

全固态连续波 583 nm 黄光激光器

吕彦飞, 张喜和, 姚治海

(长春理工大学, 吉林 长春 130022)

摘要:报道了全固态连续波 583 nm 黄光激光器, 黄激光是分别由 Yb:YAG 和 Nd:GdVO₄ 晶体的 1 030 nm 和 1 341 nm 谱线非线性和频产生, 两条谱线在各自晶体中对应能级跃迁分别为 $^4F_{3/2} - ^4I_{9/2}$ 和 $^4F_{3/2} - ^4I_{13/2}$. 实验中采用复合腔结构, 利用 KTP II 类临界相位进行腔内和频, 当注入到 Yb:YAG 和 Nd:GdVO₄ 晶体的泵浦功率分别为 12 W 和 8 W 时, 获得 440 mW 的 TEM₀₀ 连续波 583 nm 黄激光输出. 实验结果表明: 采用两种激光晶体进行腔内和频是获得黄激光的高效方法, 并可以应用到其它两种激光晶体进行腔内非线性和频, 获得更多不同波长激光输出.

关键词: 光学; 全固态; 复合腔; 和频; 黄光激光器

中图分类号: TN248.1

文献标志码: A

文章编号: 1000-1093(2007)12-1516-03

All Solid-State Continuous-wave Yellow Laser at 583 nm

LÜ Yan-fei, ZHANG Xi-he, YAO Zhi-hai

(Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, Jilin, China)

Abstract: An all solid-state continuous-wave yellow laser at 583 nm made by nonlinear sum frequency of 1 030 nm and 1 341 nm lasers was presented, 1 030 nm wavelength was obtained from $^4F_{3/2} - ^4I_{9/2}$ transition in Yb:YAG and 1 341 nm wavelength was obtained from $^4F_{3/2} - ^4I_{13/2}$ transition in Nd:GdVO₄. TEM₀₀ mode yellow laser of 440 mW at 583 nm was obtained by using a double cavity, type-II critical phase matching KTP crystal intracavity sum frequency mixing to 1 030 nm and 1 341 nm, and incident pumped power of 12 W in Yb:YAG and 8 W in Nd:GdVO₄. The experimental results show that the intracavity sum-frequency mixing is an effective method for 583 nm laser and it can be applied to other two laser crystals to obtain more all-solid-state lasers with different wavelengths.

Key words: optics; all-solid-state; double cavity; sum frequency mixing; yellow laser

对激光二极管泵浦的掺钕离子激光器腔内倍频, 获得了红, 绿, 蓝三色激光输出^[1-3]. 但是在 550~650 nm 波段的激光辐射由于缺少相应的基频光输出, 还不能通过倍频的方式获得; 而处于这一波段的光源由于在医疗、生物、天文以及显示技术等方面有特殊用途, 所以寻求与这一波段的激光相干辐射便一直是人们研究的热点. 由于大多数激光增益介质具有多条跃迁谱线, 如果通过谐振腔参量的控制, 激光谐振腔内可以获得两个或两个以上的不同

波长激光谱线振荡, 选择确定切割的非线性晶体, 在腔内进行混频, 可以获得与激光发射谱线不同的和频或差频波长输出, 而腔内和频恰能够产生该波段激光.

激光二极管泵浦腔内和频激光器的理论基础是腔内双波长的产生. 从 20 世纪 90 年代初开始, 有人已对各种掺钕离子激光增益介质双波长振荡和输出的可能性进行了研究^[4-6], 并从理论上给出了双波长振荡条件. CHEN 首次利用激光二极管泵浦

Nd:YVO₄ 实现双波长运转^[7], 目前利用腔内或腔外产生双波长在非线性晶体内和频已经有一些报道^[8-11]。本文以 Nd:GdVO₄ 和 Yb:YAG 晶体作为增益介质, 利用非线性晶体 KTP, 通过复合腔在腔内和频获得 583 nm 黄激光, 而 583 nm 波长激光在生物和医疗方面有特殊的用途, 因此研制 583 nm 黄激光有一定的应用前景。

1 实验方案

全固态连续波 583 nm 黄光激光器实验装置如图 1 所示, 采用的是复合腔结构。泵浦源分别为最大输出功率为 15 W 和 10 W 的光纤耦合激光二极管阵列, 对应的输出中心波长为 940 nm 和 808 nm, 通过温度调节, 使泵浦光中心波长与 Yb:YAG 和 Nd:GdVO₄ 的中心吸收波长重合, 经过准直聚焦系统(传输耦合效率约为 82%)会聚成半径均为 200 μ m 的泵浦光斑注入到 Yb:YAG 和 Nd:GdVO₄ 晶体中。

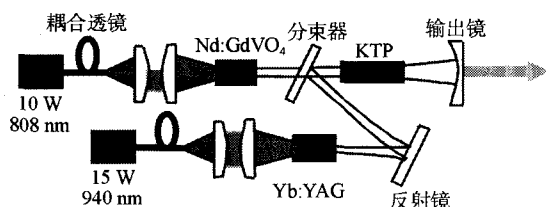


图 1 实验装置图

Fig. 1 Schematic of experimental setup

Yb:YAG 晶体镱离子掺杂浓度为 15%, 尺寸为 $\phi 4$ mm $\times$ 2 mm, 左端面镀 1 030 nm 高反(HR)和 940 nm 减反(AR), 右端面镀 1 030 nm AR; Nd:GdVO₄ 晶体钕离子掺杂浓度为 1.0%, 尺寸为 3 mm $\times$ 3 mm $\times$ 6 mm, 左端面镀 1 341 nm HR 和 808 nm AR, 右端面镀 1 341 nm AR, 考虑到在 Nd:GdVO₄ 晶体中 1 063 nm 的发射截面大于 1 341 nm 发射截面, 在制备高反膜时应对 1 063 nm 的反射率小于 10%; 在两激光晶体的侧面裹上一层铝箔安装在紫铜热沉上, 通过半导体制冷器进行温度控制。分束器是由 1 mm 厚的 K9 玻璃制成, 一面对 1 341 nm 15°入射水平偏振入射 AR, 另一面对 1 030 nm 15°入射垂直偏振入射 HR, 同时对 1 341 nm 15°入射水平偏振入射 AR; 曲率半径为 200 mm 的平凹镜作为输出镜, 凹面镀 1 341/1 030 nm HR, 583 nm AR, 平面对 583 nm AR; 反射镜是由 2 mm 厚的 K9 玻璃制成, 双面对 1 030 nm 15°入射 HR。非线性和频晶体采用 II 类临界位相匹配 KTP, 由 SNLO^[12] 软件计算, 尺寸为

2 mm $\times$ 2 mm $\times$ 5 mm 的 KTP 晶体, 沿 x - z 轴的切割角度为 $\theta = 90^\circ$, $\phi = 7.8^\circ$, 由 1 341 nm (e-light) 和 1 030 nm (o-light) 和频产生 583 nm (o-light)。KTP 晶体的有效非线性系数为 3.51 pm/V, 走离角为 5.01 mrad, KTP 的两端面镀 1 341/1 030/583 nm 三色增透膜。利用 ABCD 矩阵和稳定腔条件, 考虑到 Yb:YAG 和 Nd:GdVO₄ 的热效应以及谐振腔的基横模与激光晶体有效增益体积之间的空间匹配, 通过计算机数值计算, 在实验中含 Yb:YAG 和 Nd:GdVO₄ 的谐振腔的腔长分别取 98 mm 和 87 mm, 此时两束基频光在交叠区的光腰相等, 即在非线性和频晶体处两基频光交叠比较充分, 此时和频效率最高。

2 实验结果

采用 KTP 晶体进行腔内和频, 测量了 583 nm 黄激光输出功率随泵浦功率的变化。

图 2 是 583 nm 黄激光输出功率随注入到 Yb:YAG 和 Nd:GdVO₄ 晶体 940 nm 和 808 nm 泵浦功率变化情况, 其中上面的曲线是当注入到 Yb:YAG 晶体的泵浦功率为 12 W 时, 583 nm 激光输出功率随注入到 Nd:GdVO₄ 晶体的泵浦功率的变化关系, 下面的曲线是当注入到 Nd:GdVO₄ 晶体的泵浦功率为 8 W 时, 583 nm 激光输出功率随注入到 Yb:YAG 晶体的泵浦功率的变换关系。图 2 中可以看出, 激光器的阈值功率约为 3.4 W。当注入到 Yb:YAG 和 Nd:GdVO₄ 晶体的泵浦功率分别为 12 W 和 8 W 时, 获得的 583 nm 黄激光输出功率为 440 mW, 并且可以看出在该泵浦功率下, 激光输出功率并未达到饱和, 这就说明如果泵浦功率进一步加大, 激光的输出功率仍会增加。

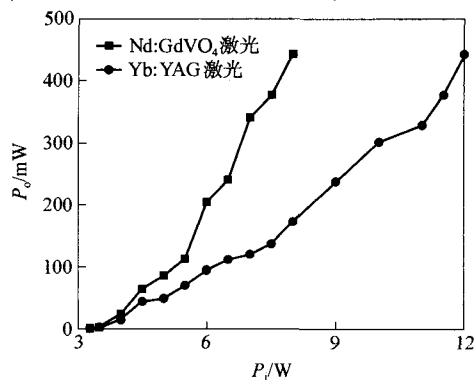


图 2 583 nm 激光输出功率随入射泵浦功率变换关系

Fig. 2 Curves of output power vs. incident pump power for SFM 583 nm laser

在输出功率为 440 mW 时,采用 Photon Inc. 公司生产的椭圆光束轮廓仪测量激光输出光斑质量如图 3 所示,该光束的椭圆率为 0.95.

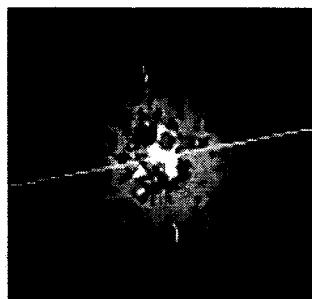


图 3 583 nm 黄激光光束质量

Fig.3 The beam quality of 583 nm yellow laser

3 结论

采用 KTP II 类临界相位和频获得了全固态 583 nm 激光器,以 Nd:GdVO₄ 和 Yb:YAG 晶体作为增益介质,利用非线性晶体 KTP,通过复合腔在腔内和频获得 440 mW 连续波基横模黄激光。实验结果表明采用两种激光晶体 Nd:GdVO₄ 和 Yb:YAG 进行腔内和频是获得 583 nm 黄激光的高效方法,并可以将该技术推广到其它两种激光晶体进行腔内非线性和频,还可以获得更多不同波长和频激光。因此,本文所利用的腔内和频技术为新波长全固态激光器的发展提供了一个新的方向。

参考文献 (References)

- [1] SUN Z P, LI R N, BI Y. Generation of 11.5 W coherent red light by intra-cavity frequency-doubling of a side pumped Nd:YAG laser in a 4 cm LBO[J]. Opt Commun, 2004, (241): 167-172.
- [2] BAI J T, CHEN G F. Continuous-wave diode-laser end pumped Nd:YVO₄/KTP high-power solid-state green laser[J]. Optics & Laser Technology, 2002, (34):333-336.
- [3] Pierrou M, Keller T. Generation of 740 mW of blue light by intra-cavity frequency doubling with a first-order quasi-phase-matched KTiOPO₄ crystal[J]. Opt Lett, 1999, 24(4): 205-207.
- [4] Nadtocheev V E, Nanil O E. Two-wave emission from a CW solid-state YAG:Nd³⁺ laser[J]. Sov J Quantum Electron, 1989, 19(4): 444-446.
- [5] SHEN H Y, ZENG R R, ZHOU Y P. Comparison of simultaneous multiple wavelength lasing in neodymium host crystal at transitions from ⁴F_{3/2} - ⁴I_{11/2} and ⁴F_{3/2} - ⁴I_{13/2}[J]. Appl Phys Lett, 1990, 56(20): 1937-1938.
- [6] SHEN H Y. Oscillation condition of simultaneous multiple wavelength lasing[J]. Chinese Physic Letters, 1990, 7(4):174-176.
- [7] CHEN Y F. CW dual-wavelength operation of a diode end pumped Nd:YVO₄ laser[J]. Appl Phys, 2000, B70:475-478.
- [8] HE J L, DU J, SUN J, et al. High efficiency single-and dual-wavelength Nd:GdVO₄ lasers pumped by a fiber coupled diode[J]. Appl Phys, 2004, B79:301-304.
- [9] LI P X, LI D H, ZHANG Z G. Simultaneous dual-wavelength continuous wave laser operation at 1.064 μm and 0.946 μm in Nd:YAG and their frequency doubling[J]. Opt Commun, 2004, (235):169-174.
- [10] 毕勇, 孙志培, 张瑛, 等. 全固态和频 589 nm Nd:YAG 激光器[J]. 中国激光, 2003, 30(5): 440-440.
- [11] BI Yong, SUN Zhi-pei, ZHANG Ying, et al. All-solid state intra-cavity sum-frequency mixing 589 nm Laser[J]. Chinese Journal of Lasers, 2003, 30(5):440-440. (in Chinese)
- [12] 吕彦飞, 檀慧明, 钱龙生. 全固态 589 nm 复合腔连续波和频激光器[J]. 光学精密工程, 2005, 13(3):260-264.
- [13] LÜ Yan-fei, TAN Hui-ming, QIAN Long-sheng. All-solid-state continuous wave doubly resonant all intracavity sum-frequency laser at 589 nm[J]. Optics and Precision Engineering, 2005, 13(3):260-264. (in Chinese)
- [14] SNLO. Free software for modeling nonlinear frequency conversion processes in nonlinear crystals [CP/OL] [2005-05-21]. <http://www.sandia.gov/imrl/X1118/xxxtal.htm>.