

文章编号: 1005-5630(2008)05-0086-04

全固态黄光激光器技术综述*

曹思维, 李斌, 刘规东, 李永大, 姚 矣, 陈金强, 林 楠

(长春理工大学 物理系, 吉林 长春 130022)

摘要: 黄光激光器在诸多领域有重要的应用, 已经成为激光领域的一个研究热点, 并取得了丰硕的研究成果。现对各种全固态黄光激光器的设计方案做了详细的总结和讨论, 并指出了全固态黄光激光器的发展方向。

关键词: 激光技术; 全固态; 黄光激光器

中图分类号: TN 248 **文献标识码:** A

Survey on all-solid state yellow laser technology

CAO Siwei, LI Bin, LIU Guidong, LI Yongda, YAO Yi, CHEN Jinqiang, LIN Nan

(Department of Physics, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China)

Abstract: Research on all solid state yellow laser has been a hot field in recent years because of its potential application in many fields and got many plentiful achievement. In this paper, various design schemes of all solid state yellow laser were summed up and discussed in detail, and the developing tendency of yellow laser was pointed out.

Key words: laser techniques; all-solid state; yellow laser

1 引言

LD 泵浦全固态激光器通过倍频技术已经获得了红、绿、蓝激光输出^[1-4], 并且得到了广泛的应用。然而 550~620nm 黄光激光由于缺少基频光而无法通过倍频手段获得, 但黄光波段的激光在生物医学、玻色——爱因斯坦凝聚、大气测量等领域有广泛的应用^[5], 所以高功率的全固态黄光激光器成为激光领域的一个研究热点。现对近几年来国内外黄光激光技术做了相应的总结, 并指明了黄光激光器的发展方向。

2 黄光激光器的获得方法

2.1 和频手段

20 世纪 90 年代初, 一些研究者开始对掺 Nd³⁺ 激光增益介质多波长振荡和输出进行了研究, 并给出了多波长的振荡条件^[6]。目前利用双波长同时运转并利用和频手段来获得黄色激光是一种非常流行的方法, 其中最常用的方法是利用 Nd:YAG 晶体的 1064nm 和 1319nm 同时运转和频来得到 589nm 的黄色激光^[7,8] 和利用 Nd:YVO₄ 的 1064nm 谱线与 1342nm 谱线同时运转通过和频手段获得 593nm 的黄光激光^[9-12]。为了使和频效率最高还要使和频谱线的光子之比 1:1, 即两者腔内的光功率密度之比为 1.23:1, 根据腔内光功率

* 收稿日期: 2007-12-18

作者简介: 曹思维(1982), 男, 吉林省吉林市人, 硕士研究生, 主要从事固体激光器件及非线性频率变换方面的研究。

与泵浦光功率以及阈值功率之间的关系表达式:

$$P_{in} = \frac{2}{L - \ln R} \eta_{其它} \eta_k (P_P - P_{th}) \quad (1)$$

现得到表达式中 P_{in} 表示腔内光功率, P_P 为泵浦光功率, P_{th} 为阈值光功率, R 为谐振腔两腔镜对激光辐射的反射率之乘积, L 为腔内的往返损耗和黄光输出折算到基频光的线性损耗之和, η 表示斯托克斯因子, $\eta_{其它}$ 表示除去斯托克斯因子以外在激光产生过程中泵浦光转换到激光上能级的其它的能量传输效率的乘积, 通过计算可以近似地认为它不随波长的改变而改变。由式(1)可以把双波长运转时 1064nm 和 1319nm 两条谱线腔内光子数比为 1:1 时两者腔内功率之比表示为:

$$\frac{P_{in1064}}{P_{in1319}} = \frac{P_P - P_{th1064}}{P_P - P_{th1319}} \cdot \frac{L - \ln R_{1320}}{L - \ln R_{1064}} \frac{\eta_{1064}}{\eta_{1319}} = 1.23 \quad (2)$$

由于 $\frac{\eta_{k1064}}{\eta_{k1319}} = 1.23$, 所以由式(2)得到:

$$\frac{P_{in1064}}{P_{in1319}} = \frac{P_P - P_{th1064}}{P_P - P_{th1319}} \cdot \frac{L - \ln R_{1320}}{L - \ln R_{1064}} = 1 \quad (3)$$

其中 P_{th} 的表达式如下:

$$P_{th} = \frac{\pi h \nu_p (\omega_L^2 + \omega_p^2) (L + T_4)}{4 \sigma \eta_k} \quad (4)$$

式(4)中 P_{th} 为激光阈值, τ 为激光的上能级光寿命, σ 为受激辐射截面, L 为腔内的往返损耗, T 为输出镜的透过率, η_k 为泵浦能被转换到激光上能级的转换效率, $h\nu_p$ 为泵浦光的光子能量, ω_L 和 ω_p 分别是工作物质中泵浦光光斑和腔内基模光斑的半径。由式(3)、式(4)可以计算出在不同泵浦功率、不同腔损耗下为使两光子数密度之比达到 1:1 时对 1064nm 的透过率。其普遍的装置如图 1 和图 2 所示。

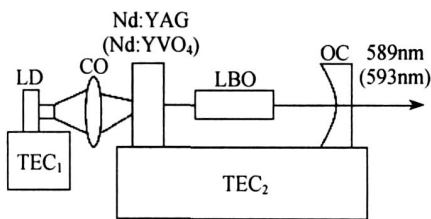


图 1 直腔黄光激光器结构

Fig.1 Schematic of plane curved of yellow laser

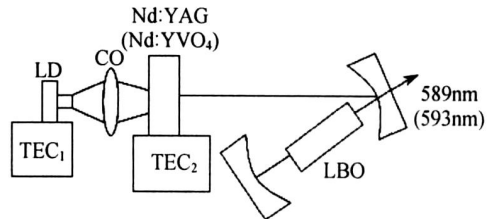


图 2 V腔黄光激光器结构

Fig.2 Schematic of V-cavity of yellow laser

这两种装置具有结构简单、紧凑的优点, 这种装置不仅对镀膜要求及其严格, 而且还会造成一定的能量浪费, 在输出黄光的同时还会杂夹一定量的未被利用的红外光, 以上方法已经获得了功率为几十毫瓦到几百毫瓦的黄光激光, 但很难使黄光激光的输出功率达到 1W 以上。为了改变以上缺点, 一些研究者利用复合腔的方法来实现和频^[5, 13~15], 装置如图 3 所示。

这种腔不需要在输出镜镀制 1064nm 部分透射膜, 只需要镀制两谱线的全反膜即可, 通过控制两 LD 的泵浦功率来控制腔内两光子数之比, 从而避免了能量的浪费, 提高了效率, 可以实现黄光的瓦级输出。如文献[5]的输出功率已经达到 3W, 但此结构复杂、造价高, 不利于产品化、小型化。为实际生产带来一定的困难。

2.2 倍频及其它手段

Nd:YAG 激光光谱中存在 30 多条谱线^[16], 除去 946nm、1064nm、1319nm 谱线以外 1112nm、1116nm、1123nm 谱线的相对性能也比较好^[17]。以上三条谱线通过倍频后可以产生 556nm、

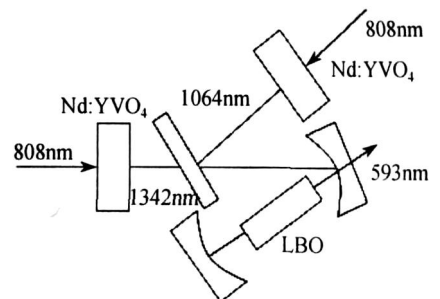


图 3 复合腔黄光激光器结构

Fig.3 Schematic of doubly-cavity of yellow laser

558nm、561nm 的黄光,但这三条谱线的增益比较小,要它们运转必须对增益较强的 946nm、1064nm、1319nm 谱线进行抑制,一般是利用对腔镜镀三条谱线的增透膜来实现的,但很难通过镀膜将 1112nm、1116nm、1123nm 谱线分开,使其单一起振。有两种方法可以实现单色输出,第一种是在腔内插入选模标准具,通过旋转标准具角度来实现选模^[18];第二种方法是利用接收角小的倍频晶体,通过仔细调整倍频晶体的角度来实现只对其中的一条谱线倍频^[19]。以上方法的装置如图 4 所示,如文献[19]通过这种倍频的方法输出的 556nm 的黄光激光已经达到了 102mW,文献[20]利用 V 型腔 KTP 内倍频,通过对谐振腔的优化输出的 556nm 的功率达到 1.5W。

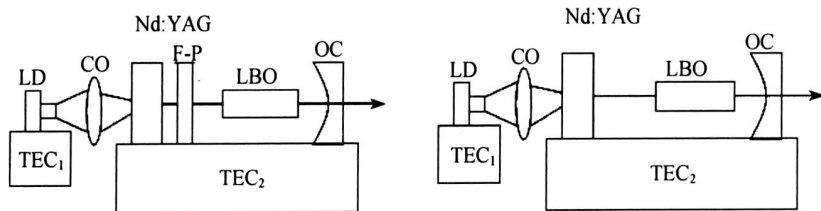


图 4 倍频黄光激光装置

Fig. 4 Setup of frequency doubling of yellow laser

近几年还出现一种利用 Raman 受激散射的方法来获得黄光激光的方法,例如利用 1064nm 激光泵浦 Ba(NO₃)₂ 可以得到 1198nm 或 1126nm 的红外光^[21],如将 1198nm 或 1126nm 倍频则可以产生 599nm 或 563nm 的黄光激光,而利用 532nm 直接泵浦 Ba(NO₃)₂ 也可以产生 563nm 和 599nm 的黄光激光^[22]。最近 Dekker P 等人利用 KGd(WO₄)₂, 作为 Raman 频移晶体(其规格为 5mm × 5mm × 25mm) 产生了 1176nm 的 Stokes 谱线,然后利用 3mm × 3mm × 10mm 的 LBO 晶体对 1176nm 激光进行倍频,最终在 13.7W 连续泵浦功率下,产生 704mW 的 588nm 黄光激光^[23],为了降低热效应,在调制的情况下,相同的泵浦功率时获得 1W 以上的黄光。其装置如图 5 所示。

3 结束语

现对过去几年黄光激光器技术做了总结,对于将来黄光激光器还应有以下几个发展方向:

- (1) 高功率方向 目前黄光激光器的输出功率水平还很低,很难能类似于绿光激光器获得几十瓦或上百瓦的功率,如何提高黄光激光器的功率便是有待解决的问题。
- (2) 高效率方向 黄光激光器的效率普遍很低通常光-光转换率一般在 5% 以内,所以如何提高效率将成为未来的一个发展方向。
- (3) 新材料方向 所谓“一代材料 一代技术”。黄光激光器之所以效率低是由于没有使其直接产生黄光的晶体或提供高质量的基频光的晶体,所以如何生长出优良的激光晶体和非线性晶体也是有待解决的问题。

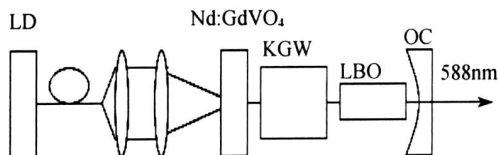


图 5 Raman 黄光激光装置

Fig. 5 Setup of Raman yellow laser

参考文献:

[1] 何京良,侯伟,张恒利,等. LD 抽运 Nd:YVO₄ 腔内倍频连续波 8.8W 绿光激光器[J]. 中国激光, 2000, 27(6): 481- 484.
 [2] Zeranosky C C, Henmann E, Huber G. AlF solid state continuous wave frequency doubled Nd:YAG BiBO laser with 2.8W output power at 473nm[J]. Opt Lett, 2003, 28(6): 432- 434.
 [3] Xue Q H, Bu Y K, Jia F Q, et al.. Compact efficient 1.5W continuous wave Nd:YVO₄/LBO blue laser at 457nm[J]. Opt Communications, 2006, 25(8): 67- 71.
 [4] Antonio A, Annalisa G, Giancarlo R. High brightness 2.4W continuous wave Nd:GdVO₄ laser at 670nm[J]. Opt Lett, 2004, 29(1): 56- 58.
 [5] 耿从爱,薄勇,毕勇,等. V 型腔和频产生 3W 连续波 589nm 黄光激光器[J]. 物理学, 2006, 55(10): 5227- 5231.

- [6] Shen H Y, Zeng R R, Zhou Y P, *et al.* . Comparison of simultaneous multiple wavelength lasing in varies neodymium host crystals[J]. *Appl Phys Lett*, 1990, 56(20): 1937– 1938.
- [7] 贾富强, 卜轶坤, 郑 权, 等. LD 泵浦腔内和频 589nm 黄光激光器[J]. 激光与红外, 2004, 34(6): 439– 441.
- [8] 吕彦飞, 檀慧明, 钱龙生. LDA 抽运 Nd YAG/KTP 腔内和频 589nm 连续波激光器[J]. 光子学报, 2005, 34(9): 1281– 1283.
- [9] 卜轶坤, 郑 权, 薛庆华, 等. LD 泵浦 Nd YVO₄/LBO 腔内和频连续黄光激光器[J]. 光子学报, 2005, 34(6): 801– 805.
- [10] 吕彦飞, 檀慧明, 高兰兰, 等. LBO1 类临界相位匹配内腔和频 593. 5nm 激光器[J]. 激光与红外, 2005, 35(1): 45– 47.
- [11] Chen Y F. Diode pump Q-switch Nd YVO₄ yellow laser with intracavity sum-frequency mixing[J]. *Opt Lett*, 2002, 27(6): 397– 399.
- [12] Chen Y F. Efficient generation of CW yellow light by single pass sum-frequency mixing of a diode pump Nd YVO₄ dual wavelength laser with PPLN[J]. *Opt Lett*, 2002, 27(20): 1809– 1811.
- [13] 吕彦飞, 檀慧明, 钱龙生. 全固态 589nm 复合腔连续波和频激光器[J]. 光学精密工程, 2005, 13(3): 261– 264.
- [14] 吕彦飞, 檀慧明, 缪同群, 等. 全固态 593 nm 复合腔连续波和频激光器[J]. 中国激光, 2005, 32(6): 729– 733.
- [15] 吕彦飞, 檀慧明, 钱龙生. 激光二极管抽运和频连续波 589nm 激光器[J]. 中国激光, 2007, 34(8): 1043– 1047.
- [16] Sigh S, Smith R G, Viter G V. Stimulated emission cross section and fluorescence quantum efficiency of Nd³⁺ in yttrium aluminum garnet at room temperature[J]. *Phys Rev B*, 1974, 10: 2566– 2570.
- [17] Koechner W. 固体激光工程[M]. 北京: 科学出版社, 2002. 45.
- [18] 贾富强, 薛庆华, 郑 权. 1. μm 波段 Nd YAG 激光运转及其腔内倍频[J]. 光电子 激光, 2005, 16(7): 788– 792.
- [19] 贾富强, 薛庆华, 郑 权, 等. 全固态 LBO 腔内倍频 556nm 黄光激光[J]. 中国激光, 2005, 32(8): 1017– 1021.
- [20] Jia F Q, Zheng Q, Xue Q H, *et al.* . Yellow light generation by frequency doubling of a diode pumped Nd: YAG laser[J]. *Opt Commun*, 2006, 259(1): 212– 215.
- [21] Ting C H, Hong L Q, Xing D T, *et al.* . High efficiency short pulse 1198nm Ba(NO₃)₂ Raman laser[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, 36(4): 581– 584.
- [22] Ting C H, Hong L Q, Xing D T. CW Ba(NO₃)₂ external Raman laser excited by 532nm laser[J]. 强激光与粒子束, 2005, 17(11): 1617– 1620.
- [23] Dekker P, Pask H M, Piper P A. All solid-state 704mW continuous wave yellow source base on an intracavity frequency double crystalline Raman laser[J]. *Opt Lett*, 2007, 32(9): 1114– 1116.

消 息

全球首台 Thermo Scientific TSQ Vantage 质谱在无锡市安装

服务科技、世界领先的赛默飞世尔科技公司(Thermo Fisher Scientific)在 2008 年 9 月 23 日上海市召开的新闻发布会上隆重宣布, 全球首台 TSQ Vantage 三重四级杆液质联用仪, 已在药明康德新药开发有限公司中国无锡工厂成功安装。

利用稳定的新离子源(提高了离子源传输效果)、第二代离子光学系统和双曲面四级杆, 该仪器提供了比市场上其它同类产品高出 10 倍的灵敏度和最低的化学噪音, 而不会随之增加噪音。同时, 对于小分子、生物分子和多肽的定量分析, 具有更好的重现性和精密度。

药明康德分析部执行主任邢金松表示:“在中国第一个 GLP 生物分析实验室, Thermo Scientific 质谱提供了极高的灵敏度和线性范围。多功能软件和一流的服务确保了合规性”。

药明康德分析部实验室吕厚峰表示, 两台 TSQ Vantage 液质联用仪的供货、安装及调试过程令人满意, 仪器性能稳定。目前已投入样品方法开发应用, 主要用于新药研究过程中的高通量样品分析等相关用途。

(赛默飞世尔科技供稿)

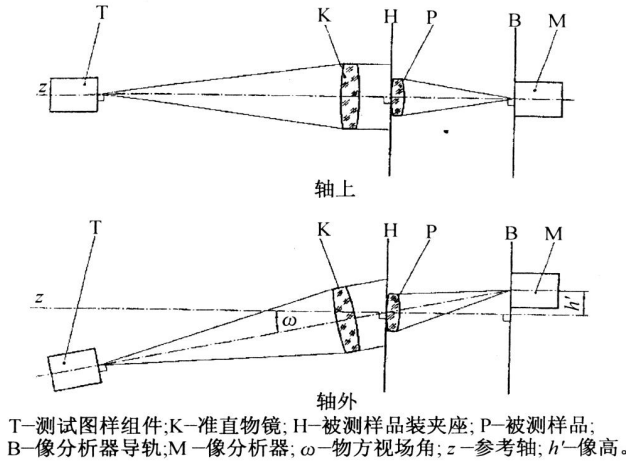


图3 物处于无限远的测试装置示意图

Fig. 3 Schematic test setup: object at infinity

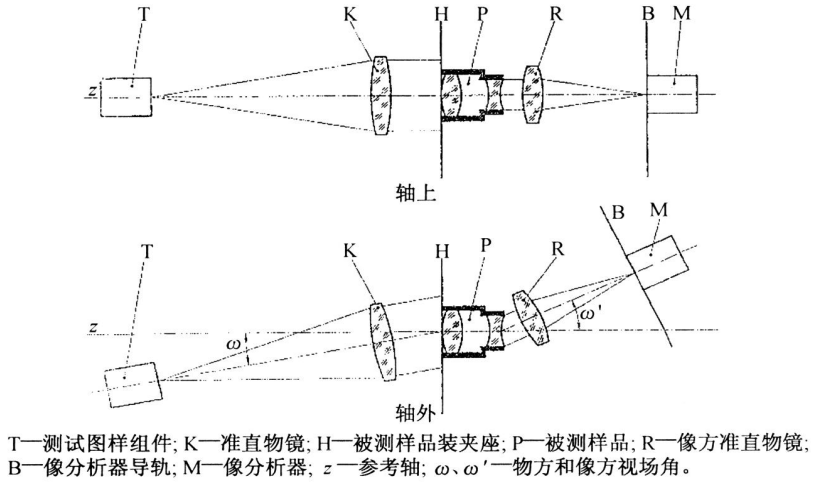


图4 物和像均处于无限远的测试装置示意图

Fig. 4 Schematic test setup: object and image at infinity

4.4.2 测试图样组件

测试图样组件由一个测试图样和一个辐射源组成。

4.4.2.1 测试图样

根据被测样品的特性,通常可采用圆形光孔、狭缝、刃边、光栅以及已知几何形状的自发光测试图样。用来测量 OTF 的测试图样的空间频谱必须已知,几何形状应非常精确。例如在使用狭缝的情况下,狭缝的宽度需在整个有效长度内保持一致。狭缝两个刃边的平行度允差为它的平均宽度的 2%,而刃边的直线度应不超过平均宽度的 10%。在规定狭缝自身允差的同时,也需要规定狭缝周围的透射比。根据所需要测量精度,在规定的光谱范围内狭缝开启部分发出的总辐射通量与周围暗的部分发出的总辐射通量之比必须大于 1000。

为了能在不同的方位进行 OTF 测量,对于非旋转对称的测试图样必须能变换方位,某些成像系统要旋转测试图样的像,因而为了能把测试图样的像或分析元件转到分析所要求的适当方位,还需要有一个精密的调节机构。