

3.6 W 全固态腔内和频 Nd:YVO₄ 橙黄激光器

王君光, 刘旭, 吕旺, 赵佳
(长春理工大学, 吉林 长春 130022)

摘要:报道了一种采用光纤耦合激光二极管阵列(LDA)端面泵浦 Nd:YVO₄ 激光晶体、I类临界位相匹配 BiB₃O₆(BiBO)腔内和频实现全固态连续橙黄色激光输出的实验结果。波长为 593.5 nm 的橙黄色激光是由 Nd:YVO₄ 晶体 1064 nm 和 1342 nm 双波长非线性性和频产生的。当泵浦功率为 27.5 W 时,得到橙黄色激光最大输出功率 3.6 W,光-光转换效率高达 13.2%,据我们所知,这是目前利用腔内和频 Nd:YVO₄ 激光器获得 593.5 nm 橙黄色激光输出的最高效率。

关键词:激光二极管阵列(LDA)泵浦;腔内和频;全固态;橙黄色激光
中图分类号:TN248.1 **文献标识码:**A

3.6 W laser of continuous-wave orange-yellow light generated by intra-cavity sum-frequency mixing of Nd:YVO₄

WANG Jun-guang, LIU Xu, LÜ Wang, ZHAO Jia
(Changchun University of Sciences and Technology, Changchun 130022, China)

Abstract: A design of laser-diode array (LDA) end-pumped Nd:YVO₄ laser that generates simultaneous laser action at wavelengths 1064 nm and 1342 nm is presented. Using type-I critical phase matching (CPM) BiB₃O₆, 593.5 nm continuous-wave (cw) yellow laser was obtained by 1064 nm and 1342 nm intracavity sum-frequency mixing. The maximum laser output power of 3.6 W is obtained when an incident pump laser of 27.5 W is used. The optical-to-optical conversion is up to 13.2%. To the best of our knowledge, this is the highest conversion efficiency at 593.5 nm by an intracavity sum-frequency Nd:YVO₄ laser.

Key words: laser diode array pumped; intracavity sum-frequency; all-solid-state; orange-yellow laser

1 引言

近年来,通过对激光二极管泵浦的掺钕离子激光器腔内倍频,已实现了红、绿、蓝等多波长可见光激光输出^[1-3]。然而,在 550~600 nm 波段范围内的橙黄色激光由于缺少相应的基频光运转,还不能通过倍频方式获得。而处于这一波段内的相干光源由于在医疗、生物及天文等方面具有广泛的应用前景,一直是人们研究、探索的热点。和频是一种可行的方法,即使频率分别为 ω_1 和 ω_2 的双波长激光同时振荡,通过和频产生频率为 $\omega_3 = \omega_1 + \omega_2$ 的新波长激光。激光二极管泵浦固体激光器实现腔内和频的理论基础和先决条件是腔内双波长激光的产生,20 世纪 90 年代初,有学者已经开始对各种掺钕离

子激光增益介质(Nd:YAG, Nd:YLF 和 Nd:YVO₄)双波长振荡和输出的可能性进行了研究^[4]。目前已有利用腔内双波长激光振荡在非线性晶体内实现和频的文章报道^[5-6],2005 年, Lü Yanfei 等人采用两套激光二极管阵列分别端面泵浦的 Nd:YVO₄ 和 Nd:YAG 晶体, KTP II 类临界位相匹配腔内和频,获得了 589 nm 和频激光输出^[7]。近年来,利用三镜腔实现双波长在铌酸锂晶体中振荡以获得连续黄光激

基金项目:“十一五”预研支撑基金项目(No. 62301110109)资助。

作者简介:王君光,男,本科生,研究方向为全固态激光器及非线性频率变换技术。E-mail: wjg95855416@126.com

收稿日期:2009-06-16; **修订日期:**2009-08-31

光输出的实验方法已经被报道^[8],当泵浦功率为 15 W 时,黄光的输出功率为 78 mW。由于这种方法使用三镜折叠腔,且主要为腔外和频,因此效率较低,不适合商业化生产。本文报道了由激光二极管阵列端面泵浦 Nd:YVO₄ 晶体产生双波长、采用三镜折叠腔在腔内和频获得高转换效率 593.5 nm 连续激光的实验结果。

2 实验方案

实验装置如图 1 所示。泵浦源为光纤耦合输出的激光二极管阵列(LDA),泵浦光经由两个平凸镜($f=15\text{ mm}$)组成的光学耦合系统(传输耦合效率约 82%)会聚成直径为 400 μm 、波长 808 nm 的泵浦光斑,最大泵浦功率 30 W。增益介质是掺杂浓度为 0.5% 的 Nd:YVO₄ 晶体,尺寸为 3 mm \times 3 mm \times 5 mm。其侧面包裹一层铝箔并被安装在紫铜热沉上。Nd:YVO₄ 晶体靠近泵浦一端端面作为全反镜(M1),镀 1342 nm & 1064 nm HR,808 nm AR,另一端面镀 1342 nm & 1064 nm AR;曲率半径为 50 mm 的平凹镜(M)作为输出镜,其凹面镀 1064 nm HR($R>97.5\%$),1342 nm HR($R>99.9\%$),593.5 nm AR;另一端面镀 593.5 nm AR。曲率半径为 200 mm 的平凹镜(M2)作为全反镜,其凹面镀 1342/1064/593.5 nm HR, L_1 和 L_2 分别是两个臂的腔长,其中 $L_1=71\text{ mm}$, $L_2=35\text{ mm}$ 。对激光二极管阵列、晶体以及整个谐振腔用半导体制冷器严格控温,其温度变化稳定在 $\pm 0.1\text{ }^\circ\text{C}$ 。非线性和频晶体采用 I 类临界位相匹配 BiBO,尺寸为 2 mm \times 2 mm \times 12 mm,沿 $x-y$ 轴的切割角度为 $\theta=3.3^\circ$, $\varphi=0^\circ$ 。由于 KTP 晶体有非常高的非线性系数,因此在利用 $^4F_{3/2}\rightarrow^4I_{11/2}$ 和 $^4F_{3/2}\rightarrow^4I_{13/2}$ 能级跃迁而在腔内和频时多采用 KTP 晶体,但是 KTP 晶体存在走离角太大,允许角太小的缺点。由于 BiBO 晶体有较小的走离角和较大的温度适应范围,本实验中我们选择了 BiBO 晶体作为非线性和频晶体。在 BiBO 晶体两面镀 1342/1064/593.5 nm 三色增透膜,以减少腔内反射损耗,它由一块紫铜包裹,并固定在半导体制冷器上以达到严格控温的效果。

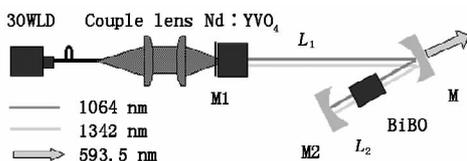


图 1 实验装置图

Fig.1 schematic of the experimental setup

在高功率 LD 端面泵浦固体激光器中,激光晶

体严重的热效应是难以获得高效率、高光束质量激光输出的重要原因,即使在中等功率泵浦情况下,激光晶体的热效应仍很明显。根据稳态热传导方程^[9]:

$$\frac{1}{f_{th}} = \frac{\xi P_{abs}}{4\pi K_c \omega_p^2} [dn/dT + (n_0 - 1)\alpha_T]$$

可以计算热透镜焦距。其中, f_{th} 是热透镜焦距; ξ 为热负荷比; P_{abs} 为吸收泵浦功率; K_c 为热导率; n_0 为环境温度下的激光晶体折射率; dn/dT 为折射率温度系数; α_T 为热膨胀系数; ω_p 平均泵浦光斑半径。

在本实验中,所用的 Nd:YVO₄ 的有关参数如下: $\xi=0.4$, $K_c=5.23\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, $\omega_p=200\text{ }\mu\text{m}$, $dn/dT=3.0\times 10^{-6}/\text{K}$, $n_0=2.165$, $\alpha_T=4.43\times 10^{-6}/\text{K}$ 。经计算,当泵浦功率为 27.5 W 时,Nd:YVO₄ 的热透镜焦距约为 110 mm。可以看出,热透镜焦距值与两个光学臂的腔长之和已非常接近。所以,如果为了提高激光输出功率而进一步增大泵浦功率时,应当重新考虑谐振腔的设计。

3 实验结果

采用滤光片滤除 808 nm,1064 nm 和 1342 nm 波长激光成分后,使用精度为 10 nW 的功率计测量 593.5 nm 橙黄色激光输出功率,其随泵浦功率的变化曲线如图 2 所示。由图可见,593.5 nm 橙黄色激光的阈值功率为 2.6 W。当注入泵浦功率为 27.5 W 时,593.5 nm 橙黄色激光的输出功率最高为 3.6 W。可以发现,此时并没有出现饱和现象,因此增大泵浦功率仍可以提高激光输出功率。

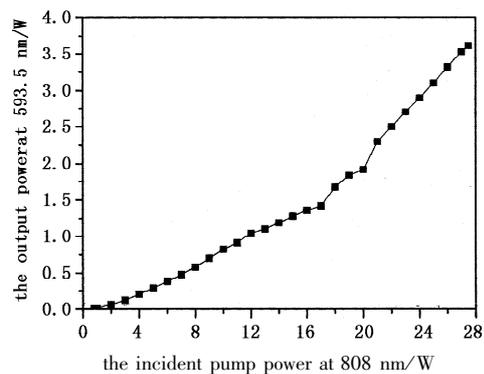


图 2 593.5 nm 橙黄色激光输出功率随注入泵浦功率的变化曲线

Fig.2 SMF 593.5 nm output power via incident pump power

我们测量了输出功率为 3.6 W 时橙黄色激光输出功率随时间的变化规律,以检验输出激光的功率稳定性,如图 3 所示,30 min 功率稳定度优于 3%。图中出现的微小波动是由于对 BiBO 晶体的温度进行精确控制的结果。此外,BiBO 晶体并没

有出现损伤迹象,证明 BiBO 晶体非常适合用于高功率腔内和频。

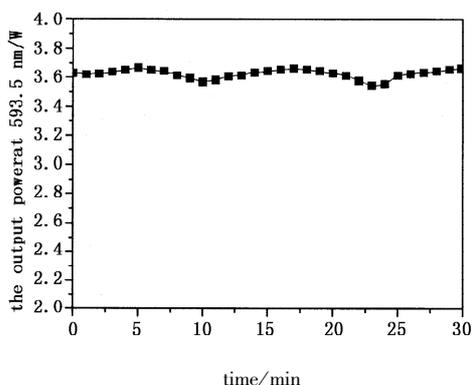


图3 橙黄色激光在输出功率为3.6 W的稳定性

Fig.3 stability of the orange-yellow out put power around the 3.6 W operation

在输出功率为3.6 W时,采用光束质量分析仪测量输出激光光束质量,如图4所示,光束椭圆率为0.99,光束质量很好。

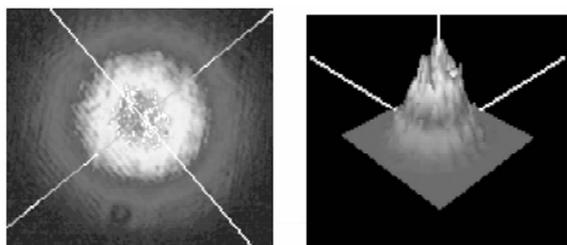


图4 593.5 nm 橙黄色激光光束质量

Fig.4 the beam quality of 593.5 nm orange laser

4 结论

采用激光二极管阵列端面泵浦 Nd:YVO₄ 晶体, BiBO 晶体 I 类临界位相匹配,通过三镜折叠腔腔内和频获得了输出功率为 3.6 W 的连续单横模 593.5 nm 橙黄色激光输出,光光转换效率达 13.2%,功率稳定,光束质量好。实验结果表明:采用 Nd:YVO₄ 激光晶体腔内和频是获得 593.5 nm 橙黄色激光的有效方法,此方法可推广到其他激光晶

体内腔非线性和频以获得更多波长激光输出,因此,本文论述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] Y Chen, T Huang, C Wang, et al. Compact and Efficient 3.2 - W Diode-Pumped Nd:YVO₄/KTP Green Laser[J]. Appl. Opt. 1998, 37:5727 - 5730.
- [2] C Czeranowsky, E Heumann, G Huber. All-solid-state continuous-wave frequency-doubled Nd:YAG BiBO laser with 2.8 - W output power at 473 nm [J]. Opt. Lett. , 2003, 28:432 - 434.
- [3] 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.
- [4] Yung-Fu Chen, Diode-pumped Q-switched Nd : YVO₄ yellow laser with intracavity sum-frequency mixing [J]. Opticslet-Ters, 2002, 27(6) :397 - 399.
- [5] 吕彦飞,张喜和,姚治海. 全固态复合腔内和频 613 nm 连续波橙光激光器[J]. 激光与红外, 2007, 37(7) : 614 - 616.
- [6] 吕彦飞,张喜和,夏菁,等. 全固态连续波 501 nm 青光激光器[J]. 激光与红外, 2008, 38(11) :1080 - 1082.
- [7] 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.
- [8] Y F Chen. Efficient generation of continuous-wave yellow light by single-pass sum-frequency mixing of a diode-pumped Nd:YVO₄ dual-wavelength laser with periodically poled lithium niobate [J]. Opt. Lett. , 2002, 27(20) : 1809 - 1811.
- [9] Yung-Fu Chen. Diode-pumped Q-switched Nd : YVO₄ yellow laser with intracavity sum-frequency mixing [J]. Opt. Lett. , 2002, 27(6) :397 - 399.