

文章编号:1001-5078(2007)07-0614-03

全固态复合内腔和频 613nm 连续波橙光激光器

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 613nm 橙光激光器, 橙激光是分别由 Nd:YAG 和 Nd:YVO₄ 晶体的 1444nm 和 1064nm 谱线非线性和频产生的, 两条谱线在各自晶体对应能级跃迁分别为 $^4F_{3/2} - ^4I_{13/2}$ 和 $^4F_{3/2} - ^4I_{11/2}$ 。实验中采用复合腔结构, 利用 KTP 晶体 II 类临界相位进行内腔和频, 当注入到 Nd:YAG 和 Nd:YVO₄ 晶体的泵浦功率分别为 20W 和 10W 时, 获得 344mW 的 TEM₀₀ 连续波 613nm 橙激光输出。4h 功率稳定度优于 $\pm 2.8\%$ 。

关键词:全固态; 复合腔; 和频; 橙光激光器

中图分类号:TN248.1 **文献标识码:**A

All-solid-state Continuous-wave Doubly Resonant All-intracavity Sum-frequency Mixing Orange Laser at 613nm

LÜ Yan-fei, ZHANG Xi-he, YAO Zhi-hai

(Changchun University of Sciences and Technology, Changchun 130022, China)

Abstract: A all solid-state continuous-wave orange laser at 613nm is firstly reported, 1444nm wavelength is obtained from $^4F_{3/2} - ^4I_{13/2}$ transition in Nd:YAG and 1064nm wavelength is obtained from $^4F_{3/2} - ^4I_{11/2}$ transition in Nd:YVO₄. Orange laser at 613nm is obtained by using a doubly folded-cavity, type-II critical phase matching KTP crystal intracavity sum frequency mixing by 1444nm and 1064nm, with incident pumped power of 20W in Nd:YAG and 10W in Nd:YVO₄, TEM₀₀ mode orange laser at 613nm of 344mW is obtained at last. The power stability in 4h is better than $\pm 2.8\%$.

Key words: all-solid-state; folded-cavity; sum-frequency; orange laser

1 引 言

通过对激光二极管泵浦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^[1-3], 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、质量轻、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, 将成为新世纪激光领

域的重要产业, 是新型激光器发展的重大方向之一。然而在 550 ~ 650nm 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

基金项目:国防科工委国防基础科研项目 (NO. A3620060122) 资助。

作者简介:吕彦飞 (1976 -), 男, 博士, 主要从事光学设计, 半导体激光泵浦全固态激光器及非线性光学频率变换技术。E-mail: custlaser@163.com

收稿日期:2006-12-07; **修订日期:**2007-01-12

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可以获得两个不同波长激光谱线的振荡,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。

激光二极管泵浦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,有些作者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,Y. F. Chen首次利用激光二极管泵浦 Nd:YVO₄ 实现双波长运转^[7],目前利用内腔或腔外产生双波长在非线性晶体内和频已经有一些文章报道^[8-10]。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,进行非线性过程中光子数很难匹配,因此和频效率较低,本文以 Nd:YVO₄ 和 Nd:YAG 两种晶体作为增益介质,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 KTP II 类临界位相匹配内腔和频获得 613nm 橙色激光。

2 实验方案

全固态连续波 613nm 橙光激光器实验装置如图1所示,采用的是复合内腔结构。泵浦源分别为最大输出功率为 20W 和 10W 的光纤耦合激光二极管阵列,输出中心波长均为 808nm,通过温度调节,使泵浦光中心波长与 Nd:YAG 和 Nd:YVO₄ 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 200μm 的泵浦光斑注入到 Nd:YAG 和 Nd:YVO₄ 晶体中。

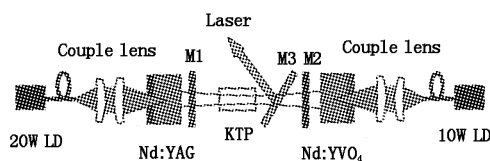


图1 613nm 激光器实验装置

Fig. 1 experimental setup of 613nm laser

Nd:YAG 晶体钕离子掺杂浓度为 1%,尺寸为 $\phi 4\text{mm} \times 3\text{mm}$,左端面镀 1444nm HR(高反)/808nm AR(减反),考虑到在 Nd:YAG 晶体中 1444nm 的发射截面较小($3.4 \times 10^{-20} \text{cm}^2$)^[11],在制备反射膜时应应对 1064nm,1318nm,1338nm 和 946nm 等发射截面大的谱线要进行抑制,让它们透过率尽量的大,右端面镀 1444nm AR;Nd:YVO₄ 晶体钕离子掺杂浓度为 0.5%,尺寸为 $3\text{mm} \times 3\text{mm} \times 5\text{mm}$,右端面镀 1064nm HR 和 808nm AR,左端面镀 1064nm 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 M2 左端镀 1444nm HR/1064nm AR,右端对 1064nm AR;另一个子谐振腔的腔镜 M1 右端镀 1064nm HR/1444nm AR/613nm HR,左端对 1444nm AR;输出耦合镜 M3 左端面对 613nm HR/1064nm AR/1444nm AR,右端对 1064nm AR/1444nm AR;非线性晶体采用 II 类临界位相匹配 KTP,尺寸为 $2\text{mm} \times 2\text{mm} \times 7\text{mm}$ 的 KTP 晶体沿 $x-z$ 轴的切割角度为 $\theta = 90^\circ$, $\phi = 7.8^\circ$,由 1444nm (e-light) 和 1064nm (o-light) 和频产生 613nm (o-light)。KTP 晶体的有效非线性系数为 $d_{\text{eff}} = 3.36\text{pm/V}$,两端面镀 1444nm/1064nm/613nm 三色增透膜。利用 ABCD 矩阵和稳定腔条件,考虑到 Nd:YAG 和 Nd:YVO₄ 的热效应以及谐振腔的基横模与激光晶体内有效增益体积之间的空间匹配,通过计算,实验中含 Nd:YAG 和 Nd:YVO₄ 的两个子谐振腔的腔长分别取 64mm 和 68mm。

3 实验结果

采用 KTP 晶体 II 类临界位相匹配进行内腔和频,测量了 613nm 橙色激光输出功率随泵浦功率的变化,当注入到 Nd:YAG 的泵浦功率为 20W 时,测量了 613nm 橙色激光输出功率随注入到 Nd:YVO₄ 晶体的泵浦功率的变化,如图2所示。

图2中可以看出,当注入到 Nd:YAG 和 Nd:YVO₄ 晶体的泵浦功率分别为 20W 和 10W 时,获得的 613nm 激光输出功率为 344mW,并且可以看出当注入到 Nd:YVO₄ 的泵浦功率达到 10W 时,激光输出功率开始达到饱和,这就说明 1064nm 的光功率密度已经大于 1444nm 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 1444nm 的光功率密度,这就需要继续提高注入到 Nd:YAG 泵浦功率。

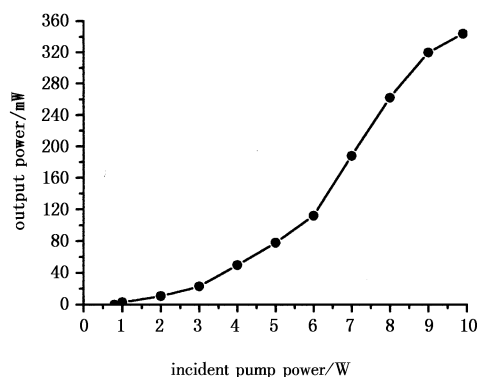


图2 613nm 橙色激光输出功率随入射泵浦功率变换关系

Fig.2 613nm orange laser output power via incident pump power

在输出功率为 344mW 时,采用光束质量分析仪测量激光输出光斑质量如图 3 所示,该光束的椭圆率为 0.96。

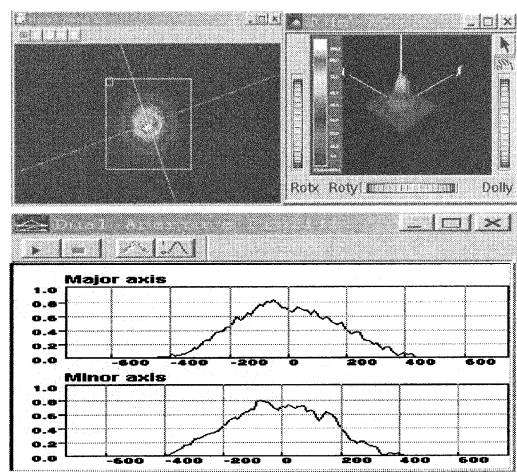


图3 613nm 橙色激光光束质量

Fig.3 the beam quality of 613nm orange laser

4 结 论

首次采用 KTP II 类临界位相和频获得了全固态 613nm 激光器,以 Nd:YVO₄ 和 Nd:YAG 晶体作为增益介质,通过复合内腔和频获得 344mW 连续波基横模橙色激光,输出功率稳定,光束质量好。实验结果表明采用 Nd:YVO₄ 和 Nd:YAG 两种激光晶体进行内腔和频是获得 613nm 橙激光的有效方法,并可以将该技术推广到其他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:YVO₄/KTP high-power solid-state green laser [J]. Optics & Laser Technology, 2002,34:333 - 336.
- [2] Sun Z P, Li R N, Bi Y. Generation of 11.5W coherent red light by intra-cavity frequency doubling of a side pumped Nd:YAG laser in a 4cm LBO [J]. Opt. Commun., 2004,241:167 - 172.
- [3] Z Quan, Z Ling. Efficient blue laser generation at 473nm by a BIBO crystal [J]. Optics & Laser Technology, 2004, 36(6): 449 - 451.
- [4] H Y Shen, R R Zeng, Y P Zhou, et al. Comparison of simultaneous multiple wavelength lasing in yttrium 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.
- [5] Nadocheev 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.
- [6] Shen Hongyuan. Oscillation condition of simultaneous multiple wavelength lasing [J]. Chinese Physics 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 1.064μm and 0.946μm in Nd:YAG and their frequency doubling [J]. Opt. Commun., 2004, 235: 169 - 174.
- [10] Lü Yanfei, Tan Huiming, Qian Longsheng. All-solid-state continuous wave doubly resonant all intracavity sum-frequency laser at 589nm. Optics and Precision Engineering, 2005, 13(3): 260 - 264. (in Chinese)
- [11] Singh S, Smith R G, Van Uitert L G. Stimulated-emission cross section and fluorescent quantum efficiency of Nd³⁺ in yttrium aluminum garnet at room temperature [J]. Physics Review B, 1974, 10: 2566 - 2572.