

文章编号:1001-5078(2007)01-0041-03

LD 端面泵浦单频调 Q 激光器的研制

郝二娟^{1,2}, 檀慧明¹, 李 特^{1,2}, 钱龙生¹

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130022; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要:用激光二极管(LD)泵浦 Nd:YVO₄ 晶体,采用四镜环形腔结构,腔内放置由法拉第旋光器和 $\lambda/2$ 波片及布氏片组成的光学单向器,实现了稳定的 1064nm 单频激光的输出,在腔内插入 Cr⁴⁺:YAG 晶体时,获得了脉宽为 100ns、重复频率为 21kHz 的单纵模被动调 Q 激光输出。

关键词:Nd:YVO₄; 单频; 被动调 Q

中图分类号:TN248.1 **文献标识码:**A

Study of LD End Pumped Q-switched Single Frequency Laser

HAO Er-juan^{1,2}, TAN Hui-ming¹, LI Te^{1,2}, QIAN Long-sheng¹

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Changchun 130022, China;
2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: A frequency-stability ring Nd:YVO₄ laser end pumped by a laser diode through fiber-coupling was designed and experimentally demonstrated. A passive Q-switched single-frequency laser was also achieved in a ring cavity by inserting a piece of Cr⁴⁺:YAG as an intracavity laser pulse saturable absorber. The Q-switched single-frequency laser pulse duration was measured to 100ns and the repetition rate was 21kHz.

Key words: Nd:YVO₄; single-frequency; passive Q-switched

1 引言

LD 泵浦的固体激光器具有效率高、结构紧凑、性能稳定、寿命长等优点,因而引起人们的广泛重视,尤其是全固化单频激光器,被广泛地应用于信息处理、量子光学、相干通信、引力波探测、参量振荡和量子信息等领域^[1]。近几年,国内外学者在理论和实验上对 LD 泵浦的固体单频激光器进行了大量的研究,提出了诸如标准具、四分之一波片、短程吸收法、双折射滤光片技术等实现单频输出的方案。这些方案各有局限性,前两种方案由于插入元件会引起较大的损耗,无法获得高效率的单频输出^[2];短程吸收法则要求激光工作物质很短,难以得到较高的泵浦吸收效率^[3];有关实验已经证实双折射滤光片技术也不能获得较高功率的单频绿激光输出^[4]。本文采用行波腔法,实现了 LD 泵浦的固体单频红外激光器的运转。在插入 Cr⁴⁺:YAG 晶体时,又获得了脉宽为 100ns、重复频率为 21kHz 的单纵模被动调 Q 激光输出。

2 实验装置及腔形设计

实验采用光纤耦合的激光二极管作为泵浦源,25℃下输出中心波长为 806.6nm,经准直聚焦系统(传输耦合效率约为 80%)会聚成半径为 200 μ m 的泵浦光斑,注入到 Nd:YVO₄ 工作物质中。激光二极管泵浦的 Nd:YVO₄ 单频激光器采用的环形腔结构如图 1 所示。

Nd:YVO₄ 晶体采用 a 轴切割,掺杂浓度为 0.5at%,尺寸为 3 \times 3 \times 5mm³,两端面均镀有 808nm 和 1064nm 的增透膜。平面镜 M₁ 为输入耦合镜,靠近泵浦源的一端镀 808nm 的增透膜,靠近激光晶体的一端镀有对 1064nm 高反、对 808nm 增透的膜, $R_{1064\text{nm}} > 99.5\%$, $R_{808\text{nm}} < 5\%$; M₃、M₄ 为凹面镜,凹面

基金项目:863 课题基金资助项目(2002AA311140)。

作者简介:郝二娟(1980-),女,中国科学院长春光学精密机械与物理研究所博士研究生,主要从事二极管泵浦固态激光器方面的研究。

收稿日期:2006-05-07

测的自动化程度等,以提高实验的质量和精度。

4.2 激光导引星及钠激光器的发展

4.2.1 激光导引星

自适应光学系统需要在空中有一个参考光源,用来测量由于大气湍流产生的波前畸变,这个参考光源必须具有足够的亮度,并在视角上尽可能地靠近需要攻击和观测的目标。天空中明亮的天然星是理想的参考光源,然而不幸的是,不到10%的天空才有足够亮的天然星,可用来校正大气畸变,为了在大多数方向上校正大气畸变需要产生人造导引星。最广泛采用的方法是利用一台波长调谐到钠 D_2 线(589nm)的激光器,激发90km高空、10km厚散逸层里的钠原子,使其产生一个亮点,能被自适应光学系统中的波前传感器检测到,以便对大气畸变进行实时的精确测量。钠原子是流星与上层大气碰撞沉积下来的,表1归纳了散逸层钠的特性。尽管其浓度很低,但也能对激光的激发产生强烈的响应,以非常特殊的频率(黄光波段)发射出它的全部光能。因此要使3.5m望远镜的自适应光学系统高性能地工作,把高能激光传输到卫星上涉及的关键技术是要激发高空散逸层中的钠原子的技术。

表1 散逸层钠的特性

| | |
|------|--|
| 高度 | 85 ~ 100km |
| 丰度 | $10^3 \sim 10^4$ 原子/cm ² |
| 柱密度 | 5×10^9 /cm ² |
| 温度 | 200K |
| 吸收分布 | 3GHz 多普勒增宽 |
| 辐射寿命 | 16ns |
| 饱和强度 | 在 6.3mW/cm^2 、10MHz 线宽情况下为 5W/cm^2 (全吸收谱) |

光速极快但毕竟有限,根据称之为可逆性的大气特性,对地基激光束控问题最好的解决办法是在卫星前方25m处产生一个明亮的信标。因为在信标激光一个来回的时间里,卫星要移动25m(即大约是聚焦的衍射极限激光束直径的100倍)。采用提前瞄准的方法,就能使高能激光束沿实际大气湍流的路径射向卫星,从而得到有效的补偿。

4.2.2 钠激光器的发展现状和未来

4.2.2.1 对钠信标激光器的基本要求

为了产生自适应光学所用散逸层中的钠信标,迫切需要工作于钠原子吸收波长(589nm)的高效和高束质的激光器。研制用于地基激光反卫所需的钠信标激光器难度非常大,因为与红外天文学相比,它

要求较高的空间分辨力和较宽的带宽。红外天文学的工作,采用10~20W的信标激光器即可,如果要把它推进到地基激光反卫的可见光波长,就需要200W的平均功率,重复频率1kHz。激光器必须产生足够亮的导引星,使返回的光子足以被波前传感器以所需的帧频检测到。为了有效地激发钠原子,还必须非常精确地保持激光的频率,并在钠 D_2 线具有窄的带宽。同时,激光应是圆偏振光,以增加返回的光子数。

适合产生钠信标的两类激光器是染料激光器和固体激光器。由于要把染料激光器定标到更高的功率(如200W)将会受到饱和强度的限制,因此人们更看好固体激光器。作为未来的发展,美国正在为下一代的大型望远镜研发钠信标光纤激光器。

4.2.2.2 染料激光器

把染料激光器作为钠信标激光器是很自然的事,因为它可以调谐到钠 D_2 线共振。LLNL创先采用脉冲染料激光器技术产生钠激光导引星,在发展原子蒸汽激光同位素分离激光器的基础上,它在用于导引星高束质脉冲染料激光器方面取得了重大进展。1996年,他们在Lick天文台的3m直径Shane望远镜上安装了脉冲染料钠激光器,它与127单元的自适应光学系统相配合,获得的Strehl比高达0.4,拍摄到了非常清晰的天文图像。最近对激光导引星系统进行了改进,大大提高了光束质量和系统性能。这台脉冲染料激光器的平均输出功率为15W,脉冲速率为11kHz,脉冲宽度为100ns。染料主振荡器、预放大器 and 放大器用3个40W的倍频Nd:YAG激光器抽运。他们用这个系统测得的返回光子通量为0.25光子/(cm²·ms)。

在对以上系统进行了大量的改进和升级后,2000年在10m直径的Keck II望远镜安装了一个新的激光导引星系统,脉冲染料激光器的输出功率是14.8W,它与349个单元的自适应光学系统相配合,获得了0.647的Strehl比,能量稳定度达1.5%^[10]。

通过增加染料放大器和Nd:YAG抽运激光器,可以把这种脉冲染料激光器定标到更高的功率,用于地基激光反卫。然而在150ns脉冲长度和30kHz重复频率情况下,200W的平均功率将达到 5W/cm^2 的饱和强度,这将严重影响自适应光学性能。这就提出了一个问题,是否有其他可供选择的激光器,使其具有更合适的脉冲形式,可以把饱和强度降至最低。

4.2.2.3 二极管抽运固体激光器

固体激光器的脉冲形式可使它定标到较高的平

$\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$ 晶体的初始透过率为 70%,并且两边均镀 1064nm 的增透膜。随着注入功率的增加,重复频率和平均输出功率均增加,脉宽变化较小;当注入功率一定时,脉宽随着腔长的改变有较大的变化。在 8W 的注入功率下,我们获得了脉宽为 100ns、重复频率为 21kHz 的单纵模被动调 Q 激光输出,平均功率为 3.9W。图 4、图 5 为激光输出的时间波形图。如果我们选用未镀膜的 $\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$ 晶体以布氏角放入腔内,在做被动调 Q 开关的同时,也起到了布氏片的作用,则可进一步简化结构,减小损耗。

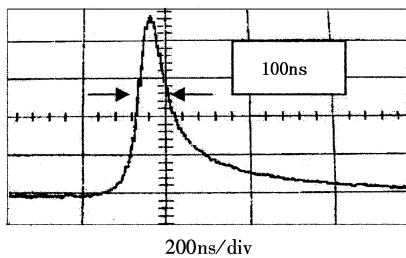


图 4 被动调 Q 的时间波形图

Fig. 4 scilloscope trace of the Q-switched pulse

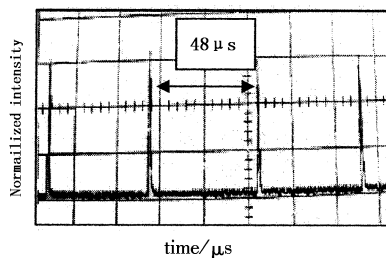


图 5 脉冲的重复频率 21kHz

Fig. 5 the corresponding laser pulse repetition rate was recorded to be 21kHz

(上接第 33 页)

3 测角精度分析

测角精度主要由轴系误差、编码器的精度和密位显示最小分辨率决定。

3.1 轴系误差

轴系误差由机械精度及装配精度决定,这里不再详细讨论。

3.2 编码器的精度误差

14 位光电编码器经电路细分处理提高其分辨率后,可达到正负 79"以内。由于高低角是通过反射镜的水平轴转动实现的,高低编码器轴直接与水平轴连接,因此高低角的改变量是编码器所测角度的两倍,密位变换数据处理时得乘以二倍,所以高低编码器的测角误差最大为正负 159"。

3.3 密位显示误差

密位显示分辨率为 0.5 密位,则显示误差为 $0.5/2 = 0.25$ 密位,即在正负 54"以内。

5 结论

本文利用行波腔结构,获得了高功率的单纵模红外激光输出,在插入被动调 Q 晶体 $\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$ 时,获得了脉宽为 100ns、重复频率为 21kHz 的单纵模被动调 Q 激光输出。

参考文献:

- [1] 崔美云,王海波,马艳,等. 激光二极管抽运的高输出单频 Nd:YVO₄ 激光器[J]. 光学学报,2001,21(3):271-273.
- [2] 郑义,钱卫红,姚建铨. LD 泵浦的内腔倍频激光器单频运转的理论研究[J]. 中国激光,1997,24(8):673-678.
- [3] Gregory J Kintz, Thomas Baer. Single-frequency operation in solid-state laser materials with short absorption depths [J]. IEEE J. Quant. Electron., 1990, 26(9):1457-1459.
- [4] Hideo Nagai, Masahirokume, et al. Low-noise operation of a diode-pumped intracavity-doubled Nd:YAG laser using a Brewster plate [J]. IEEE J. Quant. Electron., 1992, 28(4):1164-1168.
- [5] M E Innocenzi, H T Yura, C L Fincher, et al. Thermal modeling of continuous-wave end-pumped solid-state lasers [J]. Appl. Phys. Lett., 1990, 56(19):1831-1833.
- [6] 刘均海,吕军华,卢建仁,等. 高功率端面抽运 Nd:YVO₄ 固体激光器模式匹配的研究[J]. 光学学报,2000,20(2):186-189.
- [7] W Sooy. The natural selection of modes in a passive Q-switched laser [J]. Appl. Phys. Lett., 1965, 7(2):36.
- [8] B Soffer. Giant pulse laser operation by a passive, reversibly bleachable absorber [J]. J. Appl. Phys., 1964, 35:2551.

综上所述测角精度的最大误差为三者最大误差的方根,在轴系误差有保证的情况下,测角精度能满足要求。

4 结论

通过方位和高低传感器分时脉冲工作,本设计只需一套硬件处理电路就能完成方位和高低角度的测量,大大减化了硬件电路、降低了功耗、缩小了系统尺寸,使本设计更加小型化。光电编码器角度测量电路近些年来已广泛应用于侦察车等系列的车载目标测量系统中,经过实践证明其稳定性、精度和可靠性完全可以满足实际需要,由于其价格低廉、方便实用,在未来的车载装置中想必会得到更广泛的应用。

参考文献:

- [1] 阎石. 模拟电路与数字电路[M]. 北京:高等教育出版社,1999.
- [2] 李刚. ADUC8XX 单片机原理与应用技术[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2002.
- [3] 廖延彪. 物理光学[M]. 北京:电子工业出版社,1985.