

文章编号: 1001-3806(2012)05-0639-03

二极管端面抽运千赫兹激光器

毛小洁¹ 秘国江^{1,2} 杨文是^{1,2} 庞庆生¹ 邵越¹

(1. 华北光电技术研究所 北京 100015; 2. 固体激光技术国家重点实验室 北京 100015)

摘要: 大功率千赫兹激光器作为雷达系统的核心部分之一,在大气科学的研究中显得极为重要。实现大功率千赫兹激光器的可行方式之一是采用主振荡功率放大器。为了获得窄脉宽、高光束质量的千赫兹主振荡器,采用二极管端面抽运的千赫兹电光调 Q Nd:YAG 激光器的方法,进行了理论分析和实验验证,取得了重复频率 1kHz、脉冲宽度 5ns、单脉冲能量 2.7mJ 的 1064nm 激光输出,光光转换效率 40%、光束质量 $M^2 = 1.2$ 。结果表明,该研究为 1kHz、500W、10ns 绿光主振荡功率放大器提供了合格的种子源。

关键词: 激光器; Nd:YAG 激光器; 端面抽运; 窄脉冲宽度

中图分类号: TN248.1 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1001-3806.2012.05.016

Diode end-pumped lasers with 1kHz pulse repetition rate

MAO Xiao-jie¹ MI Guo-jiang^{1,2} YANG Wen-shi^{1,2} PANG Qing-sheng¹ ZOU Yue¹

(1. North China Research Institute of Electro-optics, Beijing 100015, China; 2. National Key Laboratory of Solid-State Laser Technology, Beijing 100015, China)

Abstract: As one of the core parts of a radar system, high-power kHz laser is extremely important in the study of atmospheric science. It is one of the feasible ways to achieve high-power kHz laser master oscillator power amplifier. In order to get the narrow pulse width, high beam quality kHz master oscillator laser, a diode end-pumped kHz electro-optic Q -switched Nd:YAG laser was used in experiments. A laser at 1064nm was obtained with repetition rate of 1kHz, pulse width of 5ns, pulse energy of 2.7mJ, optical-optical efficiency of 40%, $M^2 = 1.2$. The results show that this laser provides a qualified seed source for 1kHz, 500W, 10ns green master oscillator power amplifiers.

Key words: lasers; Nd:YAG laser; end-pumped; short pulse width

引言

高重频、窄脉宽、高光束质量的紧凑型固体激光器在环境监测、激光加工、医疗和通讯等领域具有广阔的应用前景。而千赫兹激光器作为雷达系统的核心部分之一,在大气科学的研究中显得极为重要^[1-7]。激光器指标要求为 1kHz、500W、10ns 绿光,通过主振荡功率放大器可实现上述指标。为了得到好的光束质量和稳定输出,主振荡功率放大器的种子源要求脉宽小于 10ns,单脉冲能量在毫焦量级,输出能量稳定度小于 3%,TEM₀₀ 输出。二极管端面抽运电光调 Q 是实现上述要求种子源的有效途径之一。在众多的二极管端面抽运晶体中,适于本系统要求的工作物质主要有 Nd:YLF 和 Nd:YAG 两种。Nd:YLF 的上能级寿命比 Nd:YAG 大 1 倍,因此,在同等抽运功率条件下,二极

管数量可节省一半。但 Nd:YLF 的吸收带宽太窄,温控精度要求很高^[8]。另外,它的机械强度和热导率都不如 Nd:YAG,考虑到后面的前置放大和功率放大,作者采用机械强度和热导率都较好的 Nd:YAG 晶体。

本文中报道了二极管端面抽运的高重频电光调 Q Nd:YAG 激光器。通过理论分析与优化,获得了重复频率 1kHz、脉冲宽度 5ns、单脉冲能量 2.7mJ 的 1064nm 激光输出,光光转换效率 40%,光束质量 $M^2 = 1.2$ 并对实验结果进行了分析和讨论。

1 理论分析和数值模拟

1.1 连续激光器理论分析

设在工作物质内部,抽运光光场分布近似高斯分布,由四能级系统的速率方程^[9]可得抽运阈值功率:

$$P_{th} = \frac{\pi h \nu_p n \delta (w_{eff}^2 + w_0^2)}{4 \eta_a \sigma \tau} \quad (1)$$

基模输出功率为:

$$P_{out} = [1 - \exp(-\alpha_p l)] (P_0 - P_{th}) \frac{\nu T J}{\nu_p \delta} \quad (2)$$

作者简介: 毛小洁(1981-),男,工程师,主要从事固体激光技术的研究。

E-mail: maoxiaojie991220@163.com

收稿日期: 2012-02-24; 收到修改稿日期: 2012-03-06

输出镜透射率为:

$$T_{\text{opt}} = \frac{1}{2} \delta_0 \alpha^2 + \delta_0 \alpha \quad (3)$$

式中 h 为普朗克常数, ν 为激光频率, ν_p 为抽运光频率, η_a 为工作物质对抽运光的吸收效率, σ 为受激发射截面, τ 为工作物质的荧光寿命, n 为工作物质的折射率, δ 为谐振腔总损耗, δ_0 为激光谐振腔内的固有损耗, T 为腔镜的输出耦合度, w_{eff} 和 w_0 分别为振荡光和抽运光在工作物质内的光斑尺寸, α_p 为工作物质对抽运光的吸收系数, l 为工作物质的长度, P_0 为入射到工作物质表面的抽运功率, J 为重叠效率因子, 它表征抽运光与振荡光在空间的重叠程度, α 为振荡光与抽运光在工作物质内平均截面积之比。

可以看出, 为了降低抽运阈值, 可采用受激发射截面和荧光寿命乘积值较大的工作物质, 减小腔损耗和压缩抽运光和振荡光的光斑尺寸; 为了提高光光转换效率, 就要增加抽运光和振荡光在空间的重叠程度。

1.2 实验装置

激光器实验装置如图 1 所示。

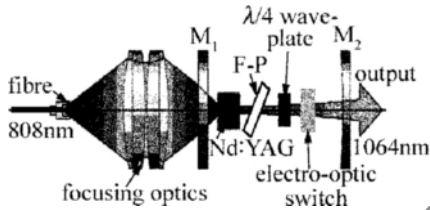


Fig. 1 Experimental setup of laser

抽运源采用 nLight 公司生产的 808nm 光纤耦合输出激光器, 光纤芯径为 $400\mu\text{m}$, 数值孔径为 0.22, 最大连续输出功率为 40W。本系统中, 抽运源采用高重复脉冲方式工作, 脉宽为 $220\mu\text{s}$ 时, 单脉冲最大输出能量 8.8mJ。抽运光通过焦距为 75mm/75mm 的两个透镜耦合进 Nd:YAG 晶体。Nd:YAG (AR/AR 808nm&1064nm) 晶体尺寸为 $4\text{mm} \times 4\text{mm} \times 10\text{mm}$, 掺 Nd 的原子数分数为 0.008。电光调 Q 晶体为 KD^*P 晶体, 平平全反镜 M_1 (AR@808nm, HR@1064nm), 输出耦合镜 M_2 在 1064nm 的透射率通过 (3) 式得 50%。

1.3 数值模拟

通过 ABCD 矩阵可以计算谐振腔的模式大小, 增益介质可被视为一个热透镜^[10], 热透镜焦距为:

$$f_t = \frac{2\pi\kappa_c w_{\text{eff}}^2}{\frac{dn}{dT} \xi \eta P_0} \quad (4)$$

式中 f_t 为晶体的热透镜焦距, 热导率 $\kappa_c = 14\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ (20℃ 时), 折射率温度系数 $\frac{dn}{dT} = 7.8 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$; 量子缺陷效率 $\xi = 0.24$, 通过 1:1 耦合透镜, 抽运模式在

晶体中的有效光斑半径 $w_{\text{eff}} = 0.4\text{mm}$ 。由 (4) 式得出热透镜焦距随抽运单脉冲能量变化, 如图 2 中虚线所示, 星状线为实际测试的热透镜焦距随抽运单脉冲能量变化。

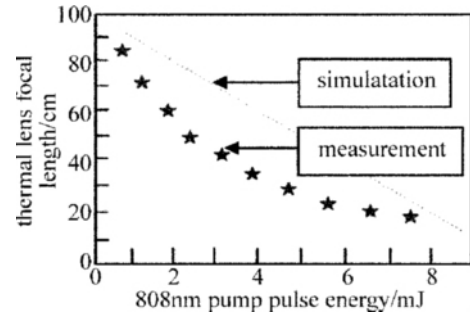


Fig. 2 Thermal lens focal length changes with the pump pulse energy

单程损耗系数为:

$$\eta = 1 - \exp(-\alpha_{\text{eff}} l) \quad (5)$$

式中, 晶体有效吸收系数 $\alpha_{\text{eff}} = 0.003\text{cm}^{-1}$, 晶体长度 $l = 10\text{mm}$, 由 (5) 式得出激光在 Nd:YAG 中的单程损耗为 0.003。

要使激光输出模式为 TEM_{00} , 激光抽运模式在晶体中的有效光斑半径 w_{eff} 与抽运光在晶体中的光斑半径 w_0 应满足:

$$1 < \frac{w_{\text{eff}}}{w_0} < 1.73 \quad (6)$$

所以选用 1:1 的耦合透镜。

在 808nm 单脉冲抽运能量 6.7mJ 时, 设计的激光谐振腔的稳定性如图 3 所示。

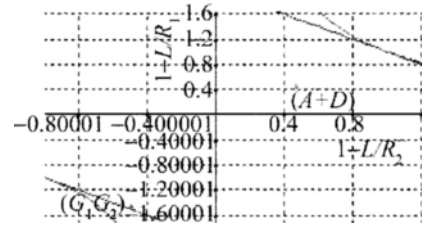


Fig. 3 Stability of the resonator (L is oscillator length, R_1 and R_2 are the radius of M_1 and M_2)

激光器的稳定条件 $\frac{(A+D)}{2} = 0.4639$, 稳定条件

$G_1 G_2 = 0.7319$, 满足激光器谐振腔的稳定性。

谐振腔中各镜面和晶体中的光斑大小如图 4 所示。

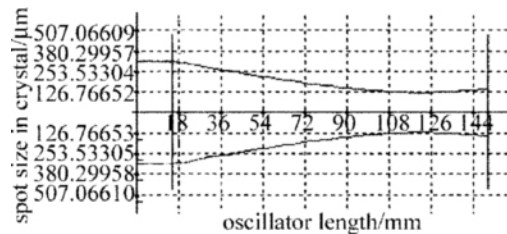


Fig. 4 Laser spot size in the resonator

为了得到较短的激光脉冲, 谐振腔总腔长为 150mm。在 Nd:YAG 晶体中光斑半径 $w_0 = 316\mu\text{m}$, 满

足激光器输出单模的条件(见(6)式)。

2 实验结果和讨论

在重复频率 1kHz 时,1064nm 单脉冲输出能量随抽运能量的变化如图 5 所示。

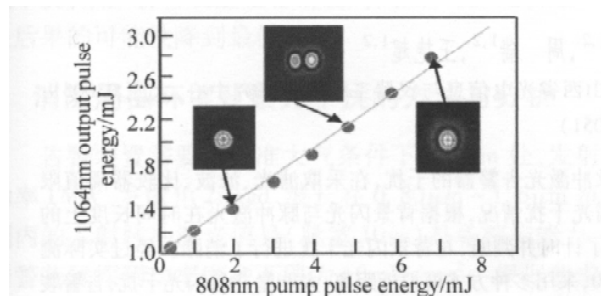


Fig.5 Output pulse energy changes with pump pulse energy

输出 1064nm 激光的抽运阈值 1mJ,抽运光从 1mJ ~ 3mJ 输出激光模式为 TEM_{00} ,因为此时单脉冲抽运能量较小,激光晶体热透镜焦距较长,满足单模输出条件;抽运光从 3mJ ~ 5mJ 输出激光模式为 TEM_{01} ,因为此时单脉冲抽运能量较大,热透镜效应使得激光在晶体中的光斑半径小于 $300\mu m$,不满足单模输出条件(6)式;随着单脉冲抽运能量的进一步增加,晶体中的光斑半径逐渐变大,在抽运单脉冲能量 6.7mJ 时,输出激光模式为 TEM_{00} ;光光转换效率达到 40%。如图 5 所示。

在重复频率 1kHz、激光输出单脉冲能量为 2.7mJ 时,光斑 $M^2 = 1.2$,激光脉冲宽度为 5ns,单脉冲能量稳定度小于 3%。

3 结论

报道了二极管端面抽运的高重频电光调 Q Nd:YAG 激光器。通过理论分析与优化,获得了重复频

率 1kHz、脉冲宽度 5ns、单脉冲能量 2.7mJ 的 1064nm 激光输出,光光转换效率 40%,光束质量 $M^2 = 1.2$,对实验结果进行了分析和讨论。这为 1kHz,500W,10ns 绿光主振荡功率放大器提供了合格的种子源。

参考文献

- [1] DAI Y J. The principle of lidar[M]. Beijing: National Defence Industry Press 2002:232-277(in Chinese).
- [2] PHILLIPS M W, HENDERSON S W, POLING M, *et al.* Coherent lidar development for Doppler wind measurement from the International space station[J]. Proceedings of SPIE 2001 4153: 376-384.
- [3] REN P, WANG Y L, KANG D Y, *et al.* Numerical optimization in VAD inversion technique for wind lidar[J]. Laser Technology 2009, 33(6): 664-666(in Chinese).
- [4] LAI D, CHEN Y, ZHOU D F *et al.* Beam scanning of lidar and the simulation of the improved VAD inversion methods[J]. Laser Technology 2008 32(6): 584-586(in Chinese).
- [5] HENDERSON S W, HANNON S M. Advanced coherent lidar system for wind measurements[J]. Proceedings of SPIE 2005 5887: 588-601.
- [6] XU Q Y, NING H Sh, CHEN W Sh, *et al.* Applications of meteorological radar for the civil aviation safety[J]. Acta Electronica Sinica, 2010 38(9): 2147-2151(in Chinese).
- [7] ZHANG S Q, LOU Q H, ZHOU J, *et al.* Design of drive circuit for continuously adjustable ns pulse LD[J]. Laser Technology 2008 32(4): 396-398(in Chinese).
- [8] MERMILLIOD N, ROMERO R, CHARTIER I, *et al.* Performance of various diode-pumped Nd: laser materials: influence of inhomogeneous broadening[J]. IEEE Journal of Quantum Electronics, 1992, 28(4): 1179-1186.
- [9] ALFREY A J. Modeling of longitudinally pumped CW Ti:sapphire laser oscillators[J]. IEEE Journal of Quantum Electronics, 1989, 25(4): 760-766.
- [10] ZHENG J A, ZHAO SH Zh, WANG Q P, *et al.* Influence of thermal effect in gain-media on optimum design of LD-end pumped solid state laser[J]. Acta Photonica Sinica, 2001 30(6): 724-729(in Chinese).