

# 全固态准连续 Nd:YAG/LBO 绿光激光器

孙 玲<sup>1</sup>, 李平雪<sup>2</sup>, 杨文是<sup>3</sup>

(1. 华北光电技术研究所, 北京 100015; 2. 北京工业大学激光工程研究院, 北京 100124; 3. 固体激光技术重点实验室, 北京 100015)

**摘要:**采用双 Nd:YAG 棒串接加 90° 旋光器补偿热致双折射, 双声光 Q 开关调制, LBO 晶体腔内倍频, 实现了 532 nm 准连续绿光输出。重复频率 10 kHz 时, 532 nm 绿光输出功率达 69 W, 脉宽 200 ns。重复频率 15 kHz 时, 532 nm 绿光输出功率达 71 W, 脉宽 250 ns, 倍频转换效率 57.5%。

**关键词:**全固态; 准连续; LBO 晶体; 倍频; 绿光激光器

**中图分类号:** TN248.1      **文献标识码:** A

## All-solid-state quasi-continuous-wave Nd:YAG/LBO green laser through harmonic generation

SUN Ling<sup>1</sup>, LI Ping-xue<sup>2</sup>, YANG Wen-shi<sup>3</sup>

(1. North China Research Institute of Electro-optics, Beijing 100015, China;

2. Institute of Laser Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China;

3. Science and Technology on Solid-state Laser Laboratory, Beijing 100015, China)

**Abstract:** An all-solid-state quasi-continuous-wave (QCW) green laser was developed by use of plane-plane cavity with tow-rod birefringence compensation technology, LBO crystal was used for second harmonic generation. Two orthogonal acousto-optic Q-switches were used to sustain fully holding of the pump gain. 120 W at 1064 nm wavelength was achieved when the repetition rate was 15 kHz, and the 532 nm average output power is 71 W with a pulse width of 250 ns and a conversion efficiency of 57.5% from the 1064 nm light to the green laser. The 532 nm average output power is 69 W at a repetition rate of 10 kHz and a pulse width of 200 ns.

**Key words:** an all-solid-state; quasi-continuous-wave; LBO crystals; second harmonic generation; green laser

### 1 引言

绿激光在雕刻、医疗、光谱分析、频率变换及同位素分离等诸多领域有着广泛的应用。通过倍频 (SHG) 技术对波长为  $\sim 1 \mu\text{m}$  的 Nd 固体激光器进行频率变换是获得绿光激光的一种常用且高效的方法, 其中采用声光调 Q 技术是获得高平均功率、高重复频率绿光输出的有效途径<sup>[1-4]</sup>。在这一技术方案中常用的倍频晶体有 KTP 和 LBO 等多种。KTP 晶体有较高的非线性系数, 因此倍频转换效率较高, 但 KTP 晶体易在高功率下产生灰迹<sup>[5-6]</sup>, 激光器长

时间运转会导致功率下降, 影响实际应用。LBO 晶体虽然比 KTP 晶体的非线性系数稍低, 但它具有较高的损伤阈值, 非常适合在高功率状态下使用。在实际中, 可以通过优化谐振腔设计, 提高基频光光束质量并调整特定位置光斑尺寸的方式适当提高 LBO 晶体的倍频效率<sup>[7]</sup>。在实验中也充分证明

作者简介: 孙 玲 (1977 -), 女, 硕士, 工程师, 主要从事固体激光方面的研究工作。E-mail: zhangsunling0823@sina.com

收稿日期: 2010-11-01; 修订日期: 2010-12-21

了这一点,获得了可长时间稳定运转的高功率绿光输出。

本文采用双棒串接、 $90^\circ$ 旋光器补偿热致双折射,正交双声光调  $Q$ , LBO 晶体腔内倍频方式,以获得高效率、准连续激光输出。当重复频率为 10 kHz 和 15 kHz 时,获得 532 nm 绿光激光输出功率分别为 69 W 和 71 W,对应的脉宽分别为 200 ns 和 250 ns。

## 2 实验及分析

准连续腔内倍频 Nd:YAG 激光器实验装置如图 1 所示。实验中采用了简单、实用的平-平腔结构,总腔长为 600 mm,  $M_1$  为全反射镜,  $M_2$  为输出镜。由于热应力在 Nd:YAG 晶体中的不均匀分布会产生双折射现象<sup>[8]</sup>,为此,在实验中采用两个完全相同的泵浦模块,并在两个模块中间加入了  $90^\circ$ 旋光器,

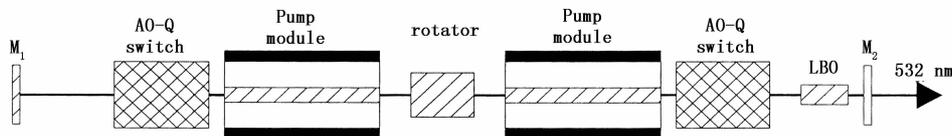


图 1 准连续腔内倍频 Nd:YAG/LBO 固体激光器实验装置示意图

Fig. 1 the experimental setup of QCW intracavity frequency doubling Nd:YAG laser

在 1064 nm 基频激光实验中,即当腔内不加入 LBO 倍频晶体,输出镜为  $T_{1064\text{ nm}} = 18\%$  的平面镜时,获得输出功率 120 W 的 1064 nm 基频激光输出,重复频率 15 kHz。图 2 给出 1064 nm 基频激光输出功率曲线。将 LBO 晶体插入腔内进行倍频实验,在重复频率为 10 kHz 和 15 kHz 条件下,分别测量驱动电流从 8.4 A 增加到 25.4 A 时 532 nm 激光输出功率的变化情况(两个泵浦模块驱动电流同步增长),如图 3 所示。由图可知,在重复频率为 10 kHz,泵浦电流 25.4 A (即每个模块泵浦功率为 240 W) 时,获

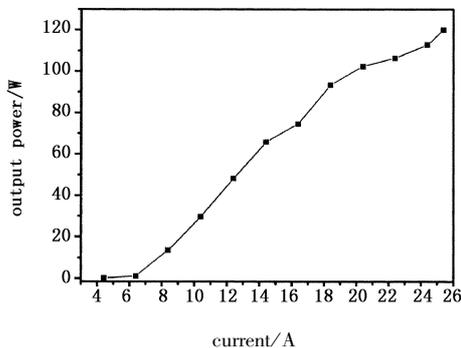


图 2 1064 nm 基频光输出功率随泵浦电流变化曲线

Fig. 2 output power at 1064 nm with the pumping current

使两模块的热致双折射得到互补,以此减小模块中热致双折射产生的损耗<sup>[8]</sup>。每个泵浦模块最大工作电流为 25.4 A,最大泵浦功率为 240 W, Nd:YAG 晶体尺寸为  $\phi 3\text{ mm} \times 65\text{ mm}$ , Nd 离子掺杂浓度为 0.6 at. %, 两端镀 1064 nm 增透膜。两个声光  $Q$  开关正交放置在两个抽运模块两侧。LBO 晶体贴近输出镜放置,其中 LBO 晶体采用 II 类相位匹配 ( $\theta = 20.9^\circ, \phi = 90^\circ$ ), 尺寸为  $4\text{ mm} \times 4\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ , 两端度 1064 nm 和 532 nm 双增透膜。根据谐振腔理论,对谐振腔内各元器件中振荡光光斑大小进行了数值模拟。在上述谐振腔参数条件下,两 Nd:YAG 棒中光斑半径均为  $384\text{ }\mu\text{m}$ , LBO 倍频晶体上的光斑半径为  $230\text{ }\mu\text{m}$ 。

得最大输出功率为 69 W 的 532 nm 绿光输出。在重复频率为 15 kHz, 泵浦电流 25.4 A 时,获得 532 nm 激光最大输出功率为 71 W,从 1064 nm 基频激光到 532 nm 倍频激光的转换效率为 57.5%。

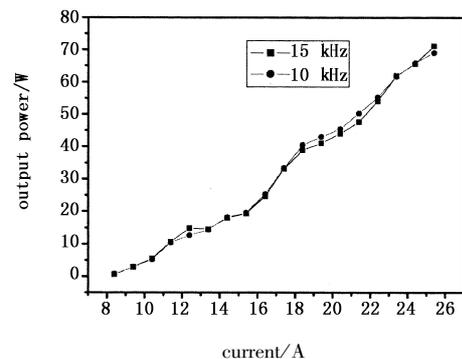


图 3 532 nm 绿光输出功率随泵浦电流变化曲线

Fig. 3 output power at 532 nm with the pumping current

用示波器测量不同重复频率时绿光激光输出脉宽,测量结果如图 3 所示,当重复频率分别为 10 kHz 和 15 kHz,输出功率分别为 69 W 和 71 W 时,对应的脉宽分别为 200 ns 和 250 ns,测量结果如图 4 (a)、图 4 (b) 所示。

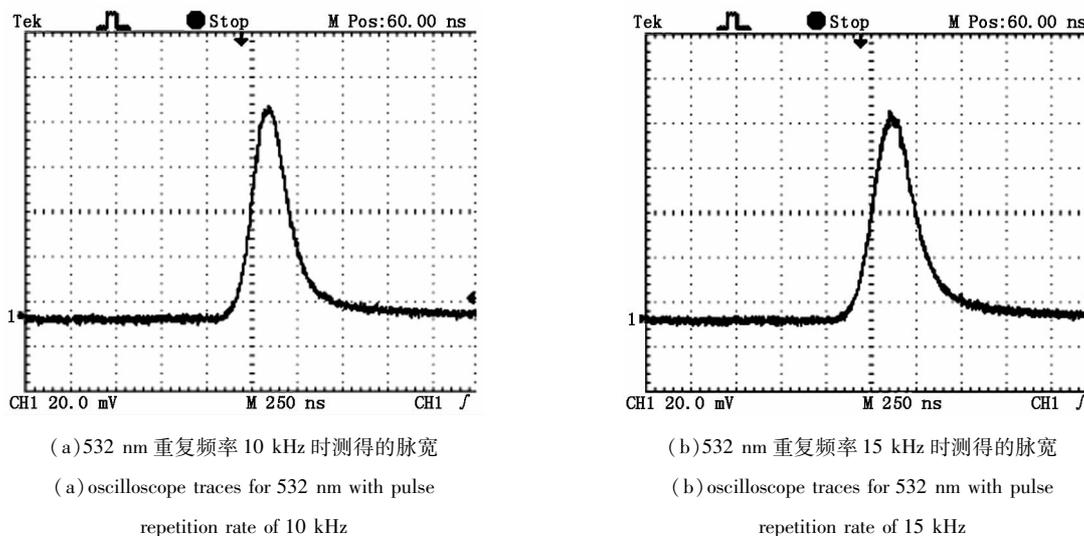


图4 532 nm 重复频率 10 kHz 和 15 kHz 时测得的脉宽

Fig. 4 oscilloscope traces for 532 nm with pulse repetition rate of 10 kHz and 15 kHz

为了进一步提高绿光输出功率,尝试采用了在谐振腔内插入长波通(镀有 532 nm 高反、1064 nm 增透膜的镜片)的方法,将 LBO 晶体反向倍频产生的绿光反射输出。长波通插入腔内会不可避免地带来插入损耗,使腔内基频光功率下降,从而影响倍频光的转换效率,但这两方面的综合效果主要取决于长波通的镀膜情况。在长波通膜系设计中,首先保证 1064 nm 增透,使长波通的插入损耗降到最小,在此前提下努力提高 532 nm 的反射率。在其他条件不变的情况下,腔内插入长波通前后 532 nm 绿光的输出功率随泵浦电流的变化情况如图 5 所示。从图中可以看出,插入长波通后,532 nm 绿光的输出功率有所增加,当泵浦电流为 25.4 A 时,532 nm 倍频光的输出功率达 75 W,与加入长波

通之前相比输出功率提高了 4 W,效果不是很明显,这可能与长波通的实际镀膜质量有关。

### 3 结论

采用双 Nd:YAG 晶体棒串接加 90° 旋光晶体补偿热致双折射,双声光调 Q,通过 LBO 晶体腔内倍频,实现了高功率准连续 532 nm 绿光输出。在总泵浦功率为 480 W,重复频率 10 kHz 时,获得 532 nm 绿光输出功率达 69 W,脉宽为 200 ns。当重复频率为 15 kHz,532 nm 绿光输出功率为 71 W,脉宽为 250 ns。

### 参考文献:

- [1] Honea E C, Ebbers C A, Beach R J, et al. Analysis of an intracavity-doubled diode-pumped Q-switched Nd:YAG laser producing more than 100 W of power at 0.532  $\mu\text{m}$  [J]. Opt. Lett. 1998, 23(15): 1203 - 1205.
- [2] Konno S, Kojima T, Fujikawa S, et al. High-brightness 138 W green laser based on an intracavity-frequency-doubled diode-side-pumped Q-switched Nd:YAG laser [J]. Opt. Lett. ,2000, 25(2): 105 - 107.
- [3] Konno S, Fujikawa S, Yasui K. Highly efficient 68 W green-beam generation by use of an intracavity frequency-doubled diode side-pumped Q-switched Nd:YAG rod laser [J]. Appl. Opt. ,1998, 37(27): 6401 - 6403.
- [4] Konno S, Kojima T, Fujikawa S, et al. Efficient high-pulse energy green beam generation by intracavity frequency doubling of a quasi-continuous-wave laser-diode-pumped

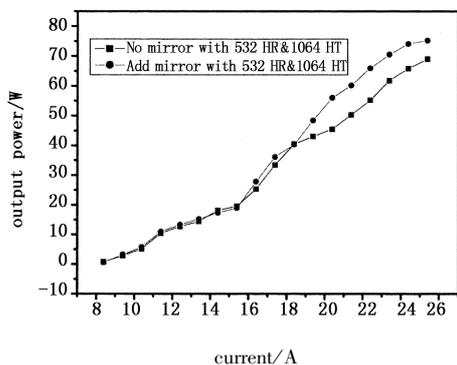


图5 加入长波通前后 532 nm 绿光输出功率随泵浦电流变化曲线

Fig. 5 before and after inserting the mirror with 532 nm HR &amp; 1064 HT, the output power at 532 nm with the pumping current

- Nd:YAG laser[J]. Appl. Opt. ,2001,40:4341 – 4343.
- [5] Blachman R, Bordui P F, Fejer M M. Laser-induced photochromic damage in potassium titanyl phosphate[J]. Appl. Phys. Lett. ,1994,64(27):1318 – 1320.
- [6] Fève J P, Boulange B, Marnier G, et al. Repetition rate dependence of gray-tracking in  $\text{KTiOPO}_4$  during second-harmonic generation at 532 nm[J]. Appl. Phys. Lett. ,1997,70(3):277 – 401.
- [7] Driedger K P, Ifflander R M, Weber H. Multirod resonators for high-power solid-state lasers with improved beam quality [J]. IEEE J Quantum Electron, 1988, 24 (4): 665 – 674.
- [8] Lee S, Yun M, Cha B H, et al. Stability analysis of a diode-pumped thermal birefringence-compensated two-rod Nd:YAG laser with 770-W output power[J]. Appl. Opt. , 2002,41(27):5625 – 5631.