

文章编号:1004-4213(2010)04-0588-4

# LD 抽运腔内和频 571.6 nm 连续波黄光激光器\*

李永亮,姚建波,侯作凤,曾佑洪

(长春理工大学 光电工程学院,长春 130022)

**摘要:**报道了全固态连续波 571.6 nm 黄光激光器.黄激光是分别由两片 Nd:YAG 的 1 444 nm 和 946 nm 谱线非线性和频产生,两条谱线在各自晶体对应能级跃迁分别为 ${}^4F_{3/2}-{}^4I_{15/2}$ 和 ${}^4F_{3/2}-{}^4I_{9/2}$ .实验中采用复合腔结构,利用 RTP 晶体 II 类临界相位进行内腔和频,当注入到两片 Nd:YAG 晶体的抽运功率分别为 25 W 和 14.8 W 时,获得 562 mW 的连续波 571.6 nm 黄激光输出,4 h 功率稳定度优于 $\pm 2.9\%$ .

**关键词:**LD 抽运;RTP;和频;黄光激光器

**中图分类号:**TN248.1

**文献标识码:**A

**doi:**10.3788/gzxb20103904.0588

## 0 引言

通过对激光二极管抽运的掺钕离子激光器内腔倍频,已有大量的文章对红、绿、蓝三色激光输出进行了报道<sup>[1-3]</sup>,并且在 20 世纪 80 年代末已形成新兴的激光器产品,是现代激光器研究发展的一个热点.这类器件具有体积小、重量轻、携带方便、使用安全、转换效率高等特点,在物理、化学、生物、医学等高新技术领域有广泛的用途,是新型激光器发展的重大方向之一.然而在 550~650 nm 波段范围内橙-黄色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、生物及天文等方面均有广泛的应用前景,所以寻求这一波段的激光相干辐射一直是人们研究的热点.如果在激光谐振腔内获得两个的不同波长激光谱线振荡,选择确定切割的非线性晶体,在内腔进行混频,可以获得与激光发射谱线不同的和频或差频激光波长输出,而内腔和频恰能够产生该波段激光.

激光二极管抽运内腔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,已有学者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<sup>[4-7]</sup>,并从理论上给出了双波长振荡条件. Y. F. Chen 首次利用激光二极管抽运 Nd:YVO<sub>4</sub> 实现双波长运转<sup>[8]</sup>,目前利用内腔或腔外产生双波长在非线性晶体和频已经有一些文章报道<sup>[8-10]</sup>.这些理论均是讨论单个激光晶体的两条

谱线,而单个激光晶体的两条谱线振荡时均消耗上能级的粒子数,同时两条谱线的发射截面相差比较大,进行非线性和频过程中光子数很难匹配,因此和频效率较低.

本文以 Nd:YAG 晶体作为增益介质,通过复合内腔结构,使两基频光获得独立增益,可以分别调节两 LD 的电流使复合腔的两个子谐振腔中的基频光增益达到相等,利用非线性晶体 RTP II 类临界位相匹配内腔和频获得 571.6 nm 黄激光输出.

## 1 实验方案

全固态连续波 571.6 nm 黄光激光器实验装置如图 1,采用的是复合内腔结构.抽运源分别为最大输出功率为 30 W 和 20 W 的光纤耦合激光二极管阵列,输出中心波长均为 808 nm,通过温度调节,使抽运光中心波长与 Nd:YAG<sub>1</sub> 和 Nd:YAG<sub>2</sub> 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%)会聚成半径为均 200 μm 的抽运光斑注入到 Nd:YAG<sub>1</sub> 和 Nd:YAG<sub>2</sub> 晶体中.

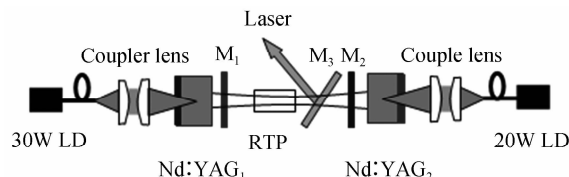


图 1 571.6 nm 激光器实验装置

Fig.1 Experimental setup of 571.6 nm laser

Nd:YAG<sub>1</sub> 和 Nd:YAG<sub>2</sub> 晶体钕离子掺杂浓度均为 1%,尺寸均为 φ4×3 mm,Nd:YAG<sub>1</sub> 左端面镀 1 444 nmHR(高反)/808 nmAR(减反),考虑到在 Nd:YAG 晶体中 1 444 nm 的发射截面较小(3.4×10<sup>-20</sup> cm<sup>2</sup>),在制备反射膜系时应应对 1 064 nm、

\* 十一五兵器预研支撑基金(62301110109)资助

Tel:0431-85583344

Email:liy03007@sina.com

收稿日期:2009-08-11

修回日期:2009-09-14

1 318 nm、1 338 nm 和 946 nm 等发射截面大的谱线要进行抑制,让它们透过率尽量大,膜系曲线图如图 2,右端面镀 1 444 nmAR;Nd : YAG<sub>2</sub> 右端面镀 946 nm HR 和 808 nm AR/1 064 nmAR,左端面镀 946 nm AR,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. 其中一个子谐振腔的腔镜 M<sub>2</sub> 左端镀 1 444 nm HR/946 nmAR,右端对 946 nmAR;另一个子谐振腔的腔镜 M<sub>1</sub> 右端镀 946 nmHR/1 444 nm AR/571.6 nmHR,左端对 1 444 nmAR;输出耦合镜 M<sub>3</sub> 左端面对 571.6 nmHR/946 nmAR/1 444 nmAR,右端对 946 nmAR/1 444 nmAR;非线性晶体采用 II 类临界位相匹配磷酸钛氧铷 (Rubidium Titanyl Phosphate Crystal, RTP, 分子式为 RbTiOPO<sub>4</sub>),尺寸为 2×2×7 mm<sup>3</sup> 的 RTP 晶体沿 x-y 轴的切割角度为  $\theta=90^\circ, \varphi=70.1^\circ$ ,由 1 444 nm 的水平分量偏振光和 946 nm 的垂直分量偏振光非线性和频产生 571.6 nm 黄激光. RTP 晶体的有效非线性系数为  $d_{\text{eff}}=2.14 \text{ pm/V}$ ,两端面镀 1 444/1 064/571.6 nm 三色增透膜. 因实验中所用 LDA 光纤芯径为 200  $\mu\text{m}$ ,为了提高抽运效率并使两基频光在腔内充分交叠,本文取腔内束腰半径为 180  $\mu\text{m}$ ,并使束腰位置( $\omega_0$ )位于 RTP 晶体中心处,这样就可把 RTP 晶体的中心作为定位点. 另外,虽然两个子谐振腔在静态时(不启动 LDA 抽运光源)

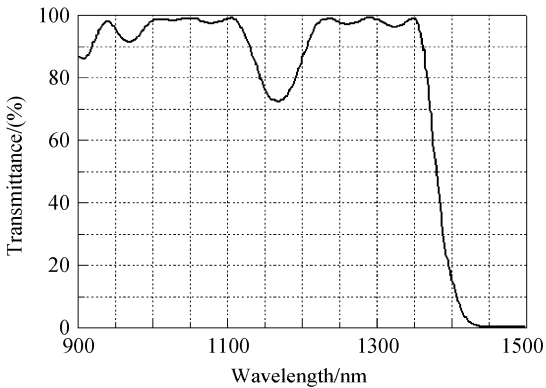


图 2 激光器谐振腔布置图  
Fig. 2 Layout of the laser resonator

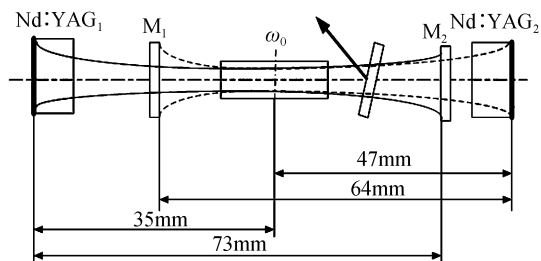


图 3 Nd : YAG<sub>1</sub> 晶体入射面膜系曲线  
Fig. 3 Transmission curve of incident face on Nd : YAG<sub>1</sub> crystal

均为平-平腔,但启动抽运 LDA 模块后,由于 Nd : YAG<sub>1</sub> 和 Nd : YAG<sub>2</sub> 均产生热透镜效应,热透镜效应的强弱与抽运功率大小有关,此时两个子谐振腔变为稳定腔,通过 ABCD 矩阵计算和稳定腔条件,结合实验装置实际调试情况,即可分别得出含 YAG<sub>1</sub> 的腔长为 73 mm、含 YAG<sub>2</sub> 的腔长为 64 mm,激光器谐振腔布置如图 3.

## 2 实验结果

采用 RTP 晶体 II 类临界位相匹配进行内腔和频,测量了 571.6 nm 黄激光输出功率随抽运功率的变化,当注入到 Nd : YAG<sub>1</sub> 的抽运功率为 24 W 时,测量了 571.6 nm 黄激光输出功率随注入到 Nd : YAG<sub>2</sub> 晶体的抽运功率的变化,如图 4.

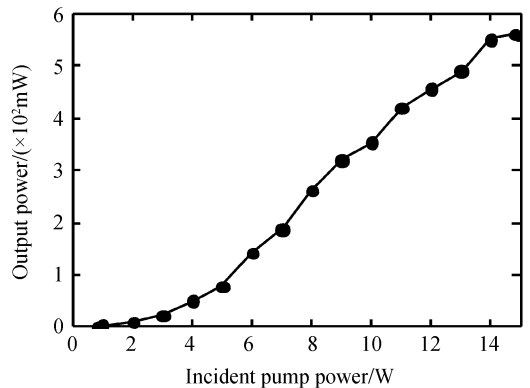


图 4 571.6 nm 黄激光输出功率随入射抽运光功率变换关系  
Fig. 4 571.6 nm yellow laser output power via incident pump power

由图 4 可以看出,当注入到 Nd : YAG<sub>1</sub> 和 Nd : YAG<sub>2</sub> 晶体的抽运功率分别为 24 W 和 14.8 W 时,获得的 571.6 nm 黄激光输出最大功率为 562.3 mW,并且可以看出当注入到 Nd : YAG<sub>2</sub> 的抽运功率达到 14.8 W 时,激光输出功率开始达到饱和,这就说明 946 nm 的光功率密度已经大于 1 444 nm 的光功率密度,如果要想获得更高的输出功率,必须还得提高 1 444 nm 的光功率密度,这就需要继续提高注入到 Nd : YAG<sub>1</sub> 抽运功率. 在输出功率为 562.3 mW 时开始,保持注入功率不变,采用

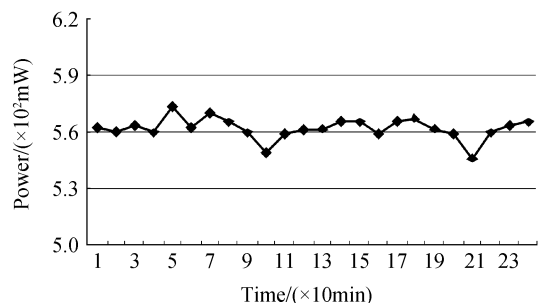


图 5 4 h 输出功率稳定性测试曲线  
Fig. 5 The curve of the output power stability in 4 hours

以色列 Ophir 公司的 NOVA II 型功率计实时测量, 连续工作 4 h, 间隔十分钟记录一次显示值, 共记录了 24 组数据. 然后统计记录结果得出功率稳定度为  $\pm 2.9\%$ , 测试曲线见图 5.

图 6 为 571.6 nm 黄激光的光谱图, 由图 6 可以看出 571.6 nm 激光的谱线半宽度为 1.2 nm.

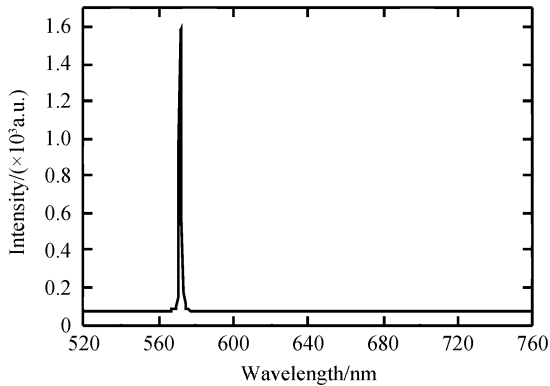


图 6 571.6 nm 黄激光光谱

Fig. 6 The spectrum of 571.6 nm yellow laser

采用光束质量分析仪测量激光输出光斑质量如图 7, 该光束的椭圆率为 0.97. 在最大 571.6 nm 和频激光输出时, 测量了光束质量  $M^2$  因子为 2.3.

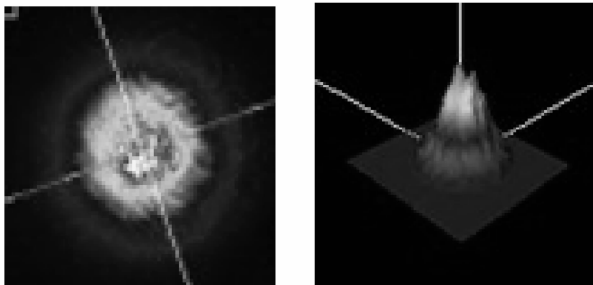


图 7 571.6 nm 黄激光光束质量

Fig. 7 The beam quality of 571.6 nm yellow laser

### 3 结论

本文采用 RTPPII 类临界位相和频获得了全固态 571.6 nm 激光器, 以 Nd:YAG 晶体作为增益介质, 通过复合内腔和频获得 562 mW 连续波黄激

光, 输出功率稳定, 光束质量好. 实验结果表明采用 Nd:YAG 激光晶体进行复合腔和频是获得 571.6 nm 黄激光的有效方法, 并可以将该技术推广到其它两种激光晶体进行内腔非线性和频, 还可以获得更多不同波长激光. 因此, 本文所利用的复合内腔和频技术为新波长激光器的发展提供了一个方向.

#### 参考文献

- [1] BAI J T, CHEN G F. Continuous-wave diode-laser end pumped Nd:YVO<sub>4</sub>/KTP high-power solid-state green laser[J]. *Optics & Laser Technology*, 2002, **34**(3): 333-336.
- [2] 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**(11): 167-172.
- [3] ZHENG Q, ZHAO L. Efficient blue laser generation at 473 nm by a BIBO crystal[J]. *Optics & Laser Technology*, 2004, **36**(6): 449-451.
- [4] SHEN H Y, ZENG R R, ZHOU Y P, et al. Comparison of simultaneous multiple wavelengths lasing in neodymium host crystal at transitions from <sup>4</sup>F<sub>3/2</sub>-<sup>4</sup>I<sub>1/2</sub> and <sup>4</sup>F<sub>3/2</sub>-<sup>4</sup>I<sub>3/2</sub>[J]. *Apply Phys Lett*, 1990, **56**(20): 1937-1938.
- [5] NAETOCHEEV V E, NANIL O E. Two-wave emission from a CW solid-state YAG: Nd<sup>3+</sup> laser[J]. *Sov J Quantum Electron*, 1989, **19**(4): 444-446.
- [6] SHEN H Y. Oscillation condition of simultaneous multiple wavelength lasing[J]. *Chinese Physic Letters*, 1990, **7**(4): 174-176.
- [7] LÜ Yan-fei, TAN Hui-ming, QIAN Long-sheng. Laser-diode array pumped Nd:YAG/KTP continuous wave 589 nm laser with intracavity sum-frequency mixing [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(9): 1281-1284.  
吕彦飞, 檀慧明, 钱龙生. LDA 抽运 Nd:YAG/KTP 腔内和频 589 nm 连续波激光器[J]. *光子学报*, 2005, **34**(9): 1281-1284.
- [8] CHEN Y F. CW dual-wavelength operation of a diode end pumped Nd:YVO<sub>4</sub> laser[J]. *Appl Phys*, 2000, **B70**(1): 475-478.
- [9] HE J L, DU J, SUN J, et al. High efficiency single-and dual-wavelength Nd:GdVO<sub>4</sub> lasers pumped by a fiber coupled diode[J]. *Appl Phys*, 2004, **B79**(3): 301-304.
- [10] LI P X, LI D H, Zhang Z G. Simultaneous dual-wavelength continuous wave laser operations at 1.064 μm and 0.946 μm in Nd:YAG and their frequency doubling[J]. *Opt Commun*, 2004, **235**(4): 169-174.

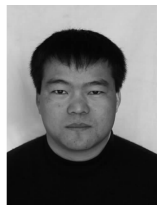
## LD Pumped Intracavity Sum-frequency Mixing Continuous-wave Yellow Laser at 571.6 nm

LI Yong-liang, YAO Jian-bo, HOU Zuo-feng, ZENG You-hong

(*Opt-electro Institute, Changchun University of Sciences and Technology, Changchun 130022, China*)

**Abstract:** An all solid-state continuous-wave yellow laser at 571.6 nm is reported. The yellow laser is from two Nd : YAG line of 1 444 nm and 946 nm being a non-linear sum frequency, which correspond to energy levels in their respective crystal transition for  ${}^4F_{3/2} - {}^4I_{15/2}$  and  ${}^4F_{3/2} - {}^4I_{9/2}$ , respectively. The yellow laser at 571.6 nm is obtained by using a doubly folded-cavity, type-II critical phase matching RTP crystal intracavity sum frequency mixing by 1 444 nm and 946 nm. When injected into two Nd : YAG crystal for the pump power 25 W and 14.8 W, respectively, yellow laser at 571.6 nm of 562 mW is obtained. The power stability in 4 h is better than  $\pm 2.9\%$ .

**Key words:** LD Pumped; RTP; Sum-frequency; Yellow laser



**LI Yong-liang** was born in 1973, and works as an associate professor. Now his research interests focus on lasers technology and nonlinear optical.