

文章编号: 0258-7025(2010)11-2766-03

激光二极管阵列端面抽运混合腔 Nd:YVO₄板条 1064 nm 和 1342 nm 激光特性研究

张恒利 闫莹 刘洋 李静 辛建国

(北京理工大学光电学院, 北京 100081)

摘要 利用激光二极管(LD)阵列端面抽运 Nd:YVO₄板条晶体,结合稳定-非稳混合腔,实现了高功率、高效率、高光束质量的 1064 nm 和 1342 nm 激光输出。板条 Nd:YVO₄晶体掺杂原子数分数为 0.3%,尺寸 12 mm×10 mm×1 mm,*a*轴切割,*c*轴平行于 12 mm 方向。采用稳定-正支共焦非稳腔,在抽运功率为 265 W 时,得到了 123 W 的 1064 nm 连续激光输出,光-光转换效率和斜效率分别为 46.4%和 52.4%;在输出功率约为 100 W 时测得稳腔和非稳腔两个方向的 M^2 因子均为 1.3,输出功率不稳定性小于 1%。采用稳定-负支共焦非稳腔,在抽运功率为 139.5 W 时,得到 35.4 W 的 1342 nm 激光输出,光-光转换效率为 25.4%,在稳腔方向光束质量为 $M^2=1.23$;在非稳腔方向光束质量为 $M^2=1.14$ 。

关键词 激光器;激光二极管抽运;Nd:YVO₄晶体;板条激光器;混合腔

中图分类号 TN248.1 文献标识码 A doi: 10.3788/CJL20103711.2766

Laser Diode Stack End-Pumped Nd:YVO₄ Slab Laser with Hybrid Resonator at 1064 nm and 1342 nm

Zhang Hengli Yan Ying Liu Yang Li Jing Xin Jianguo

(School of Optoelectronics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract Laser diode stack end-pumped Nd:YVO₄ slab lasers with hybrid resonator operating at both 1064 nm and 1342 nm are demonstrated. The size of the atomic fraction of 0.3% doped Nd:YVO₄ slab crystal is 12 mm×10 mm×1 mm, which is cut along *a* axis and the *c* axis is parallel with the 12 mm direction. By using a stable-positive confocal unstable resonator, 123 W at 1064 nm and 35.4 W at 1342 nm laser output are realized with M^2 factor of 1.3 and the optical conversion efficiency of 46.6%, and its stability is better than 1%. With a stable-negative confocal unstable cavity, 35.4 W 1342 nm laser is obtained under the pump power of 139.5 W, with M^2 factor less than 1.3 and the optical conversion efficiency of 25.4%.

Key words lasers; laser diode pumped; Nd:YVO₄ crystal; slab laser; hybrid resonator

1 引 言

激光二极管(LD)端面抽运的全固态激光器由于其高效率、高光束质量、结构紧凑、系统稳定以及使用寿命长等优点受到了广泛的关注^[1]。但是对于传统的棒状增益介质中的热效应较为明显,严重影响了输出光束的光束质量,限制了激光器的输出功率,甚至会影响系统的稳定性。如何在高的输出功率下保持较好的光束质量一直是各国科研工作者研究的热点问题^[2]。

1998年,德国夫琅禾费激光技术所的 Keming Du等^[3]提出了部分端面抽运结合混合腔的板条激

光器,实现了高功率、高效率、高光束质量的激光输出^[3~7]。清华大学^[8,9]和中国科学院上海光学精密机械研究所的科研人员^[10~13]也对这一技术进行了实验研究,分别于 2005 年和 2008 年得到了 16 W^[8]和 41.5 W^[13]的 1064 nm 连续激光输出。

本文报道了利用 LD 阵列端面抽运混合腔板条 Nd:YVO₄ 1064 nm 和 1342 nm 激光的输出特性。

2 实验装置和实验结果

部分端面抽运混合腔 Nd:YVO₄板条激光器的实验装置如图 1 所示。抽运源为带快轴准直的 4-bar 激

光二极管阵列,通过循环水进行温度控制。抽运光通过耦合整形系统,在晶体的端面上获得一条沿水平方向均匀分布的尺寸约为 $0.4\text{ mm}\times 12\text{ mm}$ 的抽运线。板条 Nd:YVO₄ 晶体掺杂原子数分数为 0.3%,尺寸为 $12\text{ mm}\times 10\text{ mm}\times 1\text{ mm}$, a 轴切割, c 轴平行于 12 mm 方向。上下两个大表面($12\text{ mm}\times 10\text{ mm}$)作为冷却面,通过水冷紫铜热沉冷却。两个小端面($12\text{ mm}\times 1\text{ mm}$)为通光面,镀 808 nm , 1064 nm 和 1342 nm 增透膜。

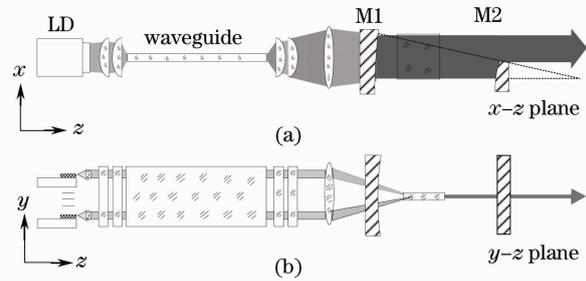


图1 LD端面抽运混合腔 Nd:YVO₄板条激光器实验装置示意图。(a)水平方向,(b)竖直方向

Fig. 1 Experimental setup of LD end-pumped Nd:YVO₄ slab laser with hybrid resonator. (a) horizontal direction, (b) vertical direction

2.1 1064 nm 的激光特性

谐振腔由曲率半径为 500 mm 的球面镜和 350 mm 的柱面镜组成,腔长 $L_1=75\text{ mm}$,腔在板条宽度方向为离轴正支共焦非稳腔,放大率 $M=R_1/R_2=1.43$,输出透射率 $T=1-1/M=30\%$,在厚度方向为稳腔。修正后的几何腔长约为 80 mm 。

在 LD 输出功率为 265 W 时,获得 123 W 高光束质量激光输出,斜率效率和光-光转换效率分别为 52.4% 和 46.4% 。输出功率随抽运功率变化关系曲线如图 2 所示。

在输出功率约为 100 W 时,将输出光束经过焦距为 350 mm 的透镜聚焦后,利用刀口法测量稳腔和非稳腔两个方向不同位置处的光斑直径,输出光

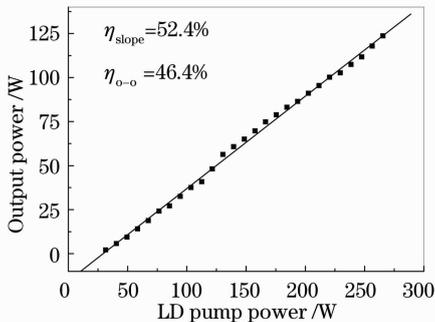


图2 输出功率随激光二极管抽运功率的变化
Fig. 2 Output power versus LD pump power

束两个方向的 M^2 因子可表示^[14]

$$d^2(z) = d_0^2 \left\{ 1 + \left[\frac{4M^2\lambda(z-z_0)}{\pi d_0^2} \right]^2 \right\}, \quad (1)$$

式中 d_0 为束腰处的光斑直径, z_0 为束腰位置, $z-z_0$ 为距束腰处的距离, $d(z)$ 为 z 位置处的光斑直径, λ 为输出激光波长。通过刀口法测量、计算得到稳腔方向和非稳腔两个方向的 M^2 因子均为 1.3 ,结果如图 3 所示。由于没有做光束整形,因此输出光束在两个方向上的光斑大小和焦点位置都有所不同。非稳方向的束腰和发散角约为 0.215 mm 和 1.7 mrad ,而稳腔方向则为 0.13 mm 和 2.9 mrad 。

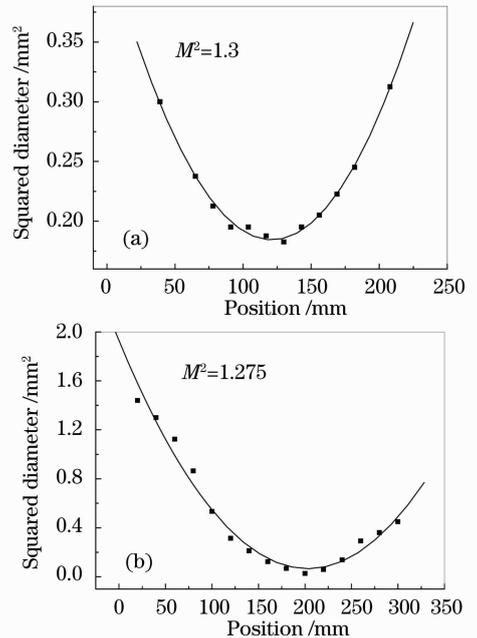


图3 输出功率 98 W 时光束质量 M^2 因子。

(a)非稳腔方向,(b)稳腔方向

Fig. 3 M^2 factor at output power of 98 W .

(a) unstable direction, (b) stable direction

2.2 1342 nm 的激光特性

谐振腔由曲率半径为 450 mm 和 400 mm 的球面镜组成,腔长 $L_2=425\text{ mm}$,腔在板条宽度方向为

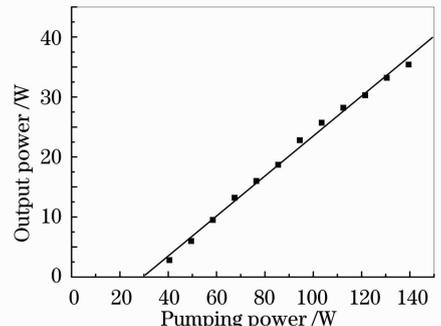
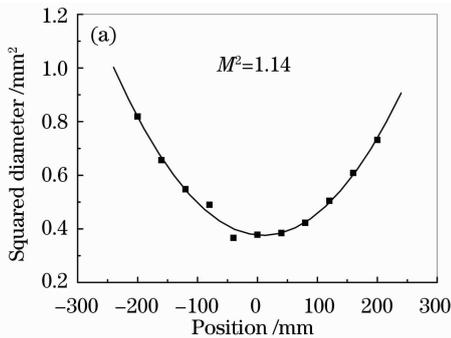


图4 输出功率随激光二极管抽运功率变化
Fig. 4 Output power as a function of LD pump power

离轴负支共焦非稳腔,放大率 $M=R_1/R_2=1.11$,输出透射率 $T=1-1/M=11\%$,在厚度方向为稳腔。在抽运功率为 139.5 W 时,得到 35.4 W 的 1342 nm 激光输出,光-光转换效率为 25.4%。实验



结果如图 4 所示。

在输出功率为 29 W 时,测量了激光束的光束质量,在稳腔方向光束质量为 $M^2=1.23$,在非稳腔方向光束质量为 $M^2=1.14$,实验结果如图 5 所示。

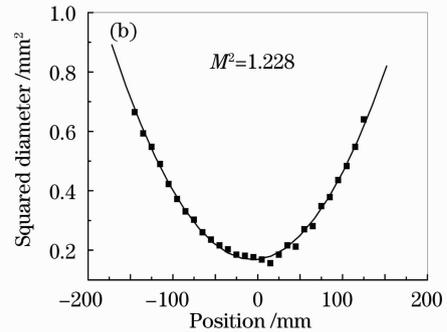


图 5 输出功率 29 W 时的光束质量 M^2 因子。(a)非稳腔方向,(b)稳腔方向

Fig. 5 Beam-quality measurements at output power of 29 W. (a) unstable direction, (b) stable direction

3 结 论

利用 LD 端面抽运 Nd:YVO₄ 板条晶体,结合混合腔,实现了高功率、高效率、高光束质量的 1064 nm 和 1342 nm 激光输出。在抽运功率为 265 W 时得到了 123 W 的 1064 nm 的连续激光输出,光-光转换效率和斜率效率分别为 46.4% 和 52.4%;在输出功率约为 100 W 时测得稳腔和非稳腔两个方向的 M^2 因子均为 1.3,输出功率不稳定性小于 1%。在抽运功率为 139.5 W 时,得到 35.4 W 的 1342 nm 激光输出,光-光转换效率 25.4%,在稳腔方向光束质量为 $M^2=1.23$;在非稳腔方向光束质量为 $M^2=1.14$ 。

参 考 文 献

- Zhang Hongrui, Gao Mingyi, Zheng Yi *et al.*. High power diode-end-pumped Nd:YVO₄ laser[J]. *Chinese J. Lasers*, 2004, **31**(1): 19~21
张红瑞,高明义,郑义等. 大功率激光二极管端面抽运的 Nd:YVO₄ 激光器[J]. *中国激光*, 2004, **31**(1): 19~21
- Zhou Shouhuan, Zhao Hong, Tang Xiaojun. High average power laser diode pumped solid-state laser[J]. *Chinese J. Lasers*, 2009, **36**(7): 1605~1618
周寿桓,赵鸿,唐小军. 高平均功率全固态激光器[J]. *中国激光*, 2009, **36**(7): 1605~1618
- Keming Du, Nianle Wu, Jiandong Xu *et al.*. Partially end-pumped Nd:YAG slab laser with a hybrid resonator [J]. *Opt. Lett.*, 1998, **23**(5): 370~372
- Keming Du, Daijun Li, Hengli Zhang *et al.*. Electro-optically Q-switched Nd:YVO₄ slab laser with a high repetition rate and a short pulse width[J]. *Opt. Lett.*, 2003, **28**(2): 87~89
- Peng Shi, Dianjun Li, Hengli Zhang *et al.*. An 110 W Nd:YVO₄ slab laser with high beam quality output[J]. *Opt. Commun.*, 2004, **229**(1-6): 349~354
- Peng Zhu, Daijun Li, Keming Du *et al.*. High efficiency 165 W

- near-diffraction-limited Nd:YVO₄ slab oscillator pumped at 880 nm[J]. *Opt. Lett.*, 2008, **33**(17): 1930~1932
- Daijun Li, Zhe Ma, Rüdiger Haas *et al.*. Diode-end-pumped double Nd:YLF slab laser with high energy, short pulse width, and diffraction-limited quality[J]. *Opt. Lett.*, 2008, **33**(15): 1708~1710
- Jin Qiang, Wei Xiaoyu, Gao Jiancun *et al.*. Diode end pumped hybrid cavity Nd:YVO₄ slab laser [J]. *Chinese J. Quantum Electronics*, 2005, **22**(4): 528~533
靳强,魏晓羽,高建存等. 连续 16 W 二极管端面抽运混合腔 Nd:YVO₄ 板条激光器[J]. *量子电子学报*, 2005, **22**(4): 528~533
- Wei Xiaoyu, Li Daijun, Wu Nianle *et al.*. An electro-optical Q-switched Nd:YVO₄ slab laser with intracavity beam compress by prism pair[J]. *Chinese J. Quantum Electronics*, 2005, **22**(4): 545~549
魏晓羽,李代军,吴念乐等. 棱镜组压缩腔内光束的电光调 Q Nd:YVO₄ 板条激光器[J]. *量子电子学报*, 2005, **22**(4): 545~549
- Wang Ning, Lu Yutian. Partially end-pumped Nd:YVO₄ slab solid state laser[J]. *Chinese J. Lasers*, 2006, **33**(10): 1319~1323
王宁,陆雨田. 部分端面抽运的 Nd:YVO₄ 板条固体激光器[J]. *中国激光*, 2006, **33**(10): 1319~1323
- Li Xiaoli, Shao Jie, Zang Huaguo *et al.*. High repetition rate short pulse width Nd:YVO₄ slab laser[J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(2): 206~210
李小莉,邵杰,臧华国等. 高重复频率窄脉宽 Nd:YVO₄ 板条激光器[J]. *中国激光*, 2008, **35**(2): 206~210
- Wang Ning, Lu Yutian, Li Xiaoli *et al.*. Experimental study of partially end-pumped Nd:YVO₄ slab laser with hybrid resonator operation[J]. *Laser Technology*, 2008, **32**(2): 125~127
王宁,陆雨田,李晓莉等. 部分端面抽运的 Nd:YVO₄ 板条固体激光器实验研究[J]. *激光技术*, 2008, **32**(2): 125~127
- Shao Jie, Li Xiaoli, Feng Yutong *et al.*. LD-end pumped Nd:YVO₄ slab laser and its thermal effects[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(3): 497~501
邵杰,李小莉,冯宇彤等. 激光二极管端面抽运 Nd:YVO₄ 板条激光器及其热效应[J]. *光学学报*, 2008, **28**(3): 497~501
- A. E. Siegman. New developments in laser resonators [C]. *SPIE*, 1990, **1224**: 2~14