

·光电器件与材料·

## 1 064 nm/532 nm 双波长自由切换输出激光器

延新杰, 李 磊

(北京东方锐镭科技有限公司, 北京 100015)

**摘 要:**以 Nd:YAG 晶体为研究对象, 采用二极管侧面泵浦方式, 应用电光调 Q、多级放大、电控偏振态切换技术, 实现了 1 064 nm/532 nm 两种波长激光的自由切换输出, 得到单脉冲能量 750 mJ 的 1 064 nm 激光稳定输出, 当注入单脉冲能量 230 mJ 的 1 064 nm 激光时, 得到的 532 nm 波长激光的单脉冲能量可达 106 mJ, 重复频率 100 Hz, 转换效率可达 46%, 且同轴输出指向稳定, 可用于星载、机载、舰载激光测距与照射、激光雷达和激光环境监测等领域。

**关键词:**激光器; 双波长; 自由切换; 电控偏振态; 倍频

中图分类号: TN248.1

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2015)-06-0037-03

## 1 064 nm and 532 nm Dual-wavelength Switchable Solid State Laser

YAN Xin-jie, LI Lei

(Beijing Oriental Sharp Laser Technology Co. Ltd, Beijing 100015, China)

**Abstract:** Dual-wavelength and multi-wavelength lasers have received considerable attention recently and have been used extensively in interference rain bow holograph, fine laser spectrum, differential absorption radar, multi-photon step ionization of atom and molecular, nonlinear frequency conversion and laser medicine fields. By using the Nd:YAG crystal while adopting the methods of laser diode (LD) side-pumped, electro-optical Q-switched, multistage amplifier and the technology of polarization controlled by electricity, the switchable output of dual-wavelength of 1 064 nm and 532 nm is acquired. The single pulse energy is 750 mJ at 1 064 nm, when 1 064 nm laser with 230 mJ single pulse energy is input, single pulse energy is 106 mJ at 532 nm, corresponding to the repetition frequency of 100 Hz and the conversion efficiency of 46%. The above laser can be applied to the fields of airborne, spaceborne, shipborne laser ranging and illumination, radar and the laser environmental monitoring as its feature of stable orientation.

**Key words:** laser; dual-wavelength; switching freely; polarization controlled by electricity; second-harmonic generation

双波长激光器广泛应用于干涉彩虹全息、精细激光光谱、差分吸收激光雷达、原子和分子的多光子分步电离、非线性频率变换、激光医学、军事等领域, 在高亮度的激光彩色显示、激光彩色打印等设备以及娱乐业等领域中具有广阔的应用前景<sup>[1]</sup>。在双波长的产生方面, 国内外做了大量的研究<sup>[2-11]</sup>; 在双波长切换输出方面, 主要采用在基频光路中电伺服传动机构插入非线性频率变换部分的途径<sup>[12]</sup>, 实现

双波长同轴输出。但这种切换方法结构复杂、切换速度慢且可靠性差。为了克服上述缺陷, 采用了基于偏振控制的双波长切换激光器的概念, 并采用高温 KTP, 电控偏振态切换技术, 研制出了满足恶劣环境要求的小型高效的 1 064 nm/532 nm 激光波长自由切换双工作模式固体激光器样机, 实现两种波长在同一通道同轴自由切换输出, 实现单脉冲能量 750 mJ、重复频率 40 Hz、脉冲宽度 5.5 ns、激光发

散角约 2.5 mrad 的 1 064 nm 激光稳定输出;当注入单脉冲能量 230 mJ 的 1 064 nm 激光时,得到的 532 nm 波长激光的单脉冲能量 106 mJ,重复频率 100 Hz,转换效率可达 46%,脉冲宽度约 9 ns、激光发散角约 2 mrad,且同轴输出指向稳定。该激光器可应用于星载、机载、舰载激光测距/照射、激光雷达和激光环境监测等领域。

## 1 双波长自由切换激光器设计

激光器采用二极管侧面泵浦“MOPA”、电控偏振态切换技术、腔外倍频的方式实现双波长自由输出,激光器的原理图如图 1 所示。振荡级谐振腔由全反镜和输出镜组成,激光工作物质为 Nd:YAG 晶体,泵浦源为二极管阵列,侧面泵浦 Nd:YAG 晶体,在谐振腔内加入 KDP 调 Q 开关元件,实现巨脉冲输出,其激光脉冲宽度纳秒量级,振荡级输出能量大于 200 mJ,为提高光斑均匀性及光束质量,振荡级的谐振腔为高斯非稳腔。一级放大后激光的输出能量约为 500 mJ,二级放大后激光的输出能量约为 1.0 J,激光的峰值功率约为 120 MW。

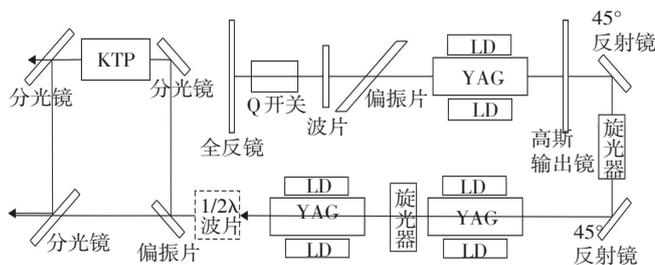


图1 电控双波长自由切换激光器光路图

当激光器切换至 532 nm 绿光时,基频光输出能量约 300 mJ,重复频率 100 Hz,发散角约 2 mrad,基频激光注入倍频晶体 KTP 内,通过二次谐波作用,可输出大于 100 mJ 的 532 nm 绿光。

振荡级采用 KD\*P 电光调 Q 的方式,实现脉冲宽度约 10 ns 级,最大输出能量大于 200 mJ,根据二极管侧面泵浦转换效率及降额使用的标准,选取 140 bar 808 nm 脉冲二极管作为泵浦源。为了降低激光谐振腔内的功率密度,振荡级采用直径 7 mm 的 YAG 晶体,结合结构及泵浦设计等因素,激光晶体的长度选择为 100 mm,双面镀膜 AR@1 064 nm。

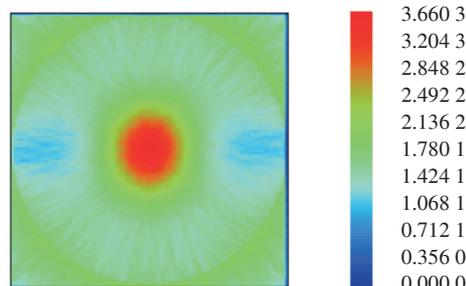
放大级均采用与振荡级类似的泵浦方式,根据提取效率约 2.5 倍,泵浦二极管均为 160 bar;为了防

止激光损伤晶体端面的边缘,放大级的晶体采用逐级变大的方式,一级放大采用直径 9 mm 的 YAG 晶体,长度 100 mm,二级放大采用直径 10 mm 的 YAG 晶体,长度 100 mm。同时,第一、二级放大的晶体端面修 1.2° 斜角,以防止激光器的自激振荡,双面镀膜 AR@1 064 nm。

根据产品要求,工作环境温度为 -25 °C~55 °C,倍频晶体必须设计宽温倍频结构。KTP 晶体选取 II 类相位匹配,晶体的切割方向为 (90°, 24.5°),晶体工作在设定温度为 70 °C 的温控炉内,晶体的尺寸为 12 mm×12 mm×7 mm,晶体的两个端面镀膜 AR1 064 nm&532 nm。晶体放置方向:Z 轴与激光的偏振方向成 45°。激光器在输出 100 Hz、100 mJ 绿光时,泵浦功率大,激光在振荡级输出后易产生热退偏现象,为了解决激光热退偏,在振荡级与第一级放大之间、一级放大和二级放大之间分别加入旋光器,从而提升输出激光线偏振度。

本激光器采用电控方式进行波长切换。当发射波长为 1 064 nm 的激光时,由于二级放大输出激光为水平偏振,此时可以通过偏振片,输出 1 064 nm 激光。当发射波长为 532 nm 的激光时,电磁铁驱动 1/2 波片插入光路中,激光偏振态由水平偏振转换为垂直偏振,此时激光不能通过偏振片,偏振片反射激光进入 KTP 晶体。激光经过 KTP 晶体后,波长变为 1 064 nm 和 532 nm。激光经过 45° 分光镜后,1 064 nm 激光进入吸收斗,只输出波长为 532 nm 的激光。

二极管均匀排布在热沉上,为了确保泵浦的均匀性,方案对 LD 与 YAG 晶体的距离进行了仿真优化设计。最终设定 LD 发光面与 YAG 晶体侧面的距离为 3 mm 时可以达到最佳的泵浦均匀性。图 2 为振荡级(晶体直径 7 mm)、一级放大(晶体直径 9 mm)和二级放大(晶体直径 10 mm)泵浦腔的光路追迹图。泵浦光在晶体中分布比较均匀,可有效降低晶体中心泵浦强度,提升激光的提取效率和光斑均匀性。



(a) 振荡级,泵浦腔泵浦仿真图

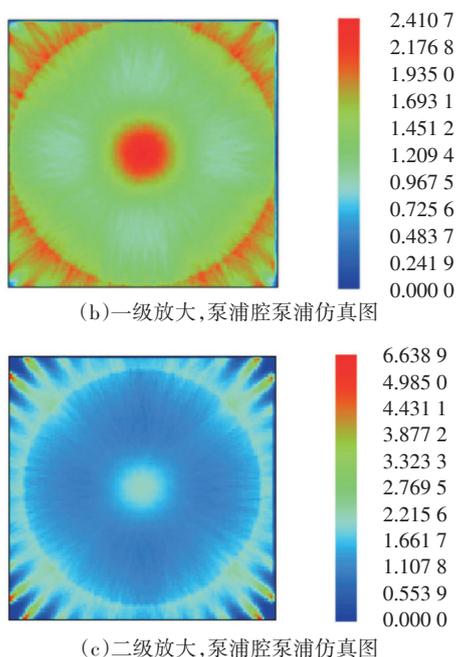


图2 振荡级、一级放大、二级放大泵浦腔泵浦仿真图

## 2 试验研究及结果

激光器采用水冷半导体侧面抽运激光晶体结构,本振级与放大级抽运电脉宽均220  $\mu\text{s}$ ,放大级与本振级同步泵浦,抽运电流0~100 A可调,工作频率1~100 Hz可调;采用高斯非稳腔、加压式KD\*P电光调Q技术,多级放大后可实现最大能量1.2 J输出;1/2 $\lambda$ 波片用于电控双波长自由切换;采用恒温炉温控倍频晶体,实现高转换效率大能量532 nm绿光激光输出。输出脉冲能量由E1000能量计测量,并由TEKTDS3052型500 MHz示波器和DE710A/M型Si光电探头监测其脉宽及波形。

在LD抽运脉宽220  $\mu\text{s}$ ,重复频率40 Hz,抽运电流0~100 A的条件下,测量了双波长激光器在1 064 nm波长光输出光能量、脉冲宽度,抽运电流均为65 A时,1 064 nm激光输出能量为1.06 J,脉冲宽度5.5 ns,采用小孔法测试激光的发散角,激光的发散角在2~2.5 mrad范围。

然后,在LD抽运脉宽220  $\mu\text{s}$ ,重复频率100 Hz,抽运电流0~50 A的条件下,测量了双波长激光器在532 nm波长光输出光能量及其倍频转换效率,实验结果如图3所示。当抽运电流均为40 A时,1 064 nm激光输出能量为230 mJ,对应输出的532 nm激光能量可达106 mJ,倍频转换效率为46%,根据

图3可以看出,随着泵浦能量增加,倍频的转换效率还会增加。

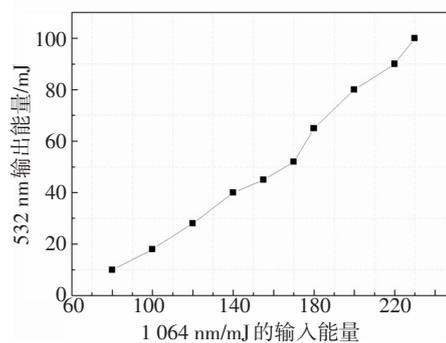


图3 倍频试验结果

经优化设计和封装,研制出实现上述技术指标且满足工程需要的样机,如图4所示。样机尺寸为385 mm×184 mm×160 mm,质量为13 kg。在LD抽运泵浦电流均为60 A,重复频率40 Hz时,1 064 nm激光输出单脉冲能量为750 mJ,脉冲宽度5.5 ns,采用小孔法测试激光的发散角,激光的发散角为2~2.5 mrad。在LD抽运泵浦电流均为40 A,重复频率100 Hz时,532 nm激光输出单脉冲能量为100 mJ,脉冲宽度8 ns,采用小孔法测试激光的发散角,激光的发散角为2~2.5 mrad。



图4 双波长自由切换激光器工程样机

## 3 结论

通过模拟泵浦腔晶体内部光强分布,合理设计二极管的分布,输出了激光光斑较均匀;基于基频光的线偏振特性,采取了偏振控制的方式控制双波长切换;根据使用环境的要求,采用高温KTP,研制出满足恶劣环境条件下1 064 nm/532 nm激光波长自由切换双工作模式固体激光器样机,实现两种波长在同一通道同轴自由切换输出,实现单脉冲能量

(下转第44页)

腔内和频或倍频等非线性过程的有效运行提供基础。

### 参考文献

- [1] Chen Y F. Efficient 1521 nm Nd:GdVO<sub>4</sub> Raman laser[J]. Opt. Lett., 2004, 29(22):2632-2634.
- [2] Pask H M, Piper J A. Diode-pumped LiIO<sub>3</sub> intracavity Raman lasers[J]. Quantum Electron., 2000, 36(8):949-955.
- [3] Murray J T, Powell R C, Pevghambarian N, et al. Generation of 1.5 mm radiation through intracavity solid-state Raman shifting in Ba(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> nonlinear crystals[J]. Opt. Lett., 1995, 20(9):1017-1019.
- [4] Huang J H, Lin J P, Su R B, et al. Short pulse eye-safe laser with a stimulated Raman scattering self-conversion based on a Nd:KGW crystal[J]. Opt. Lett., 2007, 32(9):1096-1098.
- [5] ZANG Jing-cun, XIE Li-yan, LI Xiao, et al. Investigating of SRS and luminescence of ZnWO<sub>4</sub> crystals[J]. Acta Phys.

sin, 2007, 56(5):2689-2692.

- [6] Chen Y, Su K, Zhang H, et al. Efficient diode-pumped actively Q-switched Nd:YAG/BaWO<sub>4</sub> intracavity Raman laser[J]. Opt. Lett., 2005, 30(24):3335-3337.
- [7] DING Shuang-hong, ZHANG Xing-yu, WANG Qing-pu, et al. Temporal properties of the solid-state intracavity Raman laser using the traveling-wave method[J]. Phys. Rev. A, 2007, 76(5):053830.
- [8] PENG Ji-ying, ZHENG Yi, ZHENG Kai, et al. Passively Q-switched mode locking in a compact Nd:GdVO<sub>4</sub>/Cr:YAG self-Raman laser[J]. Opt. Commun., 2012, 285(24):5334-5336.
- [9] LAN Rui-jun, DING Shuang-hong, WANG Mei-qin, et al. A compact passively Q-switched SrWO<sub>4</sub> Raman laser with mode-locked modulation[J]. Laser Phys. Lett., 2013, 10(2):025801.
- [10] ZHANG Gang. Study on all-solid-state doubly Q-switched and mode-locked laser characteristics and laser stability [D]. Jinan: Shandong University, 2012:23-26.

(上接第39页)

750 mJ、重复频率 40 Hz、脉冲宽度 5.5 ns、激光发散角约 2.5 mrad 的 1 064 nm 激光稳定输出;当注入单脉冲能量 230 mJ、重复频率 100 Hz 的 1 064 nm 激光时,得到的 532 nm 波长激光的单脉冲能量 106 mJ,非线性转换效率可达 46%,脉冲宽度约 9 ns、激光发散角约 2 mrad,且同轴输出指向稳定。为星载、机载、舰载激光测距/照射、激光雷达和激光环境监测等领域的应用提供了一定的参考价值。

### 参考文献

- [1] He J L, Du J, Sun J, et al. High-efficiency single-and dual-wavelength Nd:GdVO<sub>4</sub> lasers pumped by a fiber-coupled diode[J]. App. Phys. B:Lasers Opt., 2004(79):301-304.
- [2] 韩磊,王加贤,张峻诚,等. LD泵浦 Nd:YAG 复合腔双波长激光器[J]. 华侨大学学报(自然科学版), 2010, 31(2):153-156.
- [3] 林燕凤,张戈,朱海永,等. Nd:YAG 调 Q 激光器双波长振荡机理分析[J]. 物理学报, 2009, 58(6):3909-3914.
- [4] 黄德修,舒学文,文韬,等. 一种新颖的多波长环形腔掺铒光纤激光器[J]. 中国激光, 2001, A28(4):313-316.
- [5] ZHANG Ling, WEI Zhi-yi, FENG Bao-hua. Simultaneous dual-wavelength Q-switched Nd:YAG laser operating at

1.06 μm and 946 nm [J]. Opt. Commun., 2006, 264:51-54.

- [6] Ganikhanov Feruz, Carrasco Silvia, Sunney X. Broadly tunable dual-Wavelength light source for coherent anti-stokes Raman scattering microscopy [J]. Opt. Lett., 2006, 31(9):1292-1294.
- [7] Creelya C M, Singha G P, Petrov D. Dual wavelength optical tweezers for confocal Raman spectroscopy [J]. Opt. Commun., 2005, 245:465-470.
- [8] 程勇 卢常勇 刘旭,等. 双波长自由切换输出固体激光器[J]. 中国激光, 2010, 37(9):2299-2302.
- [9] 林文雄,沈鸿元,曾瑞荣,等. 双波长 Nd:YAG 脉冲激光器的实验研究[J]. 中国激光, 1994, 21(2):89-91.
- [10] LUO Guo-zhen, ZHU Shi-ning, HE Jing-liang, et al. All-solid-state blue and red dual wavelength laser based on PPLT optical superlattice[J]. Chin. J. Laser, 2002, 29:142-144.
- [11] LIAO Jun, HE Jing-liang, LIU Hui, et al. Simultaneous generation of red, green, and blue quasi-continuous-wave coherent radiation based on multiple quasi-phase-matched interactions from a single, aperiodically-poled LiTaO<sub>3</sub>[J]. Appl. Phys. Lett., 2003, 2003(82):1-3.
- [12] 王猛,朱相帮,毛小杰,等. 双波长激光器的实验研究[J]. 激光与红外, 2008, 38(2):126-127.