

文章编号: 1001-3806(2003)04-0339-03

Cr⁴⁺ YAG 被动调 Q 4 倍频全固态紫外激光器的研究^{*}

周 城

叶子青 郑 权 薛庆华 钱龙生

(济南大学理学院, 济南, 250022)

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春, 130022)

摘要: 设计了 LD 泵浦 Cr⁴⁺ YAG 被动调 Q 的全固态 Nd YAG 脉冲红外激光器。腔外首先经过焦距为 100mm 的聚焦透镜, 将 1064nm 的红外激光耦合到长为 9mm 的 KTP 2 倍频晶体中, 得到平均功率为 29mW 的脉冲绿光。然后将 532nm 的脉冲绿光经过焦距为 30mm 的聚焦透镜, 耦合到长为 4mm 的 BBO 4 倍频晶体上, 获得了峰值功率为 7.3W, 平均功率为 1.1mW, 重复频率为 12.5kHz, 脉冲宽度为 12ns 的 266nm 紫外激光, 其绿光-紫外光的转换效率为 3.8%, 红外光-紫外光的转换效率为 0.7%。

关键词: 紫外激光器; 4 倍频; 全固体激光器; Cr⁴⁺ YAG

中图分类号: TN248.1 **文献标识码:** A

Investigation for passively Q-switched Cr⁴⁺ YAG all-solid-state ultraviolet laser of fourth-harmonic generation

Zhou Cheng¹, Ye Ziqing², Zheng Quan², Xue Qinghua², Qian Longsheng²

(¹ School of Science, Jinan University, Jinan, 250022)

(² Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Changchun, 130022)

Abstract: Passively Q-switched Cr⁴⁺ YAG Nd YAG all-solid-state infrared laser, pumped by a diode laser, was designed. Then with a lens of 100mm focal length focusing the 1064nm IR laser to a 9mm KTP second-harmonic generation crystal, a green laser pulse was obtained with average output power of 29mW. At last, with a lens of 30mm focal length focusing the 532nm green laser to a 4mm length of BBO fourth-harmonic generation crystal, an ultraviolet laser pulse at 266nm was obtained with peak power of 7.3W, average output power of 1.1mW, repetition rate of 12.5kHz, pulse duration of 12ns. Ratio of green-ultraviolet power conversion is 3.8%, and that of infrared-ultraviolet power conversion is 0.7%.

Key words: ultraviolet laser; fourth harmonic generation; all-solid-state laser; Cr⁴⁺ YAG

引 言

近年来,掺钕(Nd³⁺)的晶体材料,特别是 Nd YAG,被认为是由 LD 泵浦的具有广阔发展前景的晶体材料。与 Nd YVO₄ 相比,该晶体具有导热性能好,激光上能级寿命长以及良好的机械性能等优点。特别是具有较长的激光上能级寿命,非常适合作为被动调 Q 激光器的增益介质。

与传统的有机染料和色心晶体相比, Cr⁴⁺ YAG 调 Q 元件具有吸收截面大,饱和光强低,热导性能好,损伤阈值高,使用方便以及使用寿命长等优点,

非常适合对 Nd YAG 激光器进行被动调 Q^[1], 故 Cr⁴⁺ YAG 调 Q 元件引起了人们的极大关注。

由于 266nm 紫外激光器具有波长短、衍射效应小、分辨率高、光点面积小,可加速实现太比特第 3 代高密度光盘(100GB 的 DVD 或 CD)光学数据存储。由于紫外激光的波长短、能量聚集集中、分辨率高,因此紫外激光器在除去焊料外壳、在电子线路板上钻微孔在薄膜或薄片材料中产生微通道、进行精密切割和对接等微加工领域具有广泛的应用^[2]。此外,高能量密度的紫外激光器适用于打断有机材料的化学键,准确切割各种生物组织,在眼科角膜手术中,对角膜进行整形,以实现正的或负的曲率校正,治疗白内障;在血管整形、神经外科等方面也有广泛的应用前景^[3]。因此,LD 泵浦 266nm 紫外激光器的研究成为一个新的热点。

目前,人们用于实现 532nm 到 266nm 激光频率

^{*} 国家八六三计划支持项目。

作者简介:周 城,男,1974 年 11 月出生。硕士研究生。现主要从事激光器件和非线性频率变换技术的研究。

收稿日期:2002-08-12;收到修改稿日期:2002-11-04

转换的晶体主要集中在 BBO 晶体^[4,5]和 CLBO 晶体^[6]。何京良等人^[7]用声光主动调 Q 的 Nd:YVO₄ 脉冲红外激光器,在腔外先用 KTP 晶体 2 倍频,再用 BBO 晶体 4 倍频得到了 266nm 的紫外激光。该装置原理简单,但集成度低,调整和使用都不太方便,另外声光主动调 Q 的 Nd:YVO₄ 脉冲红外激光器造价也比较高,限制了该装置的大范围应用。

采用国产 LD 泵浦 Nd:YAG 晶体,用 Cr:YAG 晶片作为被动 Q 开关,实现了 1064nm 的调 Q 脉冲输出。在此基础上,将 1064nm 的脉冲红外激光会用会聚透镜耦合到 KTP 2 倍频晶体上,然后将 532nm 脉冲绿光用会聚透镜耦合到 BBO 4 倍频晶体上,得到 266nm 的紫外激光输出。与声光主动调 Q 的 Nd:YVO₄ 脉冲红外激光器腔外倍频相比,该装置制作成本低,体积小,有利于 266nm 中小功率紫外激光器的产业化发展。

1 Cr⁴⁺ YAG 被动调 Q 的 Nd:YAG 脉冲激光器

被动调 Q 的 Cr⁴⁺ YAG/Nd:YAG 激光器的装置如图 1 所示。用 1.3W 的 LD 作为泵浦源,通过调整制冷器 TEC₁ 的温控电流使 LD 的发射波长为 808.5nm,与 Nd:YAG 的吸收峰相匹配。用自聚焦透镜(SML)将泵浦光耦合到增益介质 Nd:YAG 上。

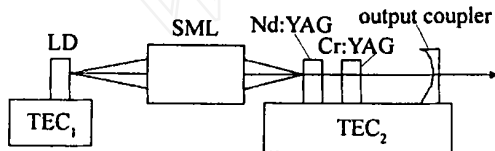


Fig. 1 The schematic of LD-pumped Nd:YAG/Cr:YAG passive Q-switched 1064nm laser

长度为 3mm 的 Nd:YAG 一面镀 808nmHT/1064nmHR 膜,作为谐振腔的一个镜面,另一面镀 1064nmHT 膜。厚为 1.4mm 的 Cr⁴⁺ YAG 晶片紧贴 Nd:YAG 放置,其小信号透过率为 87%。输出

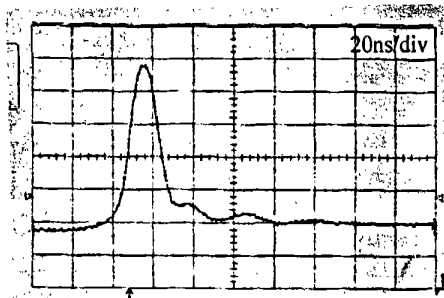


Fig. 2 Waveform of 1064nm infrared passive Q-switched laser pulse
20ns/div

镜的曲率半径是 50mm,其耦合输出率是 15%。总

腔长约为 10mm,整个谐振腔放置在制冷器 TEC₂ 上。在 LD 泵浦功率为 1.3W 时,精确调整两制冷器的温控电流,获得了峰值功率为 750W,平均功率为 150mW、脉冲宽度为 16ns、重复频率为 12.5kHz 的 1064nm 的脉冲激光输出。其脉冲波形见图 2。

该激光器较容易实现单横模运转,这是因为振荡光束在中心轴线附近具有最高的强度,从而最先漂白被动调 Q 开关,消耗反转粒子,对轴线以外的光束来说则因其功率密度低,不易漂白可饱和吸收体而损耗较大,总的结果相当于在腔内插入一个“动态光阑”,导致 TEM₀₀ 模易于起振,而高阶次模不易形成振荡,从而不仅能够大大改善输出光束的空间分布,而且有利于实现单横模运转^[8]。

2 KTP 腔外倍频获得 532nm 脉冲绿光

实验中发现被动调 Q 的 Cr⁴⁺ YAG/Nd:YAG 红外激光具有明显的线偏振性,且其偏振性强烈依赖于 LD 泵浦光的线偏振。因此,在放置 KTP 时,应注意满足相位匹配条件,以获得最大的倍频效率。

为了解决倍频效率和泵浦光斑与腔的模式相匹配的矛盾,对被动调 Q 激光器采用腔外倍频。这是因为当基频光的功率给定后,倍频光的功率与基频光的功率密度成正比,与基频光斑面积成反比。所以,实验中采用焦距 f 为 80mm 的凸透镜将 1064nm 的基频光聚焦后,耦合到长为 9mm 的 KTP 倍频晶体上,得到了平均功率为 29mW,峰值功率为 155W,脉冲宽度为 15ns 的脉冲绿光输出。

3 BBO 腔外 4 倍频 266nm 脉冲紫外激光

将腔外倍频得到绿光激光再一次经过倍频晶体便得到 266nm 的紫外激光。由激光原理知,倍频公式为^[9]:

$$P_2 = \frac{52.2L^2 d_{\text{eff}}^2}{n^2 n_2} P^2 \quad (1)$$

式中, L 为倍频晶体的长度, d_{eff} 为倍频晶体的非线性有效系数, n 为基频光在倍频晶体中的折射率, n_2 为倍频光在倍频晶体中的折射率, λ_2 为倍频光在真空中的波长, c 为真空中的光速, A 为基频光在倍频晶体中光斑面积, P 为基频光的功率。式中 P 的单位是 W,其余各量的单位均为高斯单位制。由(1)式知,要想提高倍频光的功率,只有减小基频光在倍频晶体中光斑面积。为此,通过短焦距的透镜 f_2 将波长为 532nm 的光斑面积压缩,从而提高倍频效率。这将使输出基模 (TEM₀₀) 光斑的圆化程度变差,即由圆光斑变成椭圆光斑。

BBO 腔外 4 倍频 266nm 脉冲紫外激光系统的实验装置见图 3。实验中,将 532nm 的绿光通过焦距 f 为 30mm 的聚焦透镜耦合到长度为 4mm 的 BBO 晶体上,BBO 晶体采用 类临界相位匹配。
Q-switched infrared

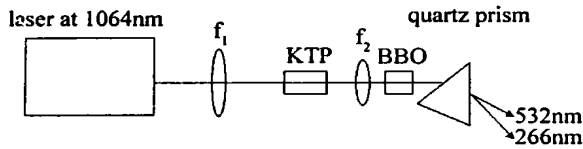


Fig. 3 The schematic of outer cavity fourth-frequency 266nm ultraviolet laser pulse

当 LD 抽运功率为 1.3W 时,得到了平均功率为 1.1mW、脉冲宽度为 12ns、峰值功率为 7.3W 的 266nm 紫外激光,其中,从 532nm 到 266nm 的光光转换效率为 3.8%,而从 1064nm 到 266nm 的光光转换效率为 0.7%。266nm 紫外激光的脉冲波形见图 4。

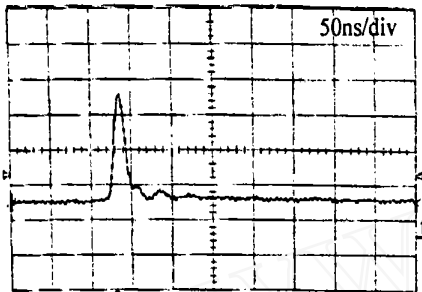


Fig. 4 The waveform of outer cavity doubled 266nm ultraviolet laser pulse 50ns/div

(上接第 338 页)
反相,实现 $x = -x^*$; $y = -y^*$ 。这样就完成了 (11) 式的运算,实现了扫描失真的校正。

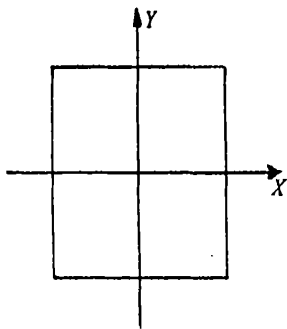


Fig. 4 Square gained by laser marking with correction

图 4。

4 结 论

用自聚焦透镜将 1.3W 的 LD 泵浦光耦合到 Nd YAG 上,得到了峰值功率为 750W,脉冲宽度为 16ns 的 1064nm 脉冲激光。经过 KTP 和 BBO 晶体倍频,得到了峰值功率为 7.3W、平均功率为 1.1mW、脉冲宽度为 12ns 的 266nm 紫外激光,其中,从 532nm 到 266nm 和从 1064nm 到 266nm 的光-光转换效率分别为 3.8% 和 0.7%。整个激光器体积小,结构紧凑,成本低,有利于 LD 泵浦固体紫外激光器的实用化和产业化发展。

参 考 文 献

- [1] Shimony Y, Burshtein Z, Kalisky Y. IEEE J Q E, 1995, QE31: 1738.
- [2] 李光晓. 光电子技术与信息, 2002, 15(2): 31 ~ 32.
- [3] 孙承伟. 激光辐射效应. 北京: 国防工业出版社, 2002: 1.
- [4] Knittel J, Kung A H. IEEE J Q E, 1997, 33(11): 2021 ~ 2028.
- [5] Kondo K, Oka M, Wada H et al. Opt Lett, 1998, 23(3): 195 ~ 197.
- [6] Kojima T, Konno S, Fujikawa S et al. Opt Lett, 2000, 25(1): 58 ~ 60.
- [7] 何京良, 卢兴强, 贾玉磊 et al. 物理学报, 2000, 49(10): 2106 ~ 2108.
- [8] 郑 权, 钱龙生. 激光与红外, 2001, 31(6): 338 ~ 340.
- [9] 姚建铨. 非线性光学频率变换及激光调谐技术. 北京: 科学出版社, 1995: 73 ~ 74.

图 4 为加入校正后扫描得出的正方形图案, 比较图 4 和图 2, 进一步说明了该校正方案的可行性。测试所用设备有: CO₂ 激光器, 德国 Scanlab 公司 Scangine14 扫描器。

4 结 论

在 D/A 转换后增加一个根据几何失真公式设计的简单电路对位置信号进行一定的补偿, 即可完成对双振镜 2 维扫描的几何失真校正, 获得完善图形。它具有简单、方便和成本低等特点, 在激光标记系统中得到了实际应用。

参 考 文 献

- [1] 虞孝舜. 激光与红外, 1998, 28(1): 45 ~ 47.