

高功率全固态准连续钛宝石激光器的实验研究^{* *}

邹雷^{**}, 丁欣, 温午麒, 于意仲, 王鹏, 姚建铨

(天津大学精仪学院激光与光电子研究所, 教育部光电信息技术科学重点实验室, 南开大学、天津大学联合研究院, 天津 300072)

摘要:以激光二极管阵列(LDA)抽运 Nd:YAG 内腔倍频激光器作为抽运源, 实现了全固态准连续钛宝石激光器的高功率、高效率运转。实验中, 选择 750~850 nm 宽带膜片组, 钛宝石输出镜的透过率分别为 $T=5\%$ 、 10% 和 15% 。当 532 nm 的抽运光为 27 W 时, 得到了 6 W 输出功率及 22.2% 的转换效率。

关键词:全固态; 准连续; 激光二极管抽运(DPL); 钛宝石激光器; 高功率; 高效率

中图分类号: TN248.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-0086(2005)06-0650-03

Experimental Study of High Power, High Efficiency, All-solid-state Quasi-continuous-wave Ti:sapphire Lasers

ZOU Lei^{**}, DING Xin, WEN Wu-qi, YU Yi-zhong, WANG Peng, YAO Jian-quan

(College of Precision Instrument and Opto-electronics Engineering, Institute of Laser and Opto-electronics, Tianjin University, Key Lab. of Opto-electronics Information Science and Technology EMC, Cooperated Institute of Nankai University and Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: This paper reports an high output power, high conversion efficiency, all-solid-state, quasi-continuous-wave Ti:sapphire laser system pumped by frequency-doubled Nd:YAG laser with diode pumped laser(DPL). In the experiment, A set of Ti:sapphire resonator mirrors from 750 to 850 nm is chosen, and the transmission rate of the output mirror is 5%, 10%, 15% respectively. When the output power of 532 nm pump source is 27 W, the maximum of the Ti:sapphire laser output power is 6 W which tops this field so far and the higher conversion efficiency is 22.2%.

Key words: all-solid-state; quasi-continuous-wave; diode pumped laser(DPL); Ti:sapphire laser; high power; high efficiency

1 引言

由于钛宝石晶体中 Ti^{3+} 的电子能级与周围晶格振动能级间的耦合, 决定了钛宝石激光器具有很宽的光谱调谐范围(660~1200 nm, 相当于多组染料所能覆盖的激光波段的总和), 从而实现了固定激光器的波长可调谐。目前, 对于锁模钛宝石激光器的研究已趋于成熟^[1]; 对于由全固态准连续倍频 Nd:YAG 激光器来抽运钛宝石激光器的研究, 有中国科学院物理

研究所的输出功率为 660 mW、转换效率为 9.4% 的钛宝石激光器^[2] 以及天津大学激光与光电子研究所的输出功率为 4.7 W、转换效率为 19.6% 的钛宝石激光器^[3]; 而由全固态准连续倍频 Nd:YAG 激光器来抽运的可调谐钛宝石激光器的研究, 仅有北京工业大学的输出功率为 0.94 W、转换效率为 13.6%、在 720~820 nm 连续调谐的钛宝石激光器^[4]。究其原因, 主要是因为钛宝石增益谱线的中心波长范围在 750~850 nm 左右, 在其它区域的增益较低, 需要更

* 收稿日期: 2004-10-15 修订日期: 2005-01-07

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60278001); 教育部天津大学、南开大学科技合作项目资助项目

** E-mail: zoulei@126.com

大的钛宝石激光输出功率才能获得该范围的窄带调谐输出。此外,天津大学应用物理系对双折射滤光片的设计进行了研究和报道^[5]。

本文采用高功率、高效率激光二极管抽运(DPL)的声光调Q内腔倍频Nd:YAG激光器作为钛宝石谐振腔的抽运源,其中作为原始抽运源的连续波LD阵列的功率为240W,最终实现准连续全固态运转的钛宝石激光的最大输出功率为6W,而且22.2%的转换效率也是目前这一领域的最高水平,这为将要进行的低增益区的调谐输出打下坚实的基础。通过双折射滤光片对输出波长进行了初步、简单的调谐,获得了850nm附近窄带波长输出的比较满意的实验结果。

2 实验装置及结果分析

实验装置如图1所示。采用12个20WLD组成LD阵列,总抽运功率为240W,激光介质的尺寸为3mm×70mm,两端镀1064nm的增透膜;倍频晶体采用类相位匹配的KTP晶体($\theta = 23.6^\circ$; $\phi = 90^\circ$),其尺寸为6mm×6mm×10mm,两面镀1064nm和532nm的增透膜;产生532nm的激光腔长为340mm;声光Q开关器件的调制频率为2~30kHz;实验中,测量在抽运电流为23A时,532nm最大输出功率为27W,此时脉冲宽度80ns,重复频率为10kHz。图2是532nm抽运功率随输入电流的变化

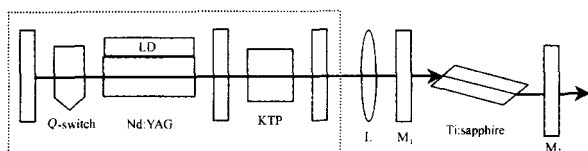


图1 全固态准连续钛宝石激光器系统
Fig. 1 All solid state quasi continuous Ti:sapphire laser system

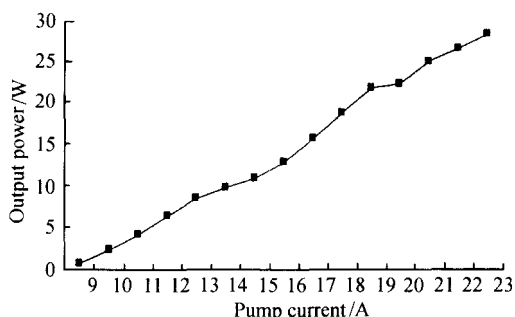


图2 532nm抽运功率随输入电流的变化关系

Fig. 2 Variation of 532 nm pump power with input current

关系。

为了使抽运光与振荡光模式更好的匹配,获得更高的功率密度,使用焦距为150mm的聚焦透镜把抽运光汇聚到钛宝石腔中,而钛宝石晶体放在抽运光束的焦点处。并且为了抵消热沉积,晶体与铜质的水冷片相连;钛宝石晶体由上海光机所提供,尺寸为7mm×7mm×16mm,品质因素 $FOM = 300$ 。

为了实现高的转换效率,需满足泵浦光和振荡光的模体积匹配。因此,泵浦光和振荡光尺寸相比拟时,泵浦阈值越低,输出功率越高,模式也越好。由于在实验中,抽运光多模运转并且发散角很大,即使经过透镜聚焦后,在钛宝石晶体内的光斑半径仍比较大(约200μm),即抽运体积比较大。流行的四镜折叠腔中,振荡激光在钛宝石晶体中的光斑半径很小(一般小于50μm),模体积很小,这样只有部分反转粒子数被利用,故激光转换效率很低。而在两镜直腔中,振荡光的模体积比较大,可以充分利用整个抽运区。所以,为了改善抽运光束与振荡光束在增益区内的匹配,提高激光转换效率,决定采用两镜直腔的腔型。

利用美国Agilent Technologies公司的光谱分析仪,测得输出光谱如图3所示。由图3可以看出,钛宝石的荧光谱线很宽,在750~850nm腔镜下仍能得到770~830nm的宽带光谱,其脉冲峰值为797nm。

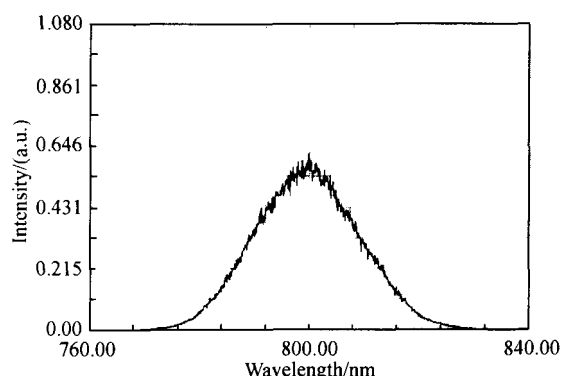


图3 钛宝石激光器输出光谱图

Fig. 3 Ti:sapphire laser output spectrogram

钛宝石激光的阈值抽运功率为4W,当532nm抽运功率达到27W时,可得到6W的输出功率,此时的钛宝石激光器转换效率为22.2%。测得此时输出脉冲宽度为38.4ns(如图4示)。

钛宝石激光器的输出功率、转换效率随532nm抽运功率的变化关系如图5所示。我们发现,当提高抽运功率时,转换效率也随之提高。

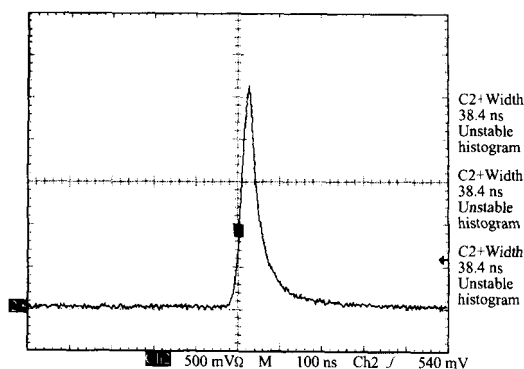


图 4 钛宝石功率为 6 W 时的脉宽图

Fig. 4 Pulse width while the output power of Ti:sapphire is 6 W

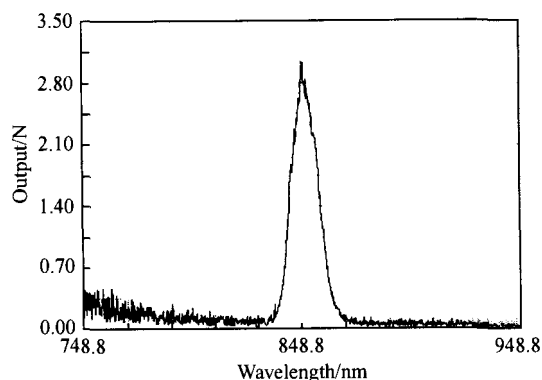


图 6 钛宝石激光器在 848.8 nm 处的调谐输出曲线

Fig. 6 Ti:sapphir laser output at 848.8 nm

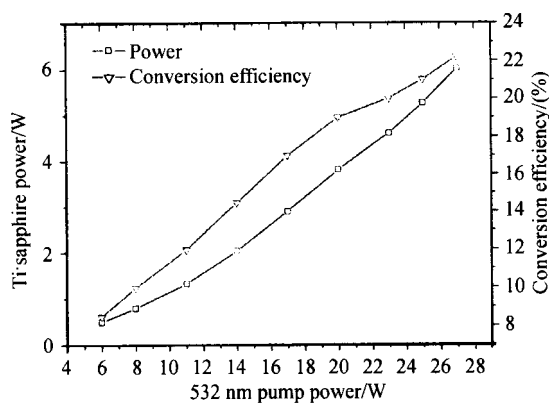


图 5 输出功率、转换效率随 532 nm 抽运功率的变化关系图

Fig. 5 Variation of output power and conversion efficiency with 532 nm pump power

在上述实验装置的基础上,在钛宝石腔内加入了双折射滤光片,通过双折射滤光片对输出波长进行初步、简单的调谐,获得了 848.8 nm 窄带波长输出的比较满意的实验结果,如图 6 所示。

3 结论

由于实验仪器所限,实验并没有达到其所能达到的最理想结果。如果换用具有更高功率的 Nd:YAG 激光器,使得作为钛宝石抽运光源的 532 nm 激光的

功率提高,那么将会产生更高的输出功率以及更高的转换效率,从而可以获得更宽范围的波长调谐。

参考文献:

- [1] CAO Shi-ying, WANG Qing-yue, WANG Zhuan, et al. Compensation of spatial of dispersion in self-starting mode-locked Ti:Al₂O₃ laser[J]. Journal of Optoelectronics · Laser(光电子 · 激光), 2004, 15(3): 312-314. (in Chinese)
- [2] ZHANG Hong-bo, FENG Yan, XU Gui-chang, et al. All-solid-state Q-cw, Ti:sapphire laser[J]. Chinese Journal of Lasers(中国激光), 2002, 29(7): 666. (in Chinese)
- [3] ZOU Lei, DING Xin, WEI Quan-fu, et al. High power high efficiency all-solid-state quasi continuous Ti:sapphire laser[J]. Chinese Journal of Lasers(中国激光), 2004, 31(12): 1TP9-1412. (in Chinese)
- [4] WANG Li-xin, LI Gang, WANG Wei-xiang, et al. Study on the Q-cw, Ti:sapphire laser[J]. Applied Lasers(应用激光), 1999, 19(3): 101-103. (in Chinese)
- [5] LU Zhang-xian, TANG Duo-qiang, HU Hong-zhang, et al. Synthetical design of tunable birefringent filters for Ti:sapphire laser[J]. Journal of Optoelectronics · Laser(光电子 · 激光), 1999, 10(6): 498-500. (in Chinese)

作者简介:

邹雷 (1980 -), 男, 在读博士生, 目前从事全固态激光器、频率变换技术、可调谐激光器及钛宝石激光器的研究工作。