

文章编号: 1001-5078 (2007) 05-0424-03

低阈值的 1053nm 光纤激光器

杜戈果, 贾年华, 邵宏贤, 黎大军
(深圳大学电子科学与技术学院, 广东 深圳 518060)

摘要:采用国产激光二极管泵浦和国产掺镱 (Yb) 双包层光纤, 研制了 1053nm 光纤激光器。谐振腔由光纤光栅和平面输出镜组成。通过 3 种不同实验方案的对比, 实现了低阈值的光纤激光器, 阈值泵浦功率 1mW, 并分析了激光光谱随光谱仪分辨率的变化, 对正确选择分辨率提出了一些建议。

关键词: 光纤激光器; 1053nm; 阈值; 光谱仪

中图分类号: TN248

文献标识码: A

1053nm Fiber Laser with Low Threshold

DU Ge-guo, JIA Nian-hua, SHAO Hong-xian, LI Da-jun

(College of Electron Science and Technology, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China)

Abstract: A 1053nm double cladding fiber laser was made with low threshold. The cavity consists of a grating and a dichromatic mirror. All components of the laser are made in China. Three different experiments were carried out and analyzed. The threshold is about 1mW. It is also discussed that how to correctly use the optical spectrum analyzer. Low resolution is needed for fluorescent spectrum and high resolution for laser spectrum.

Key words: fiber laser; 1053nm; threshold; optical spectrum analyzer (OSA)

1 引言

掺 Yb³⁺ 石英光纤具有增益带宽宽、上能级寿命长、量子效率高和无激发态吸收等特点。激光输出波长在 1010~1162nm 范围内可调谐, 其中由于 1053nm 波长的特殊用途, 使得此波段的光纤激光器的研究具有非常大的意义。本文全部采用国产元件, 实现了 1053nm 光纤激光器的低阈值运转。

2 工作原理

镱 (Yb) 元素是一种稀土元素, 在元素周期表中排 70 位, 其原子的电子结构为 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^{10} 4f^{14} 5s^2 5p^6 6s^2$, 在失去 6s 支壳层上的 2 个电子和 4f 支壳层上的 1 个电子后, 其最外层电子组态为 $4f^{13}$, 以 3 价离子的形式掺杂在一些晶体或玻璃基质中。因为 4f 支壳层上有 13 个电子, 缺 1 个就填满了, 使得 Yb³⁺ 的能级与单电子结构相同。根据洪特 (Hund) 定则, 很容易判断其基态的光谱项为 $^3F_{7/2}$, 激发态为 $^3F_{5/2}$, 能级结构简单, 如图 1 所

示^[1]。在室温和周围基质电场作用下, 基态和激发态分别分裂为 4 个和 3 个斯塔克 (Stark) 子能级, 当 Yb³⁺ 离子受到光粒子的激发, 发生了能级的跃迁, 从激发态能级 $^3F_{5/2}$ 中最低的子能级向基态能级 $^3F_{7/2}$ 中的各子能级的跃迁, 产生 1010~1162nm 波长的激光辐射。1053nm 波长的辐射跃迁对应于 d→b、c 能级, 这是一种准四能级系统。

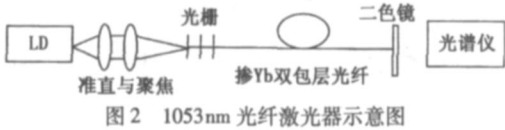
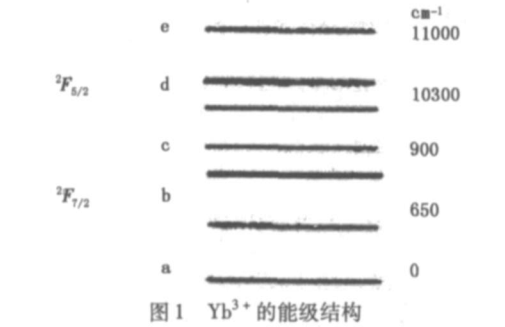
3 实验装置

图 2 为实验装置结构图。作为泵浦源的半导体激光器由中国科学院半导体所研制, 中心波长是 974nm, 线宽为 2nm。掺 Yb 双包层光纤的各项参

基金项目: 深圳市南山区科技局资助项目、深圳大学校内项目。

作者简介: 杜戈果 (1971 -), 女, 光学专业副教授, 清华大学光电技术专业毕业, 中国科学院西安光学精密机械研究所光学专业理学博士, 复旦大学物理站博士后, 2001 年到深圳大学任教, 从事本科生与研究生的教学工作和科研工作。主要研究方向为光纤激光技术。E-mail: dugeguo@szu.edu.cn

收稿日期: 2006-10-02



数为:纤芯直径 6.0 μm ,内包层直径 12 μm ,纤芯数值孔径 0.17,内包层数值孔径 0.17,吸收系数(波长 920nm) 3~20 dB/m,由烽火通信科技股份有限公司提供。作为前腔镜的光纤光栅由上海紫珊光电技术有限公司提供,中心波长为 1053.183nm,反射率大于 99%,3dB 带宽为 0.110nm。后腔镜有 M_1 和 M_2 两种,其参数见表 1,由中国大恒集团光学薄膜中心提供镀膜。测量用光谱仪为原信息产业部电子第四十一研究所生产的 AV6361 型光谱仪,最小分辨率 0.1nm,测量范围为 0.6~1.75 μm 。

表 1 后腔镜的参数

	编 号	对泵浦光的参数	对激光的参数
M_1	WX020814 - 40	$R > 90\% @ 974\text{nm}$	$R > 99\% @ 1053\text{nm}$
M_2	WX020618 - 24	$T > 90\% @ 974\text{nm}$	$R > 96\% @ 1053\text{nm}$

4 实验结果与分析

一共进行了 3 组实验。实验方案见表 2。

表 2 三种实验方案的比较

	前腔镜	光纤长度/m	后腔镜	阈值泵浦电流 I_{th}/mA	中心波长 $\lambda/\mu\text{m}$	激光输出功率 P/mW (读数取自光谱仪) ($I_p=2A$)
方案一	光纤光栅	10	M_1	1067	1.0532	36.14
方案二	光纤光栅	10	M_2	1227	1.0532	169.6
方案三	光纤光栅	18	M_2	1056	1.0536	539.3

经过简单的换算,三种实验方案对应的入纤阈值泵浦功率分别为 1.09mW,1.36mW 和 1.07mW,比采用二色镜作为前腔镜时的阈值有所降低^[2]。方案二与方案一相比,因为腔镜 M_2 对激光的透过率比腔镜 M_1 大一些,所以阈值有所增加,但也大大提高了激光输出。前两种方案情况下,观察到剩余泵浦光较大,如图 3、图 4 所示。分析认为前两种方

案下所用的光纤(10m)稍短所致,故采用稍长的光纤(18m)进行研究。从光谱图中看到,在泵浦电流 1300mA 时,剩余泵浦光已小于激光;在泵浦电流 1900mA 时,剩余泵浦光大大减少,如图 5(a)、(b)所示。

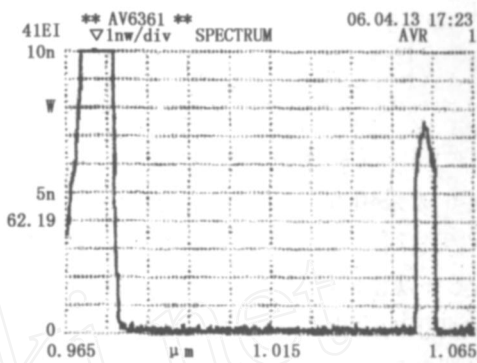


图 3 采用方案一时的激光光谱($I=1400\text{mA}$)

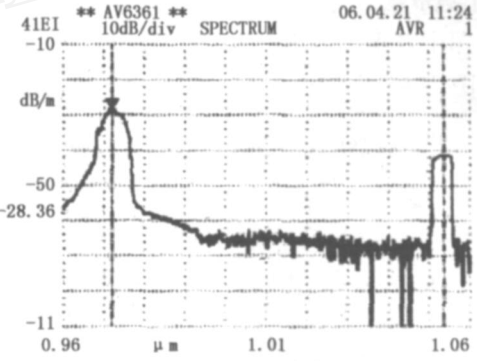


图 4 采用方案二时的激光光谱($I=1400\text{mA}$)

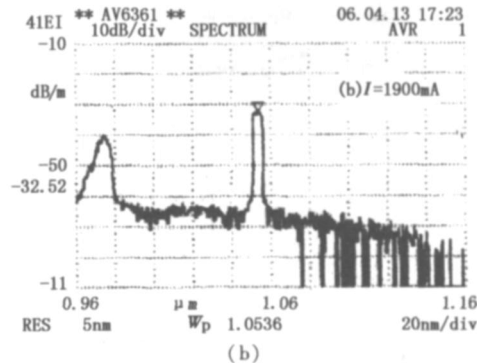
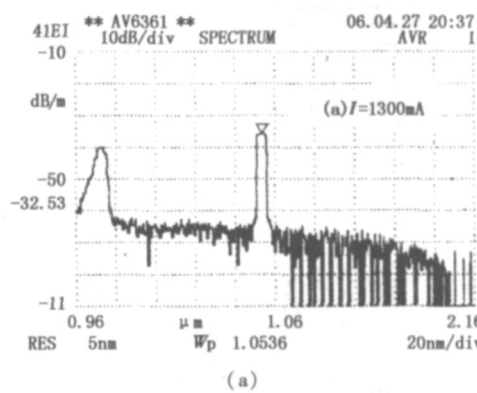


图 5 采用方案三时的激光光谱

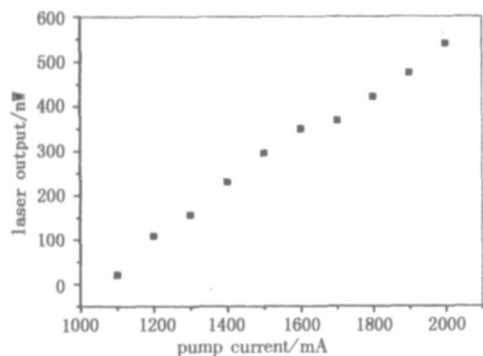


图 6 激光器的输出特性曲线

图 6 为采用方案三时测量的输出功率与泵浦电流的关系曲线。在输出端,直接将输出光耦合进了光谱仪,所以纵坐标的取值为光谱图中激光谱的峰值而非真正的输出功率值。该曲线一定程度上反映了激光器的输出特性。

在测量激光光谱时发现,选择光谱仪的不同分辨率(图中左下角的 RES),得到的光谱宽度是不同的,如图 7(a), (b), (c), (d), (e)和 (f)所示。

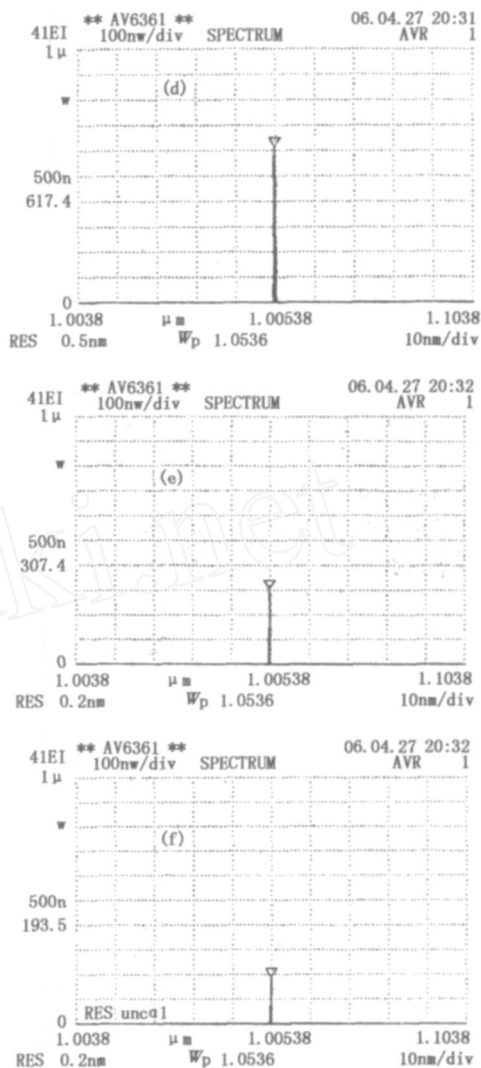
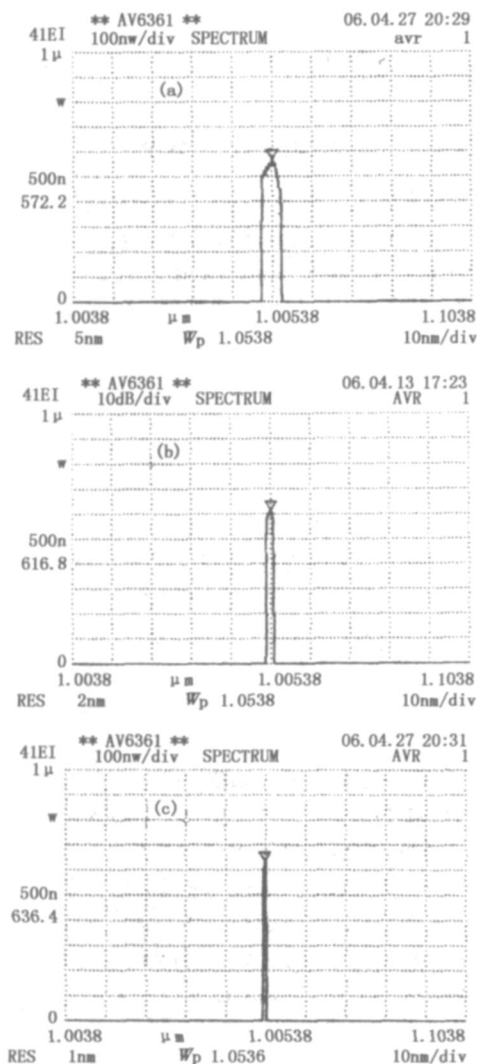


图 7 不同光谱仪分辨率时所测得的激光光谱

AV6361型光谱仪只能提供 6 种分辨率,分别为 5nm, 2nm, 1nm, 0.5nm, 0.2nm 和 0.1nm。图 7 的 6 张图片是在同一泵浦功率下,每间隔最多 1min 扫描得到的。光谱仪的分辨率,一方面包含了入口处狭缝宽度的涵义。分辨率越低,RES 的数值越大,狭缝越宽,进入的光能越多。所以对于从图 7(a)到图 7(f),随着分辨率的提高,进入的光能越少,图中相应纵坐标的值应该越小。从图中看到,也确实具有如此的趋势(图 7(a)、(b)有例外,反映了扫描的随机性)。另一方面,分辨率反映了光谱仪分辨光谱细微之处的能力。分辨率越高,越能看到光谱的细微变化;而且光谱仪只能“看到”比自己的分辨率数值宽的光谱。对图 7 的 6 张图片,从光谱宽度看,随着分辨率的提高,激光光谱越来越窄。从激光原理的知识可知,对于理想的单纵模激光器,其光谱宽度是一个确定的值,不会随测量工具而变化的。实验观

(下转第 429 页)

从图 2不难看出,在泵浦光功率为 10.50W 时,最高输出可达 15mW。

图 4是 355nm 脉冲输出光斑的空间分布图形,表明了 355nm 脉冲紫外光光斑接近于 TEM₀₀模。

以上实验都是在重复频率为 1kHz的情况下进行的,当重复率在 (0.2~5) kHz变化时,激光器也能正常运转,并未出现多脉冲现象。

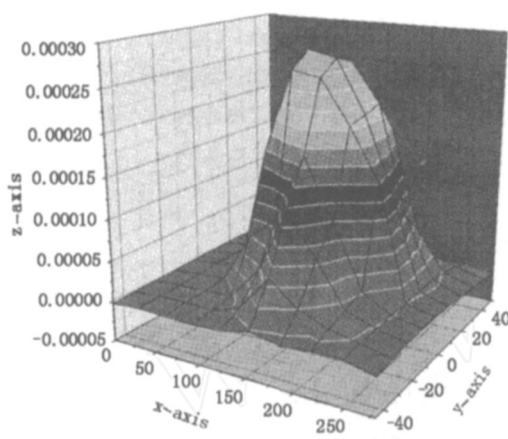


图 4 355nm 输出激光光斑的空间分布图形

3 结 论

当二极管输入电流 10W,电光 Q 开关重复频率

为 1kHz时,355nm 激光的平均输出功率为 15mW,脉宽为 20ns。输出功率稳定性较好,当重复率在 (0.2~5) kHz之间变化时,激光器也能正常运转,并未出现多脉冲现象。

参考文献:

- [1] E C Honea, et al Opt Lett [J], 1998: 1203
- [2] Liu Junhai, et al Efficient 15W Nd:YVO₄ solid-state single-end-pumped by a fiber-coupled diode-laser-array[J]. Chin Phys Lett, 1999, B8(5): 121.
- [3] 宋标,等.量子电子学报,2004,21(1): 15
- [4] 宋标,等.5kHz电光调 Q LD端面泵浦 Nd:YVO₄ 绿光激光器[J].激光与红外,2006,36(2): 102 - 103
- [5] A Yariv Quantum Electronics[C]//2nd ed New York Wiley, 1975: 333
- [6] G D Goodno, Z Guo, et al Investigation of β -BaB₂O₄ as a Q switch for high power applications[J]. Appl Phys Lett, 1995, 66(13): 1575 - 1577.
- [7] Chris A Ebers Linear electro-optic effect in β -BaB₂O₄ [J]. Appl Phys Lett, 1988, 52(23): 1948 - 1949.
- [8] Y R Shen The principles of nonlinear optics[M]. New York: John Wiley & Sons, 1984: 83

(上接第 426 页)

察到的现象,反映了本文所研究的光纤激光器并不是单纵模的激光器。从图 2看到,激光器的谐振腔由光纤光栅和二色镜组成。工作物质镱离子发射光谱比较宽,而且二色镜也是一个宽带元件,因此对光谱带宽的限制主要由光栅决定。光栅的选频作用把自由振荡的激光光谱的中心波长拉向与光栅的中心波长保持一致,光栅的带宽限制激光光谱的带宽。在图 7(a)中看到,激光光谱宽度约 5nm,这实际上包含了几个纵模在内,每个纵模的宽度都小于 5nm。因为光谱仪的分辨率不够,我们不能看到模式竞争的现象。中心波长由 1.0536 μ m 到 1.0538 μ m 的跳变,也反映了模式竞争是存在的。图 7(f)的情况,测量的是某一个纵模的谱宽,只看到一条直线,说明此纵模的宽度与此时的分辨率 0.1nm 相当或小一些。因光谱仪分辨率有限,不能看到光谱的更细微之处。因此在使用光谱仪时,可以遵循两个原则:在测量、观察 Yb 离子的荧光谱时,选用较低的分辨率,可以比较快地看到较宽的荧光谱;测量激光光谱时,则应选择较高的分辨率。也可以推

广到其他类似的激光器的光谱测量中。

5 小 结

通过三种实验方案,研究了 1053nm 光纤激光器的特性。将光纤光栅与二色镜组成谐振腔,实现了激光器的低阈值运转。通过对实验结果的分析,在以下几个方面还有待于进一步改善实验方案,以得到更好的实验结果。第一,从光谱看到,剩余泵浦光还是稍大,不能被忽略,因此光纤长度可能需要再长一些;第二,二色镜的反射率对激光输出并不是最佳的,还需要通过实验与理论计算来确定;第三,需要分辨率更高的光谱仪来测量激光光谱。另外,分析了激光光谱随光谱仪分辨率的变化,对正确使用光谱仪提出了一点建议。

参考文献:

- [1] D C Hanna, R M Percival, I R Perry, et al Yb-doped monomode fiber laser: broadly tunable operation from 1.010 μ m to 1.62 μ m and 3-level operation at 974nm [J]. Journal of modern Optics, 1987, 37: 329 - 331.
- [2] 杜戈果,阮双琛,罗烽,等.国产 LD 泵浦掺 Yb 双包层光纤光谱特性研究[J].激光与红外,2004,34(2): 149 - 152