

文章编号: 1001-3806(2008)06-0593-03

LD 端面抽运 Yb:YAG /LBO 537.8nm 绿光激光器

曹洪忠¹, 檀慧明², 彭鸿雁¹, 张梅恒¹, 张冰¹, 陈宝玲¹

(1. 牡丹江师范学院 物理系, 牡丹江 157012 2 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033)

摘要: 为了研究 Yb:YAG 激光器的倍频输出特性, 采用 LD 端面抽运掺杂原子数分数为 0.1 的 Yb:YAG 薄片激光晶体 ($\varnothing 4\text{mm} \times 1\text{mm}$)、LBO (LiB_3O_5) 腔内倍频进行了实验研究。在 LD 抽运功率为 1.37W 时, 通过调节 LBO 的放置角度, 实现了频率选择, 并获得了最大功率为 3.1mW 的 537.8nm 的基模连续激光输出, 光斑椭圆度为 0.94。结果表明, 采用 Yb:YAG 激光晶体, 通过 LBO 腔内倍频可以获得稳定的高光束质量的 537.8nm 激光输出。

关键词: 激光器; 537.8nm 绿光激光; LD 端面抽运; Yb:YAG 晶体

中图分类号: TN248.1 文献标识码: A

Laser diode end-pumped Yb:YAG /LBO 537.8nm green laser

CAO Hong-zhong¹, TAN Huiming², PENG Hong-yan¹, ZHANG Mei-heng¹, ZHANG Bing¹, CHEN Bao-ling¹

(1. Department of Physics, Mudanjiang Normal College, Mudanjiang 157012, China 2. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract In order to obtain the output characteristic of a frequency doubled Yb:YAG laser a 0.1 atom fraction doped Yb:YAG microchip crystal ($\varnothing 4\text{mm} \times 1\text{mm}$) end-pumped by laser diodes, and a LBO crystal were employed. With the pump power of 1.37W, frequency selected of nonlinear crystal was realized by tuning the lying angle of LBO. 3.1mW TEM₀₀ continuous wave laser at 537.8nm was obtained. The ellipticity of the output beam was 0.94. The results show that high-quality 537.8nm green laser can be obtained with intracavity frequency double crystal LBO and Yb:YAG laser crystals.

Key words lasers; 537.8nm green laser; LD end-pumped Yb:YAG crystal

引 言

自 20 世纪 90 年代以来, 随着激光波长在 940nm 左右的高功率 InGaAs 激光二极管 (laser diode, LD) 性能的不断改善, 具有准三能级结构的 Yb:YAG 激光器得到了迅速发展。Yb:YAG 晶体具有吸收带宽宽、上能级寿命长 (1.3ms)、量子效率高 (91.4%)、热负荷小、不存在激发态吸收和上转换、高的掺杂浓度而不会出现浓度淬灭 (可以实现完全掺杂) 等优点。目前, Yb:YAG 1030nm 的激光器已经获得高功率的激光输出^[1,2], 连续可调谐输出^[3] 等。WU 等人也报道了 1049nm 的 Yb:YAG 连续^[4] 和调 Q^[5] 激光器, 而对于更长波长及其倍频的激光器却未见报道。

作者在对 525nm 激光器研究^[6] 的基础上对此开展了研究, 采用 Spectra-Physics 生产 940nm LD 抽运国产的 Yb:YAG 晶体, 在最大抽运功率为 1.37W 时, 通过 LBO 腔内倍频获得了 3.1mW 的 537.8nm 激光输出。

作者简介: 曹洪忠 (1981-), 男, 助教, 主要从事全固体激光器及其光学频率变换方面的研究。

E-mail: caoy412@163.com

收稿日期: 2007-09-13 收到修改稿日期: 2007-11-05

1 Yb:YAG 激光性能分析

Yb:YAG 晶体为准三能级结构的激光晶体。图 1 为 Yb:YAG 晶体的吸收光谱和发射光谱^[7]。

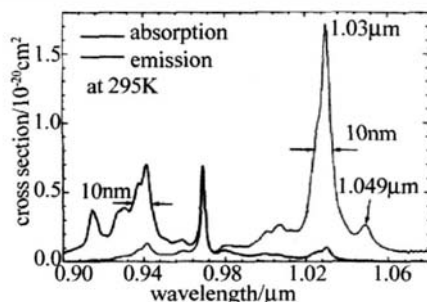


Fig 1 The absorption and emission spectral properties of Yb:YAG

由图可以看出 Yb:YAG 晶体有两个吸收带, 分别位于 940nm 和 968nm 处, 而且位于 940nm 的吸收带较宽 (约 10nm), 这样 LD 就不需要像抽运掺 Nd³⁺ 离子激光器的 808nm LD 那样采取严格的温度控制, 使其更适于 LD 抽运^[8]。Yb:YAG 晶体的发射峰也主要有两个, 一个较大的位于 1030nm 处, 另一个位于 1050nm 处, 但在这两处也都存在着吸收; 而在较长波长 (1050nm 以上) 也有发射截面存在, 并且已无吸收, 自吸收为 0。因此, 如果输出镜镀膜合适并且通过器

件进行选择起振频率,就可以获得 1075.6nm 的激光及其倍频的输出。

2 实验设置

实验装置如图 2 所示。实验中采用的抽运源为

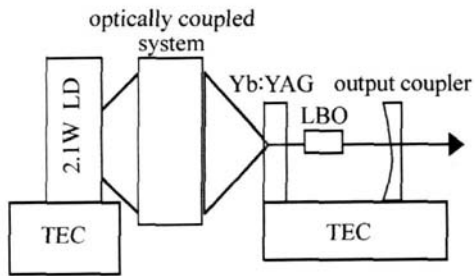


Fig. 2 Experimental setup of diode-pumped Yb:YAG/LBO

Spectra-Physics公司生产的 940nm 的 InGaAs LD, 实验中 LD 经耦合系统传输到晶体的最大抽运功率为 1.37W。Yb:YAG 晶体 Yb 的掺杂原子数分数为 0.1, 尺寸为 $\varnothing 4\text{mm} \times 1\text{mm}$, 晶体前表面镀有 1020nm ~ 1100nm 的高反膜 ($R > 99.94\%$) 和 500nm ~ 550nm 的高反膜 ($R > 99.2\%$) 以及 940nm 的增透膜 ($T > 88.89\%$), 晶体后表面镀有对 1000nm ~ 1080nm 增透膜 ($T > 99.5\%$) 和 500nm ~ 550nm 的增透膜 ($T > 99.6\%$), 晶体前表面和输出镜形成平凹腔结构; 倍频晶体为 $2\text{mm} \times 2\text{mm} \times 10\text{mm}$ 的按 1050nm 激光倍频方向切割的 LBO, LBO 双面都镀有对 1050nm 和 525nm 的增透膜; 输出镜凹面曲率半径为 100mm 并且镀有 1020nm ~ 1100nm 高反 ($R > 99.8\%$) 和 500nm ~ 550nm 高透 ($T > 95\%$) 的介质膜, Yb:YAG 晶体用铝座紧密装夹, LBO 固定于铜座上, 并且都采用热电致冷器 (thermo-electric cooler TEC) 进行严格的温度控制。

3 实验结果及理论分析

对于准三能级结构的 Yb:YAG 晶体而言, 加大制冷可有效地减少下能级的粒子数密度、降低阈值、提高激光输出功率, 因此, 实验中采用了 TEC 对 Yb:YAG 晶体进行制冷。因为基频光振荡的时候, 最容易获得激光输出的为 1050nm, 所以在采用 LBO 腔内倍频时, 525nm 的绿光首先获得输出; 但是当调节 LBO 在水平面内的放置角度时, 发现激光的颜色变得黄绿, 并且最终获得了 3.1mW 这种黄绿色的激光。经测量其波长为 537.8nm, 其光谱图如图 3 所示。

图 4 为 537.8nm 激光随入射到 Yb:YAG 晶体内的 940nm 抽运功率的变化关系。由图可以看出, 激光阈值为 580mW, 在最大抽运功率为 1.37W 时, 倍频光输出功率未有饱和现象发生。

图 5 是用 Photon 公司的轮廓仪记录的远场光斑

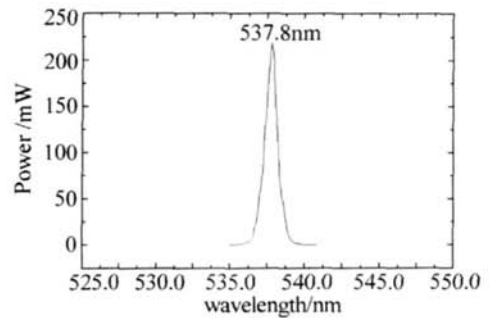


Fig. 3 The spectrum of 537.8nm laser

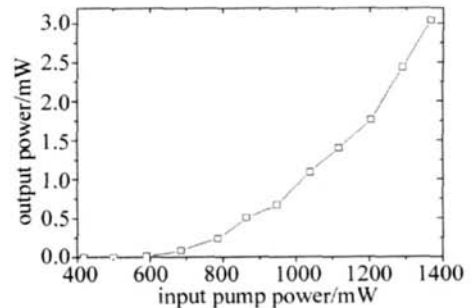


Fig. 4 537.8nm output power vs. input pump power

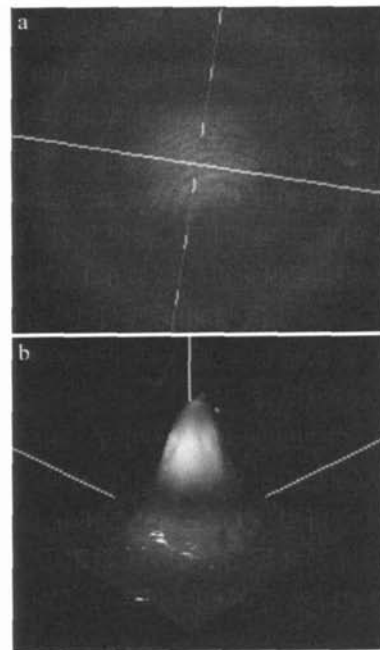


Fig. 5 The beam quality of 537.8nm green laser
a—ichnography b—stereogram

的平面和 3 维立体图, 绿光激光输出为基模 TEM_{00} , 光斑的椭圆度为 0.94 光斑质量很高。

如图 1 所示, Yb:YAG 的激光发射谱很宽, 在 1075nm 左右发射截面仍不为 0 仍有发射峰存在; 但是此处的吸收截面却已几乎为 0。在实验过程中, 本文中的输出镜镀有对 1020nm ~ 1100nm 波长的高反膜 ($R > 99.9\%$)。这些都使得波长大于 1050nm 的激光振荡成为可能, 并且最终使得激光波长向长波长方向移动^[9-10]。

实验中采用的 LBO 为 I 类相位匹配, 位相匹配角

为: $\theta = 90^\circ$, $\varphi = 12.2^\circ$ 。但当调节 LBO 的放置角度时, 位相匹配角 φ 将会变化。如果 φ 变小, 满足完全相位匹配的激光波长将变长, 因此, 1050nm 光的倍频输出功率将变小直至为 0。而较长波长的光, 由于满足了完全相位匹配, 将会起振并且通过倍频获得激光输出。通过 SNLO 光学软件计算 1075.6nm 光倍频的位相匹配角, 它们是: $\theta = 90^\circ$, $\varphi = 10.6^\circ$ 。因此, 当 LBO 经过调节使得角度满足时, 537.8nm 激光将会被输出。

4 结 论

采用 Spectra-Physics 生产的 940nm LD 抽运国产的 Yb:YAG 晶体, 通过调节非线性晶体 LBO 的放置角度实现了频率选择, 并且倍频获得了 31mW 537.8nm 绿光输出。光斑椭圆度为 0.94 具有较好的光斑质量。

参 考 文 献

- [1] HONEA E C, BEACH R J M, ITCHELL S C, *et al*. High power dual pumped Yb:YAG laser [J]. Opt Lett 2000 25(11): 805-807.
- [2] XUE H Zh, LU F Y, XUE M, *et al*. Resonator design and beam quality measurement in Yb:YAG slab lasers [J]. Laser Technology, 2006 30

(6): 585-588 (in Chinese).

- [3] ZHANG L Zh, DAI J M, ZHANG W L, *et al*. A fiber soliton tunable Yb:YAG Laser [J]. Chinese Journal of Laser, 2001, A28(10): 1-4 (in Chinese).
- [4] WU H Sh, YAN P, GONG M L, *et al*. $M^2 \leq 1.14$ diode pumped Yb:YAG microchip laser [J]. Chinese Journal of Laser, 2002, A29(11): 961-964 (in Chinese).
- [5] WU H Sh, YAN P, GONG M L, *et al*. A passively Q-switched diode pumped Yb:YAG microchip laser [J]. Chinese Optics Letters, 2003, 1(12): 697-698.
- [6] CAO H Zh, TAN H M, WANG B Sh, *et al*. Laser diode end-pumped Yb:YAG/LBO 525nm green laser [J]. Laser & Infrared, 2007, 37(2): 117-119 (in Chinese).
- [7] HUEGEL H, BOHN W L. Solid state thin disc laser [J]. SPIE, 1998, 3574: 15-28.
- [8] ZHANG Q L, JIANG H H, YIN Sh T. Properties of LD edge-pumped Yb:YAG lasers [J]. Laser Technology, 2005, 29(1): 82-86 (in Chinese).
- [9] BRAUCH U, GEISEN A, KARZEW SKIM, *et al*. Multiwatt diode-pumped Yb:YAG thin disk laser continuously tunable between 1018 and 1053nm [J]. Opt Lett, 1995, 20(7): 713-715.
- [10] JIRO S, SUNAO K, CHIRO S, *et al*. Tunable frequency-doubled Yb:YAG microchip lasers [J]. Optical Materials, 2002, 19(1): 169-174.

(上接第 592 页)

%, 可以满足某些情况下的实时处理要求, 并且能够抑制回波中一些薄云的干扰。

参 考 文 献

- [1] YAN J X, GONG Sh Sh, LIU Zh Sh. Lidar of environmental survey [M]. Beijing Science Press, 2001: 5-10 (in Chinese).
- [2] ZENG Q Y. Faint signal detection [M]. Hangzhou: Zhejiang University Press, 1994: 115-118 (in Chinese).
- [3] YANG Ch H, SUN D S, LIH J. Photon counting applied to imaging lidar [J]. Infrared and Laser Engineering, 2005, 34(5): 517-520 (in Chinese).
- [4] CHEN Y, WANG Y L, ZHOU D F, *et al*. Faint signal processing of lidar based on wavelet multi-resolution analysis [J]. Laser Technology, 2005, 29(3): 278-283 (in Chinese).
- [5] HUANG N E, ZHENG S, STEVEN R L, *et al*. The empirical mode decomposition and the hilbert spectrum for nonlinear and nonstationary time series analysis [C] // Proceedings of the Royal Society of London London Royal Society Publishing, 1998: 903-995.

- [6] CHEN F L, WU X L. Recovery of signal from transient scattered response contaminated by gaussian white noise based on EMD method [J]. Acta Electronica Sinica, 2004, 32(3): 496-498 (in Chinese).
- [7] SUN J Q. Laser atmospheric detection [M]. Beijing: Science Press, 1986: 66-70 (in Chinese).
- [8] JAMES S M. Micro pulse lidar [J]. IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing, 1993, 31(1): 48-55.
- [9] HONG G L, ZHANG Y Ch, HU Sh X. Near infrared micro pulse lidar of profiling atmospheric CO₂ [J]. Journal of Infrared and Millimeter Waves, 2004, 23(5): 384-388 (in Chinese).
- [10] CHU G F, SUN F X, DAI Y J. The method of photon count and its application on the micro pulse laser range finding [J]. Journal of Optoelectronics & Laser, 2003, 20(5): 618-622 (in Chinese).
- [11] ZHONG Zh Q, ZHOU J. Simulated signal calculation for micro pulse lidar [J]. Chinese Journal of Quantum Electronics, 2003, 20(5): 618-622 (in Chinese).
- [12] ZHOU X L, SUN D S, ZHONG Zh Q. Subsection denoise of lidar signal by multi-scale EMD [J]. Infrared and Laser Engineering, 2006, 35(5): 477-482 (in Chinese).