

单包层掺镱光纤吸收特性的实验研究

姜 曼 肖 虎 周 朴* 王小林 刘泽金

(国防科学技术大学光电科学与工程学院, 湖南 长沙 410073)

摘要 对单包层掺镱光纤的吸收特性进行了实验研究。分析了抽运光功率、掺杂光纤长度以及种子光功率对单包层掺镱光纤吸收能力的影响。研究发现吸收饱和时,抽运光每增加 100 mW,掺杂光纤可再吸收 40~60 mW 的抽运光,且随着抽运光功率的继续增加,吸收系数趋于某一定值;长度越长,吸收饱和情形下掺杂光纤的再吸收能力越强,光纤的吸收系数越大;注入种子光能明显提高掺杂光纤对抽运光的吸收能力。

关键词 光纤光学;单包层光纤;吸收系数;饱和吸收

中图分类号 TN248 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL201340.0605003

Experimental Study on Ytterbium-Doped Single-Cladding Fiber Absorption Characteristics

Jiang Man Xiao Hu Zhou Pu Wang Xiaolin Liu Zejin

(College of Opto-Electronic Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha, Hunan 410073, China)

Abstract The absorption characteristics of ytterbium-doped single-cladding fiber are studied experimentally. The effects of pump power, fiber length and seed power on the absorption characteristics are analyzed. The results indicate that, under the situation of absorption saturation, the fiber can resorb 40~60 mW pump power for every 100 mW increase of pump power, and the absorption coefficient tends to a constant with the increase of pump power. The re-absorption capacity and the absorption coefficient of the fiber can be improved with the increase of the fiber length. Besides, it is another way to significantly improve absorption ability of pump light that injecting seed light.

Key words fiber optics; single-cladding fiber; absorption coefficient; saturation absorption

OCIS codes 060.2310; 060.2320; 060.2270

1 引 言

随着光纤制作的工艺水平以及高亮度半导体激光二极管(LD)抽运技术的发展,单根光纤激光的输出功率得到快速提高^[1~4]。掺杂光纤对抽运光的吸收系数是掺杂光纤的重要参数,决定了光纤激光器中使用的掺杂光纤的长度。而掺杂光纤的长度将影响激光器的输出功率、效率以及非线性阈值等特性^[5~8]。由于光纤长度和注入的抽运功率的变化,掺杂光纤对于抽运光的吸收能力也会发生相应的改变^[10]。因此需要对光纤的吸收特性进行更加深入

的实验研究。

本文从抽运光功率、掺杂光纤长度以及种子光功率三个因素对掺杂光纤吸收特性的影响进行了实验研究,为深入理解掺杂光纤的吸收系数提供参考。

2 实验系统与内容

实验系统的结构如图 1 所示。中心波长为 974 nm 的 LD 单模抽运源经过分束比为 90:10 的耦合器以及波分复用器 WDM1 进入初始长度为 1 m 的单包层掺镱光纤(YDF)中,1030 nm 的种子光经

收稿日期: 2012-12-22; 收到修改稿日期: 2013-02-27

作者简介: 姜 曼(1990—),女,硕士研究生,主要从事光纤激光器方面的研究。E-mail: jiangman7@126.com

导师简介: 刘泽金(1963—),男,博士,教授,主要从事高能激光技术方面的研究。E-mail: zejinliu@nudt.edu.cn

* 通信联系人。E-mail: zhoupu203@163.com

过 WDM1 耦合到 YDF 中,再经 WDM2 输出;在没有种子光时,产生的放大自发辐射(ASE)也可由 WDM2 输出。实验通过测量输出的 974 nm 的抽运光功率值来确定掺杂光纤的吸收参数。需要指出的

是,实验中采用的商用 YDF 标称的吸收系数为 200 dB/m;采用分束比为 90:10 的耦合器的目的在于对输入抽运光功率进行实时监测。

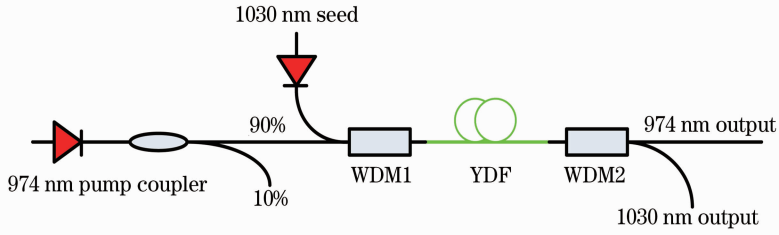


图 1 实验装置图

Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup

实验所采用的测试方法如下:

1) 选定掺杂光纤的长度 L 为 1 m,注入掺杂光纤中的种子光功率 P_s 为 0,抽运光功率 P_p 从 10~300 mW 逐渐变化,分别对 974 nm 的输出功率进行测量,分析注入的抽运光功率对掺杂光纤吸收特性的影响。

2) 采用同样的光纤长度,分别注入 0、2、4、6、8、10、20 mW 的 1030 nm 种子光,对 974 nm 的输出光功率进行测量;分析种子光对掺杂光纤吸收特性的影响;

3) 改变掺杂光纤的长度分别为 0.9、0.8、0.7、0.6、0.5 m,重复步骤 1)和步骤 2),对 974 nm 的输出光功率进行测量,分析不同长度的掺杂光纤的吸收特性。

在实验中定义单包层掺镱光纤的吸收系数为 $A = -10\lg(P_e/P)$,其中 P_e 表示掺杂光纤实际吸收后剩余的抽运光功率, P 表示注入到掺杂光纤中抽运光的总功率。

3 实验结果与分析

3.1 抽运光功率和光纤长度对掺杂光纤吸收特性的影响

当种子光功率为 0,即不加种子光时,分别选定光纤长度为 0.9、0.8、0.7、0.6、0.5 m,抽运光的功率从 10~300 mW 逐渐变化,对 974 nm 的输出光功率进行测量,得到的掺杂光纤实际吸收的抽运光随注入的抽运光功率及掺杂光纤长度之间的函数关系如图 2 所示。

从图 2 可以看出,当抽运功率从 10~300 mW 逐渐变化时,掺杂光纤长度越长,对抽运光吸收的能力

越强。抽运功率为 200、250、300 mW 时,1 m 的掺杂光纤比 0.5 m 的掺杂光纤多吸收 70 mW 左右的抽运光。在抽运光功率从 150~300 mW 变化的过程中,掺杂光纤对抽运光的吸收分别随抽运功率的增长和光纤长度的增加呈线性增加的趋势。图 3 进一步显示抽运光功率范围为 150~300 mW 时掺杂光纤吸收能力随抽运光功率的变化曲线以及掺杂光纤吸收能力随光纤长度的变化曲线。

从图 3(a)可以看出,当抽运光吸收不完全时,增加抽运光功率,掺杂光纤能够再多吸收一部分抽运光,且光纤越长再吸收能力越强。例如,当掺杂光纤长度为 1 m 时,每增加 100 mW 抽运光,可再多吸收 70 mW 左右的抽运光。从图 3(b)可以看出,当抽运光功率分别为 200、250、300 mW 时,掺杂光纤长度逐次增加 10 cm,光纤可再多吸收 10~20 mW 的抽运光。

根据上文所给出的单包层掺杂光纤吸收系数的

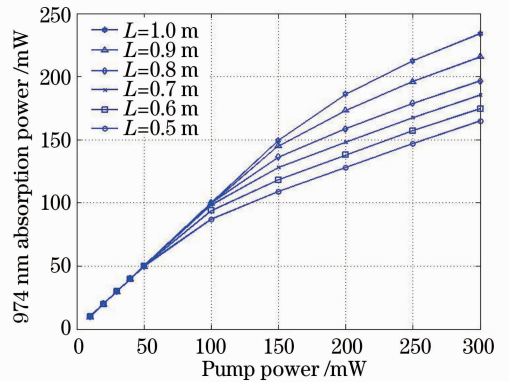


图 2 不同光纤长度下吸收光功率与抽运光功率的关系

Fig. 2 Relationship between absorption power and pump power in different fiber lengths

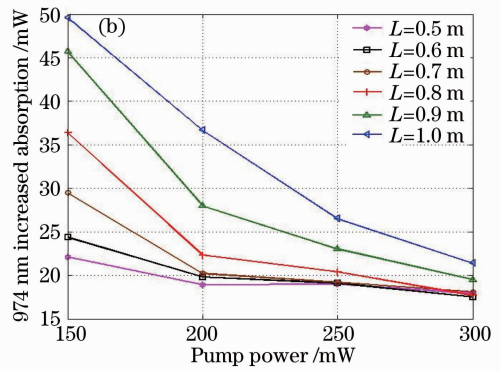
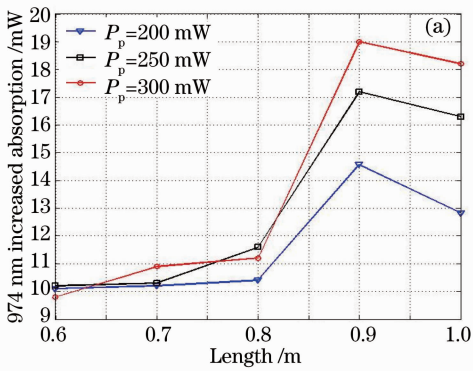


图3 吸收能力变化曲线。(a) 掺杂光纤的吸收能力随抽运光功率的变化曲线；
(b) 掺杂光纤吸收能力随光纤长度的变化曲线

Fig. 3 Absorption capacity curves. (a) Relationship between absorption capacity and fiber length in different pump powers; (b) relationship between absorption capacity and pump power in different fiber lengths

定义,可计算得到无种子光条件下,掺杂光纤的吸收系数随光纤长度和抽运功率的关系曲线,如图4所示,从图中可以看出,当抽运光的功率大于300 mW时,掺杂光纤的吸收系数为10 dB~20 dB。

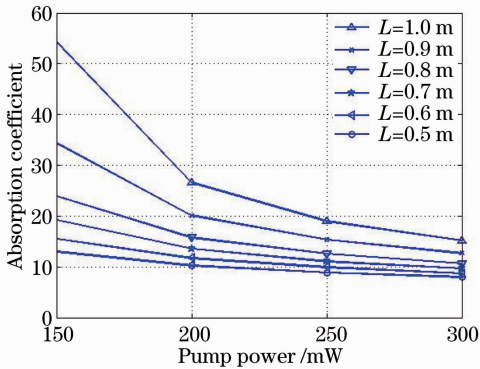


图4 吸收系数曲线

Fig. 4 Absorption coefficient curves

以上实验结果表明,掺杂光纤越长,光纤的吸收系数越大;随着抽运光功率的持续增加,光纤能继续吸收一部分抽运光,最终吸收系数趋于某一定值。

3.2 种子光对掺杂光纤吸收特性的影响

选定长度为0.5 m的掺杂光纤进行有种子光条件下的吸收特性实验研究。定义饱和吸收点为实际测量到的剩余抽运光功率为1 mW时所对应的抽运光功率值。当注入的种子光功率分别为0、2、4、6、8、10、20 mW时,所对应的饱和吸收点的关系曲线如图5所示。

由图5可以看出,种子光功率越大,掺杂光纤的饱和吸收点所对应的抽运功率值越大。这表明增加种子光功率能够提高掺杂光纤对抽运光的吸收能力。

而在有种子光条件下,吸收的抽运光功率与抽

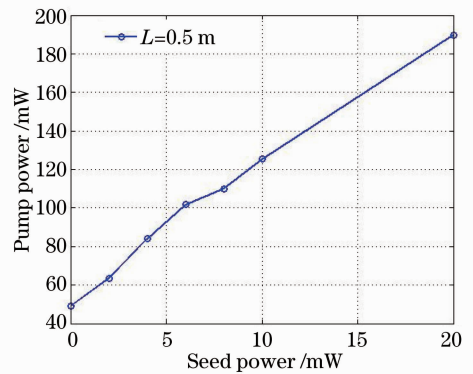


图5 不同种子光下的饱和吸收点

Fig. 5 Saturation absorption points for different seed powers

运功率的关系曲线如图6所示,其中抽运光功率为300 mW,光纤长度为0.5 m。

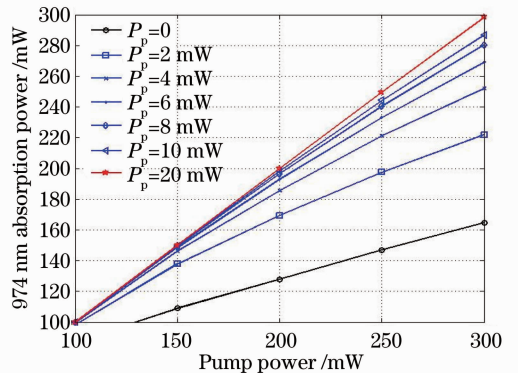


图6 不同种子光功率下吸收的抽运光功率与抽运功率的关系

Fig. 6 Relationship between absorption power and pump power in different seed powers

从图6中可以看出,种子光功率越大,掺杂光纤对抽运光的吸收越完全。在300 mW的抽运功率条件下,种子光功率为20 mW时比种子光功率为

2 mW时,掺杂光纤能够多吸收约 80 mW 的抽运光。在掺杂光纤长度为 0.5 m,抽运光功率为 300 mW的条件下,吸收的抽运光功率随种子光功率的变化曲线如图 7 所示。

从图 7 中可以看出,在光纤长度与抽运光功率一定的条件下,种子光功率越高,掺杂光纤能够多吸收的抽运光越多。当种子光功率为 2 mW 时比没有种子光时,掺杂光纤能够多吸收约 57 mW 的抽运光。实验结果表明,种子光功率对 YDF 的吸收能力具有重要影响。

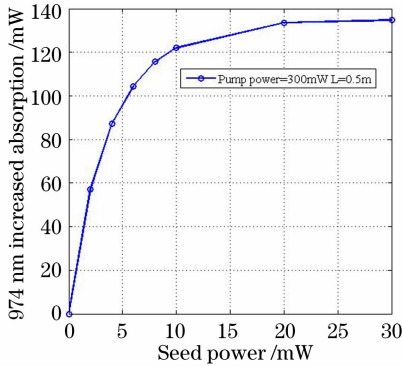


图 7 掺杂光纤吸收能力与种子光功率的关系

Fig. 7 Relationship between absorption capacity and seed power

4 结 论

实验研究了 YDF 的吸收特性,分析了抽运光功率、掺杂光纤长度以及种子光功率对 YDF 吸收能力的影响。研究发现吸收饱和时,抽运光每增加 100 mW,掺杂光纤可再吸收 40~60 mW 的抽运光,且随着抽运光功率的继续增加,吸收系数趋于某一定值;掺杂光纤长度越长,再吸收能力越强,光纤的吸收系数越大;注入种子光能明显提高掺杂光纤

对抽运光的吸收能力。因此,在光纤激光器中为了有效利用抽运光功率,提高掺杂光纤的吸收能力,应该选择合适的抽运光功率和光纤长度,同时适当注入种子光。该实验结果为深入理解掺杂光纤的吸收系数提供参考,对光纤激光器和放大器的系统搭建具有指导意义。

参 考 文 献

- 1 D. J. Richardson, J. Nilsson, W. A. Clarkson. High power fiber lasers: current status and future perspectives[J]. *J. Opt. Soc. Am. B*, 2010, **27**(11): B63~B92
- 2 A. S. Kurkov. Oscillation spectral range of Yb-doped fiber lasers [J]. *Laser Phys. Lett.*, 2007, **4**(2): 93~102
- 3 Ido Kelson, Amos Hardy. Optimization of strongly pumped fiber lasers[J]. *J. Lightwave Technol.*, 1999, **17**(5): 891~897
- 4 Lou Qihong, Zhou Jun, Zhang Haibo *et al.*. Recent progress of large-core fiber lasers [J]. *Chinese J. Lasers*, 2010, **37**(9): 2235~2241
楼祺洪, 周 军, 张海波 等. [J]. *中国激光*, 2010, **37**(9): 2235~2241
- 5 Huang Bangcai, Ning Ding, Han Jun *et al.*. Study of ytterbium-doped double-clad fiber absorption characteristics[J]. *Chinese J. Lasers*, 2005, **32**(11): 1473~1477
皇榜才, 宁 鼎, 韩 军 等. 掺镱双包层光纤的吸收特性的研究 [J]. *中国激光*, 2005, **32**(11): 1473~1477
- 6 Fu Yongjun, Mao Xiangqiao, Peng Jian *et al.*. Measurement of pump absorption of rare-earth doped double-clad fiber[J]. *Chinese J. Lasers*, 2010, **37**(1): 166~170
傅永军, 毛向桥, 彭 健 等. 稀土掺杂双包层光纤的抽运吸收的测试[J]. *中国激光*, 2010, **37**(1): 166~170
- 7 Anping Liu. Stimulated brillouin scattering in single-frequency fiber amplifiers with delivery fibers [J]. *Opt. Express*, 2009, **17**(17): 15201~15209
- 8 Leng Jinyong. Theoretical and Experimental Research on Narrow-Linewidth Fiber Amplifier [D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2011. 33~44
冷进勇. 窄线宽光纤放大器的理论和实验研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2011. 33~44
- 9 J. Kim, Daniel B. S. Soh, J Nilsson *et al.*. Fiber design for high-power low-cost, Yb : Al-doped fiber laser operating at 980 nm[J]. *IEEE J. Sel. Top. Quantum. Electron.*, 2007, **13**(3): 588~597

栏目编辑: 王晓琰