

文章编号 : 0253-2239(2002)09-1129-03

激光二极管抽运的 Er^{3+} 、 Yb^{3+} 共掺磷酸盐 玻璃激光器*

柳祝平 胡丽丽 戴世勋 祁长鸿 姜中宏

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

提要: 系统研究了 Er^{3+} 、 Yb^{3+} 共掺磷酸盐玻璃的激光性质, 利用激光二极管抽运, 成功地实现了 Er^{3+} 、 Yb^{3+} 共掺磷酸盐玻璃激光器的连续运转。在室温下所得到的激光最大输出功率达 43 mW, 斜率效率为 10.6%, 激光光谱范围为 1516 nm ~ 1547 nm, 峰值波长为 1533 nm。

关键词: 二极管抽运; Er^{3+} 、 Yb^{3+} 共掺磷酸盐玻璃; 连续激光器

中图分类号: TN248.1+2 文献标识码: A

1 引 言

由于钇玻璃激光器所发射的激光波段位于 1.54 μm 附近, 为眼睛最安全的波段, 因而广泛应用于军事和测距等领域。该波段也处于通信窗口, 因而也被用于光纤通信领域^[1]。

目前从事 1.54 μm 钇玻璃激光器研究的单位中比较突出的有意大利的 Laporta 教授领导的科研小组以及美国的 Kigre 公司, 前者以实验室的研究为主, 而后者则更侧重于产品的开发。国内也有一些单位在进行这方面的研究工作, 但所用的钇玻璃不是自己研制的, 天津南开大学利用 Kigre 公司提供的 Yb^{3+} 、 Er^{3+} 共掺磷酸盐玻璃作为激光介质, 在 1.54 μm 附近得到了 10 mW 的激光输出^[2]。

我们应用自己研制出的 Yb^{3+} 、 Er^{3+} 共掺磷酸盐玻璃作为激光介质, 用激光二极管抽运, 在 1.54 μm 附近成功地实现了激光连续运转。

2 激光材料

激光材料中 Er^{3+} 的掺杂质量分数分别为 $w = 0.13 \times 10^{-2}$ 、 0.50×10^{-2} 、 0.01 , Yb^{3+} 的掺杂质量分数为 0.1, 根据所含 Er^{3+} 离子的浓度不同, 分别加工成厚度不同的几种样品。

用 PERKIN-ELMER UV/VIS/NIR LAMDA 9 分光光谱仪测试材料在 974 nm 附近的吸收光谱。

用发光波长为 976 nm、输出功率为 500 mW 的激光二极管作抽运光源测量 Er^{3+} 离子在 1.4 μm ~ 1.7 μm 范围的荧光光谱和荧光寿命。抽运光从端面入射, 荧光信号从样品侧面发出, 与抽运光成直角。发射信号经过一个截止波长为 1.2 μm 的滤波片、单色仪、探测仪器和锁相放大器后, 分别传递到记录仪和示波器上, 以记录荧光光谱和测定荧光寿命。

图 1 和图 2 分别为三种玻璃在 974 nm 附近的吸收光谱和在 1.4 μm ~ 1.7 μm 范围的荧光光谱。

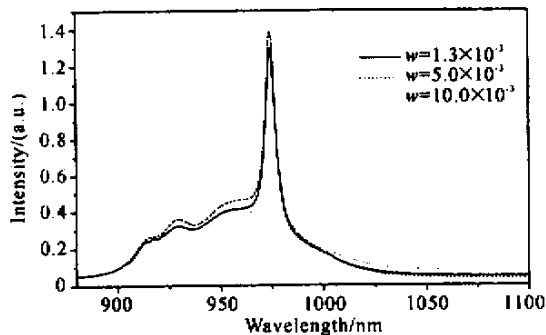


Fig. 1 Absorption spectrum of Er^{3+} , Yb^{3+} codoped phosphate glass from 880 nm to 1100 nm

由吸收光谱可见, 玻璃在 870 nm ~ 1100 nm 波段有一个很宽的吸收带, 这可以保证其对抽运光的充分吸收。由荧光光谱图可见, 玻璃在 1.4 μm ~ 1.6 μm 的荧光强度随着钇离子的浓度增加而增加, 而半高宽随钇离子浓度的增加而减小。

表 1 为计算和测试所得的三种玻璃的光谱数据。

* 国家自然科学基金(69988006)资助课题。

E-mail: liuzp121@citiz.net

收稿日期: 2001-08-03; 收到修改稿日期: 2001-10-29

Table 1. Spectrum properties of the three kinds of laser glass

mass fraction $w / 10^{-3}$	1.3	5.0	10.0
absorption coefficient at $974\text{nm}/\text{cm}^{-1}$	9.80	9.14	9.32
fluorescence linewidth (FWHM)/nm	46.50	35.25	33.00
fluorescence lifetime/ms	7.8	8.1	7.9

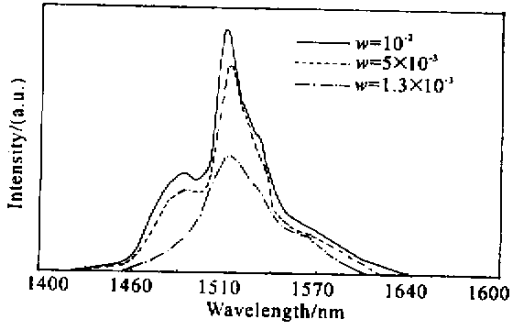


Fig.2 Fluorescence spectrum of Er^{3+} , Yb^{3+} codoped phosphate glass

3 实验装置

激光器由激光二极管抽运源、两个准直透镜、钕玻璃样品、输出耦合镜和两个滤波片组成,如图3所示。所用抽运源为中国科学院北京半导体研究所研制的 InGaAs 半导体激光器,输出波长为 974nm ,最大抽运功率为 2W 。谐振腔长 10mm ,光斑直径约 $200\mu\text{m}$ 。钕玻璃被加工成 $10\text{mm} \times 20\text{mm} \times x$ ($x = 1\text{mm}, 2\text{mm}, 3\text{mm}$),两大面抛光,并镀膜,一面对 974nm 高透(透过率大于 92%)对 1530nm 高反(反射率高于 99.9%)以用作激光谐振腔的全反镜,而另一面对 1530nm 增透、在 970nm 透过率为 70% 。输出耦合镜在 1530nm 附近范围内透过率小于 0.4% 而在 970nm 附近透过约 55% 。大约有 30% 的抽运光从输出耦合镜出射,两个滤波片 1 和 2 的作用是滤掉抽运光。最后从滤波片出来的激光功率通过能量计来测量。激光波长用单色仪测量。

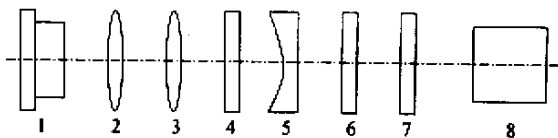


Fig.3 Experimental setup of the LD pumped Er^{3+} , Yb^{3+} codoped phosphate glass laser. 1: LD, 2, 3: collimating lens, 4: bulk Er, Yb: glass, 5: output coupler, 6: filter 1, 7: filter 2, 8: detector

4 实验结果与讨论

钕离子在 $1.5\mu\text{m}$ 为三能级系统因而要求亚稳

态的粒子数大于基态的粒子数。但是这样会导致对抽运光的激发态吸收,从而不利于激光器的高效率^[3]。为了避免这种情况的产生,可有两种抽运源。

$1.48\mu\text{m}$ 的 InGaAsP/InP 激光器由于技术较成熟,已大量用作抽运源;而 20 世纪 90 年代出现的 InGaAs 二极管激光器为掺钕玻璃激光器的发展带来了新机遇。这种激光器有噪声系数低,受温度影响小等优点。此外,它的激光波长在 980nm ,正对应于 Yb 的激发态能级,使得抽运能量能有效地通过 Yb^{3+} 传递给 Er^{3+} 。

图 4 分别为在不同厚度和浓度的情况下,抽运能量与激光输出的关系。

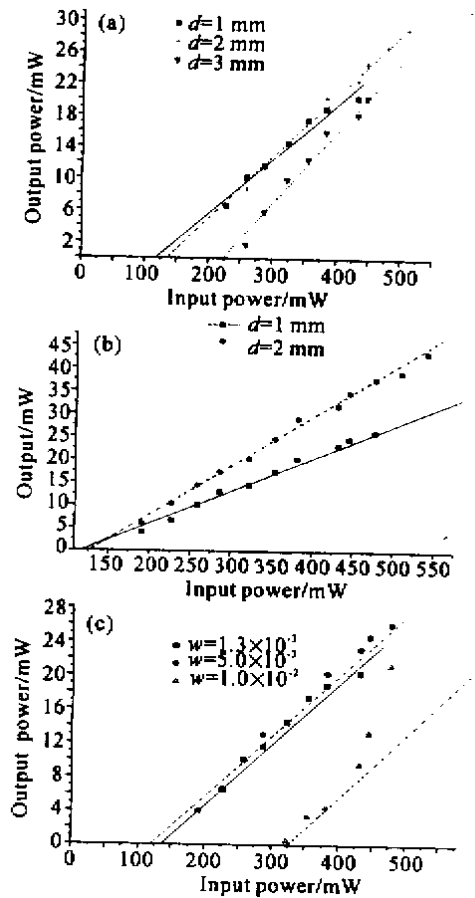


Fig.4 Relationship between the pump and output power. (a) $w_{\text{Er}} = 1.3 \times 10^{-3}$; (b) $w_{\text{Er}} = 5.0 \times 10^{-3}$; (c) $d = 1\text{mm}$

由图 4(a)图 4(b)可以看出,钕离子掺杂的质量分数 w 分别为 1.3×10^{-3} 和 5.0×10^{-3} 的情况下,抽运效率和阈值都随激光介质厚度的增加而增加。这可能是由两个因素所导致的,一方面,厚度增加,玻璃对抽运光的吸收较充分,使得抽运效率增加,另一方面,厚度的增加加剧了钕离子的自吸收,从而使得激光阈值增加。

图 4(c) 为厚度相同的情况下不同铒离子浓度的铒玻璃激光性质的变化图。玻璃的厚度 d 为 1 mm。由图可见, 在相同厚度条件下, 抽运效率和抽运阈值随铒的浓度的增加而增加, 在铒的掺杂质量分数为 1.0×10^{-2} 时最大, 分别为 12.4% 和 327 mW。这是由于当 Er 的浓度太低时一方面铒对 Yb 传递的能量吸收不充分, 另一方面使得处于激光上能级的粒子数量减少, 从而使得激光的产生变得相对困难。但是, 当铒离子的浓度超过一个最大值后, 随着其浓度增加, 激光阈值及抽运效率会变低^[4], 这是因为 Er 离子自身在 1540 nm 波段有吸收, 当 Er 的浓度增加到一定程度时, 这种自吸收会导致处于激光上能级的粒子数减少, 从而使激光阈值提高。

由实验结果还可知, 厚度为 1 mm、铒掺杂的质量分数 $w = 5.0 \times 10^{-3}$ 的玻璃激光阈值最低, 为 108 mW, $w = 1.3 \times 10^{-3}$ 和 $w = 1.0 \times 10^{-2}$ 的玻璃最大输出功率差别不大, 分别为 20 mW 和 21 mW。在 $w = 5.0 \times 10^{-3}$ 、玻璃厚度为 2 mm 时激光最大输出功率最大, 为 43 mW。表 2 是根据图 4 和图 5 计算所得不同浓度和厚度的铒玻璃激光阈值、斜率效率和最大输出功率。

Table 2. Laser properties of the Er^{3+} , Yb^{3+} codoped phosphate glass

	thickness /mm	mass fraction for Er^{3+} doped / 10^{-2}	P_{th} /mW	η /%	W_{out}^{max} /mW
(1)	1	5.0	108.0	6.8	26
(2)		1.3	113.3	6.7	20
(3)	2	5.0	118.0	10.2	43
(4)		1.3	143.0	8.1	29
(5)	3	1.3	217.0	8.6	20
(6)	1	1.0	327	12.4	21

图 5 是通过单色仪测到的激光光谱图, 由图可以计算出激光的谱宽约 4.4 nm, 中心波长约为 1530 nm。

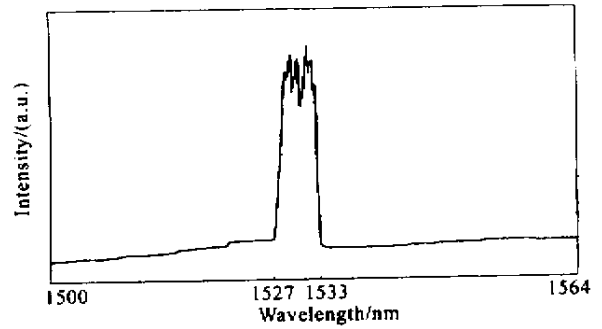


Fig. 5 Laser spectrum of Er^{3+} , Yb^{3+} phosphate glass pumped by InGaAs LD

结论 由计算结果可知, 铒离子掺杂的质量分数为 5.0×10^{-3} 、厚度为 2 mm 时, 各种激光性质较好。激光的阈值抽运功率为 118 mW, 最大输出功率为 43 mW, 斜率效率为 10.6%。实验测得的几种激光介质的激光阈值都较高, 这是由于抽运光汇聚到玻璃表面上的直径较大(约 200 μm), 但同时也因此能得到较高的激光输出而没有观察到玻璃内部及表面镀膜出现损伤。在以后的工作中我们需要采取多种手段如改善抽运光束的质量、改变抽运方式等, 同时优化镀膜参数, 进一步提高激光转换效率和激光输出功率, 并降低激光阈值。

参 考 文 献

- [1] Fromzel V, Kuchma I, Lunter S *et al.*. Efficiency and tuning of the erbium-doped glass lasers. *Proc. SPIE*, 1991, **1839**:166 ~ 172
- [2] Song Feng, Chen Xiaobo, Feng Yan *et al.*. Er, Yb codoped phosphate glass laser pumped by LD. *Chinese J. Lasers*(中国激光), 1999, **A26**(9):790 ~ 792 (in Chinese)
- [3] Laporta P, De Silvestri S, Magni V *et al.*. Diode-pumped CW bulk Er:Yb:glass laser. *Opt. Lett.*, 1991, **16**(24):1952 ~ 1954
- [4] Laporta P, Longhi S, Taccheo S *et al.*. Analysis and modelling of the erbium-ytterbium glass laser. *Opt. Commun.*, 1993, **100**(2) 311 ~ 321

Er^{3+} , Yb^{3+} Codoped Phosphate Glass Laser Pumped by LD

Liu Zhuping Hu Lili Dai Shixun Qi Changhong Jiang Zhonghong

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

(Received 3 August 2001; revised 29 October 2001)

Abstract: An Er^{3+} , Yb^{3+} codoped phosphate glass laser pumped by LD is demonstrated. The slope efficiency of 10.2% was obtained, with thresholds of 118 mW. The maximum output power is 43 mW. The laser spectral range is from 1527 nm to 1533 nm.

Key words: LD pumped; Er^{3+} , Yb^{3+} codoped phosphate glass, CW laser