

文章编号: 0253-2239(2003)04-0469-03

20 W 腔外倍频全固态 Nd:YAG 绿光激光器*

冯 衍 毕 勇 张 鸿 博 姚 爱 云 汪 家 升 许 祖 彦

(中国科学院物理研究所, 北京 100080)

摘要: 研制了一台高光束质量的全固态 Nd:YAG 激光器, 采用 KTP 腔外倍频, 获得了大于 20 W 准连续绿光输出, 峰功率可达 1.15×10^5 W, 光束质量因子 M^2 值约为 4。

关键词: 全固态激光器; 532 nm 绿光; KTP 晶体; 腔外倍频

中图分类号: TN248.1 文献标识码: A

1 引 言

大功率全固态准连续绿光激光器因其在工业、娱乐、军事等方面的重要应用而得到广泛的重视。国际上报道的绿光平均功率最高为美国利弗莫尔实验室的 315 W^[1] (采用 KTP 和 LBO 腔内倍频)。国内多家单位在进行这方面的研究, 华北光电研究所采用 KTP 腔内倍频获得大于 50 W 的绿光, 天津大学获得 40 W^[2]。但所有这些均没有模式指标。而在实际应用中, 亮度通常是决定性指标, 它与表征光束质量的参量 M^2 成反比, 与平均功率成正比, 因此光束质量与平均功率是两个同样重要的因素。

我们采用腔内倍频, 获得了大于 20 W 的准连续绿光输出, 但光束质量不理想。为获得高功率、高光束质量激光, 一般采用主振且放大的方式 (MOPA), 腔外倍频也成为产生绿光的最佳方案^[3,4]。TRW 公司的 Pierre 等^[4] 采用双通板条放大及 KTP 腔外倍频, 获得了 175 W, 1.1 倍衍射极限的输出。另外, 在打标等具体应用中, 针对不同材料和加工要求, 需要不同波长的激光, 因此, 多个波长间的方便切换是很重要的。显而易见, 腔外倍频与腔内倍频相比容易做到切换波长时的即插即用。

我们研制了一台高光束质量的全固态准连续 Nd:YAG 激光器, 重复频率 1~50 kHz 可调, 平均功率可达 75 W。用 KTP 对其进行腔外倍频, 我们获得了高平均功率、高峰值功率、高光束质量的绿光输出。

2 实验装置

谐振腔采用双棒串接配置。两个激光头为侧面抽运的 Nd:YAG, 二极管阵列从三向对称抽运, 每个激光头所用列阵最大输出功率为 180 W; Nd:YAG 棒长 64 mm, 直径 3 mm, 掺杂质量分数为 0.006。Q 开关是 NEOS 公司生产的, 中心频率 27.12 MHz, 1~50 kHz 连续可调。两个激光头之间加 90° 旋光片用来补偿热致双折射。根据最大抽运时激光晶体中的热透镜大小, 在设计谐振腔参量时可使最大抽运条件下的模体积较大, 因此没有用光阑限模, 不损失激光功率, 从而获得较好的模式。在 10 kHz 时, 1064 nm 最大输出功率为 75 W, 脉宽小于 80 ns, $M^2 \approx 3.9$ 。测量 M^2 的同时, 可以计算得到输出镜处激光腰斑直径约为 0.8 mm。

倍频采用 KTP II 类临界相位匹配 ($\theta = 90^\circ, \phi = 23.5^\circ$), 晶体尺寸分别为 3 mm × 3 mm × 8 mm、3 mm × 3 mm × 16 mm、3 mm × 3 mm × 20 mm, 两端镀 1064 nm 和 532 nm 增透膜, 未经透镜聚焦, 直接置于输出镜后。旋转 KTP 晶体使绿光输出水平偏振, 旋转半波片使绿光输出最大。经过 KTP 的剩余基频光与倍频光由布氏棱镜分光后测量 (图 1)。

3 结果与分析

图 2 是不同重复频率下, 三块 KTP 晶体在相同抽运条件下的平均输出功率。在 15 kHz 时, 20 mm 晶体的输出最大。但在较低频率, 10 kHz 以下, 长晶体的效率明显地下降。这种现象可能是由温度效应引起的相位失配造成的。低重复频率时, 脉冲峰值功率高, 倍频输出达到饱和需要的作用长度降低, 相位失配引起的反过程提前来临。

* 中国科学院知识创新工程项目《大功率全固态激光器系统技术研究》资助课题。

E-mail: biyong92184@hotmail.com

收稿日期: 2002-03-15; 收到修改稿日期: 2002-06-03

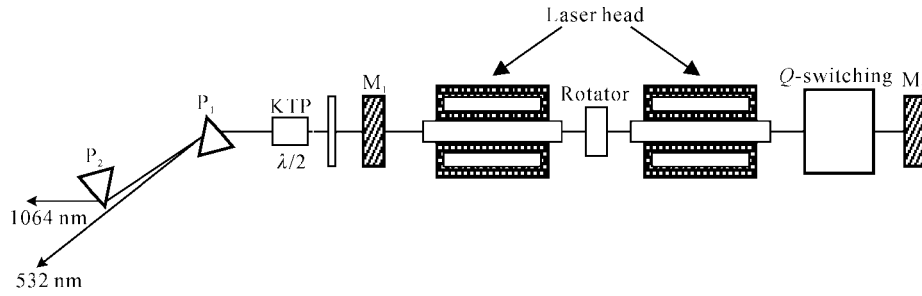


Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup

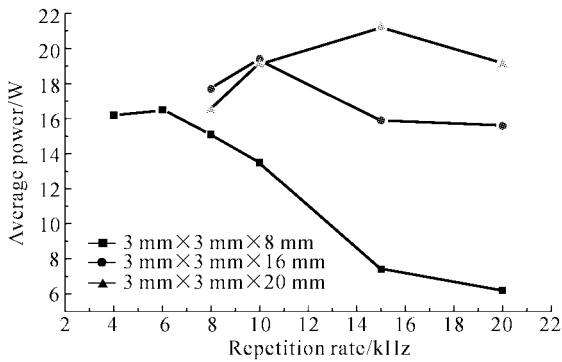


Fig. 2 Average power of frequency-doubled laser in three KTP crystals with different lengths at same pump power and different repetition rates

在完全相位匹配,采取平面波近似,并考虑基频衰减的情况下,倍频转换效率可写为

$$\eta(L) = \tanh^2(\sigma_3 a_0 L);$$

有非零相位失配时,倍频转换效率可写为^[5]

$$\eta(L) = \kappa \text{sn}^2(u; \kappa)$$

sn(u; κ) 为椭圆双参量正弦函数,其中 u 和 κ 是波矢失配 Δk,基频功率密度 P₀、晶体长度 L 的函数:

$$u = \sigma_3 a_0 L \kappa^{1/2},$$

$$\kappa = [(1 + \Delta_0^2/4)^{1/2} - \Delta_0/2]^2,$$

$$\Delta_0 = \Delta k(2\sigma_3 a_0)^{-1},$$

$$\sigma_3 = 8\pi^2 d_{\text{eff}}/n\lambda_i,$$

$$a_0 = [2P_0/(c\epsilon_0 \pi \omega_0^2 n)]^{1/2},$$

其中,有效非线性系数 $d_{\text{eff}} = 3.34 \text{ pm/V}$ 、基频波长 $\lambda_f = 1064 \text{ nm}$ 、光斑半径 $\omega_0 = 0.4 \text{ mm}$,折射率 n 取为 1.8,其它符号遵从一般定义。在重复频率 4 ~ 20 kHz 区间,基频峰功率估算约为 $3 \times 10^5 \sim 0.33 \times 10^5 \text{ W}$ 。通过数值计算,波矢失配取 100 m^{-1} 时,倍频效率与晶体长度的关系大致与实验结果一致,见图 3。20 kHz 时相当于曲线 a,晶体长度 8 ~ 20 mm 间效率单调上升;曲线 b 相当于 10 kHz 情形,晶体长度 16 mm 时比 20 mm 时效率大;曲线 c 相当于 4 ~ 6 kHz 时情形;作为对比,同时示出无相位失配时的曲线 d。

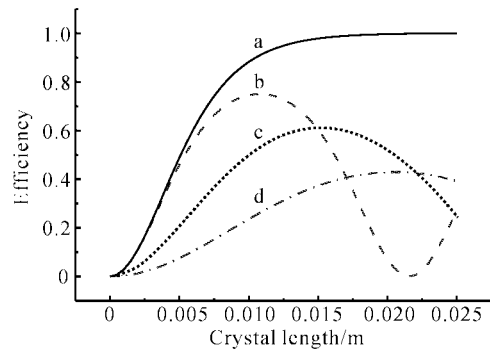


Fig. 3 Dependence of SHG efficiency on crystal length at different laser powers.

a: $\Delta k = 0 \text{ m}^{-1}, P_0 = 3 \times 10^5 \text{ W}$;

b: $\Delta k = 100 \text{ m}^{-1}, P_0 = 3 \times 10^5 \text{ W}$;

c: $\Delta k = 100 \text{ m}^{-1}, P_0 = 0.33 \times 10^5 \text{ W}$;

d: $\Delta k = 100 \text{ m}^{-1}, P_0 = 1 \times 10^5 \text{ W}$

图 4 给出不同 KTP 晶体绿光输出脉宽与重复频率的关系。发现采用长晶体时,绿光输出脉冲宽度变宽。这也可以由倍频过程的饱和效应解释。脉冲中间部分功率高,而前后沿功率低,因此中间部分比前后沿更接近饱和,而这种效应在长晶体时更为严重。

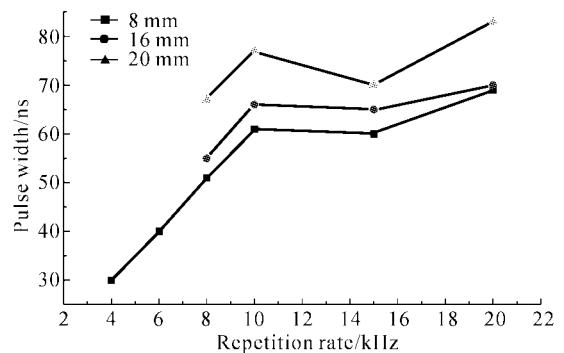


Fig. 4 Pulse width of green output at different repetition rates and crystal lengths

考虑短晶体在高功率时倍频转换效率高的因素,短晶体应能获得更高的绿光峰功率。图 5 给出了不同 KTP 晶体绿光输出峰功率随重复频率的变化。晶体长度为 8 mm,重复频率为 4 kHz 时,脉宽

30 ns, 峰功率达到 1.15×10^5 W。如果单纯追求高
峰值功率, 可进一步降低重复频率。

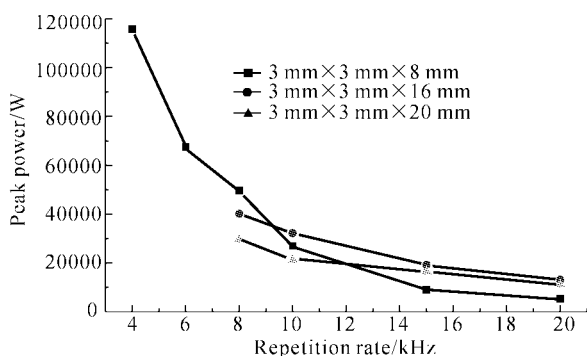


Fig. 5 Peak power of green output at different repetition rates and crystal lengths

图 6 给出了 $3 \text{ mm} \times 3 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}$ 晶体不同重
复频率下, 倍频输出随注入电流的关系。重复频率

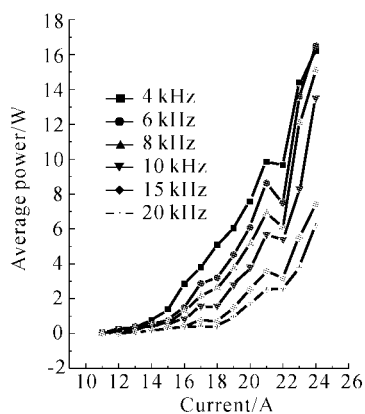


Fig. 6 Average power of frequency doubled laser in $3 \text{ mm} \times 3 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}$ KTP at different driving currents

为 4 kHz 时得到了最好的结果。在 10 kHz、最大注
入电流情况下, 测得 M^2 值约为 4。

结论 采用双棒串接、热致双折射补偿方案, 研制了
一台高光束质量、高功率的准连续 Nd:YAG 倍频激
光器。直接于输出镜后放置 KTP 晶体, 晶体长度为
20 mm, 重复频率为 15 kHz 时得到最大大于 20 W
的平均功率输出。而长晶体在低重复频率, 即高峰
值功率时, 效率降低。分析结果表明这是相位失配
造成的。而相位失配可能是由 KTP 晶体内部热效应
引起的, 根据数值计算, 波矢失配量在 100 m^{-1} 量
级。另外, 采用短晶体可以得到高功率, 晶体长度
为 8 mm, 重复频率为 4 kHz 时, 脉宽 30 ns, 绿光
输出峰功率达 1.15×10^5 W。由于采用腔外倍频,
光束质量好, M^2 值约为 4。

参 考 文 献

- 1 Chang J J, Dragon E P, Bass I L. 315 W pumped-green generation with a diode-pumped Nd:YAG laser. CLEO '98, 1998, San Francisco, CPD-22
- 2 Wang P, Yao J Q, Zhang F *et al.*. 40 W LD pumped intra-cavity frequency doubled Nd:YAG laser. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 2001, **28**(2):112
- 3 Pierre R J, Holleman G W, Valley M *et al.*. Active tracked laser (ATLAS). *IEEE. J. Selected Topics in Quant. Electron.*, 1997, **3**(1):64~70
- 4 Pierre R J, Mordaunt D W, Injeyan H *et al.*. Diode array pumped kilowatt laser. *IEEE. J. Selected Topics in Quant. Electron.*, 1997, **3**(1):53~58
- 5 Dmitricv V G, Gurzadyan G G, Nikogosyan D N. *Handbook of Nonlinear Optical Crystals*, Springer Series in Optical Sciences. Berlin: Springer, 1999. 52~53

20 W Diode Dumped External Frequency-Doubled Nd:YAG Green Laser

Feng Yan Bi Yong Zhang Hongbo Yao Aiyun Wang Jiasheng Xu Zuyan

(Institute of Physics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

(Received 15 March 2002; revised 3 June 2002)

Abstract: An all-solid-state Q-switched external frequency-doubled Nd:YAG laser is developed, which generates green laser output greater than 20 W with a type-II phase-matched KTP crystal. Beam quality factor of the laser M^2 is about 4, and peak power is higher than 1.15×10^5 W.

Key words: all-solid-state laser; green light at 532 nm; KTP crystal; external frequency doubling