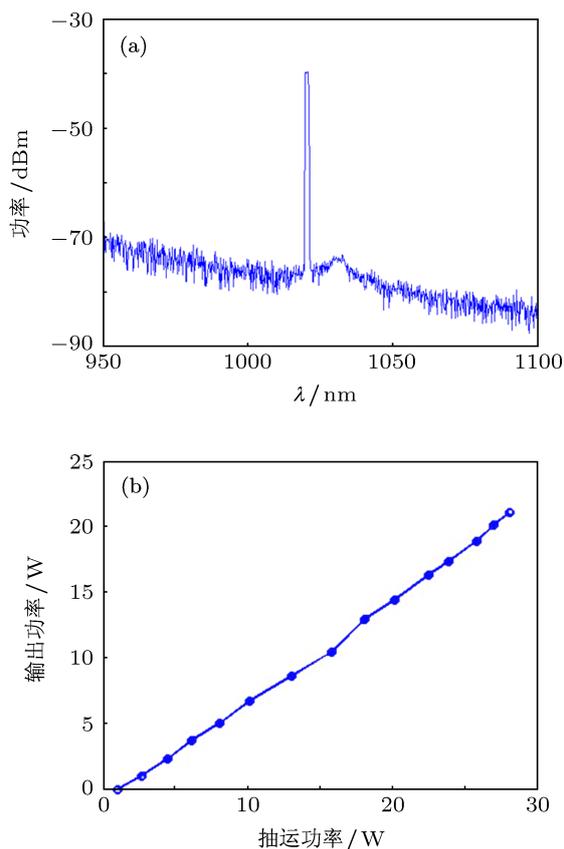


图2 1018 nm 光纤激光器输出特性 (a) 光谱特性; (b) 功率特性

### 3 高效率同带抽运实验

基于同带抽运的高功率、低量子亏损的掺镱光纤放大器的结构如图 3 所示. 1018 nm 激光和

1.9 W 的 1080 nm 种子激光经一个 1018 nm/1080 nm 的波分复用器 (WDM) 注入到增益光纤中. 放大器输出光纤端面研磨成  $8^\circ$  斜角以抑制自激振荡. 需要说明的是, WDM 对 1018 nm 的抽运光和 1080 nm 的种子光都有一定的损耗. 当 1018 nm 抽运光注入功率为 21 W 时, 经过 WDM 后输出功率为 18.6 W; 当种子光注入功率为 1.9 W 时, 经过 WDM 后输出功率为 1.7 W.

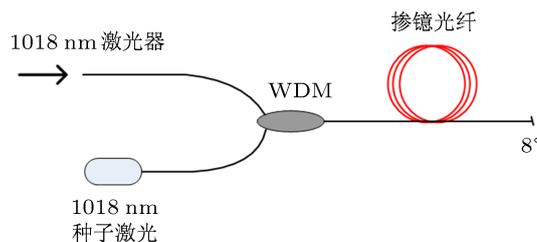


图3 同带抽运放大器结构图

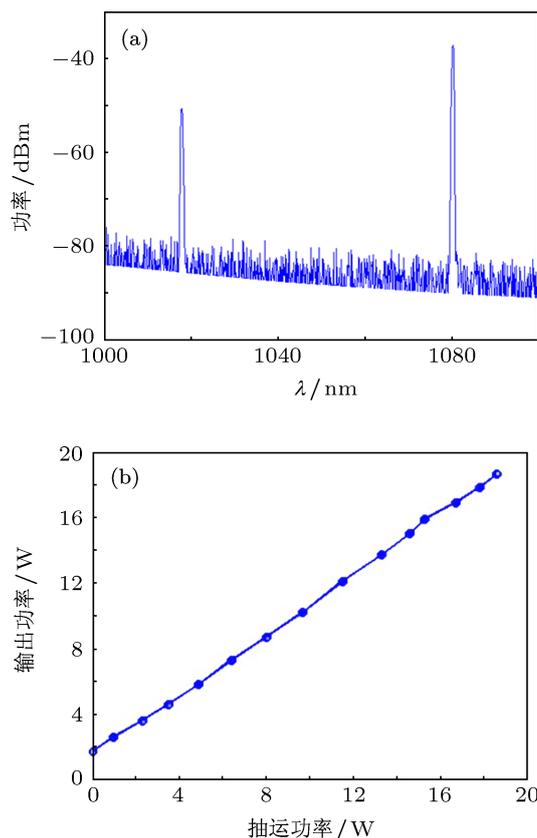


图4 同带抽运实验结果 (a) 最大输出功率时的光谱; (b) 1080 nm 激光输出功率特性曲线

实验中, 首先开启 1080 nm 种子激光, 逐步增加 1018 nm 抽运光的功率, 并实际监测输出激光的光谱. 随着抽运功率的增加, 1018 nm 的激光能被掺杂光纤有效吸收, 并将 1080 nm 信号光进行放

大. 当注入的 1018 nm 抽运光功率为 18.6 W 时, 放大器输出光谱如图 4(a) 所示. 残余 1018 nm 抽运光成分比 1080 nm 信号光低 15 dB, 可以认为抽运光基本被完全吸收. 1080 nm 激光输出功率随注入的 1018 nm 抽运光的功率变化的曲线如图 4(b) 所示. 当 1018 nm 激光的最大注入功率为 18.6 W 时, 获得了 18.6 W 的 1080 nm 激光输出, 扣除 1.7 W 的种子光成分后. 计算可得本文搭建的同带抽运掺镱光纤放大器转换效率达到 90.86%.

## 4 结论

开展了基于同带抽运的高功率、低量子亏损的掺镱光纤放大器实验研究. 搭建了一台输出功率为 21 W 的 1018 nm 短波长掺镱光纤激光器, 并利用其对双包层掺镱光纤进行同带抽运, 获得 18.6 W 的 1080 nm 波段激光输出, 光 - 光转换效率高达 90.86%. 本文的实验结果为百瓦级以及更高功率掺镱光纤同带抽运奠定了基础.

- 
- [1] Limpert J, Liem A, Zellmer H 2003 *Electron. Lett.* **39** 645
- [2] Jeong Y, Sahu J K, Payne D N 2004 *Opt. Express* **12** 6088
- [3] Limpert J, Fabian R, Klingebiel S 2007 *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.* **13** 537
- [4] Kilowatt Laser Amplifier Platform [EB/OL] [http://www.nufern.com/kilowatt\\_amp.php](http://www.nufern.com/kilowatt_amp.php)
- [5] Horley R, Norman S, Zervas M N 2007 *Proc. SPIE* **6738** 67380K
- [6] Lou Q H, Zhou J, Zhang H B, Yuan Z J 2010 *Chin. J. Lasers* **37** 2235 (in Chinese) [楼祺洪, 周军, 张海波, 袁志军 2010 中国激光 **37** 2235]
- [7] Dong X L, Xiao H, Ma Y X, Zhou P, Guo S F 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 064207 (in Chinese) [董小林, 肖虎, 马阎星, 周朴, 郭少锋 2012 物理学报 **61** 064207]
- [8] Richardson D J, Nilsson J, Clarkson W A 2010 *J. Opt. Soc. Am. B* **27** 63
- [9] Stiles E 2009 *Proceedings of the 5th International Workshop on Fiber Lasers* Dresden, Germany, September 30–October 1, 2009
- [10] Kurkov A S 2007 *Laser Phys. Lett.* **4** 93
- [11] Li Z, Zhou J, He B 2011 *Chin. Opt. Lett.* **9** 091401
- [12] Liu Z J, Xiao H, Zhou P, Wang X L, Chen J B 2012 *Chin. J. Laser* **39** 0305009 (in Chinese) [刘泽金, 肖虎, 周朴, 王小林, 陈金宝 2012 中国激光 **39** 0305009]
- [13] Xiao H, Leng J Y, Wu W M, Wang X L, Ma Y X, Zhou P, Xu X J, Zhao G M 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 124207 (in Chinese) [肖虎, 冷进勇, 吴武明, 王小林, 马阎星, 周朴, 许晓军, 赵国民 2011 物理学报 **60** 124207]

# High power and low quantum-defect Yb-doped fiber amplifier based on tandem pumping

Jiang Man Xiao Hu Zhou Pu<sup>†</sup> Wang Xiao-Lin Liu Ze-Jin

(College of Optoelectronic Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

(Received 23 August 2012; revised manuscript received 3 September 2012)

## Abstract

We show experimentally that a tandem-pumped Yb-doped fiber amplifier with high power and low quantum-defect can be reached. And a high power 21 W output power at 1018 nm is demonstrated finally. We use this 1018 nm fiber laser as a pumping source of the 1080 nm fiber laser to demonstrate the tandem-pumped double-cladding Yb-doped fiber amplifier, and obtain an output power of 18.6 W at 1080 nm with a slope efficiency of 90.86%.

**Keywords:** fiber amplifier, tandem pump, double cladding fiber, conversion efficiency

**PACS:** 42.55.Wd

**DOI:** 10.7498/aps.62.044210

---

<sup>†</sup> Corresponding author. E-mail: zhoupu203@163.com