

基于 Nd:YAP 偏振特性的电光调 Q 激光器

凌 铭^{1,2}, 张建文¹, 章世骏², 黄中荣¹

(1. 上海机动车检测中心, 上海 201805; 2. 上海市汽车灯具研究所, 上海 201805)

摘要:用具有偏振特性 b 轴切割的 Nd:YAP 激光晶体, 在脉冲激光二极管阵列侧面抽运的同时, 作为电光调 Q 的起偏器件, 代替同样功能的格兰-福科棱镜。以 LiNbO₃ 晶体作为电光晶体, 平-平直腔进行实验, 在延迟时间 150 μs 时, 在抽运到阈值增益的 4 倍时, 获得了 1.02 mJ, 70 ns 的 1341 nm 激光脉冲。实验表明, 用 Nd:YAP 晶体代替格兰-福科棱镜作为电光调 Q 的起偏检偏器件, 可以获得较佳的调 Q 效果, 与理论计算相比, 能量降低 18%, 脉宽增加 44 ns, 吻合较好; 插入格兰-福科棱镜, 能量下降 25%, 脉宽增加 28%。该方法可减小腔内损耗, 缩短脉宽, 为设计制备大功率新型脉冲激光器提供了依据。

关键词:激光器; 电光调 Q; 偏振; Nd:YAP 晶体

中图分类号: TN248.1 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-5078.2013.02.010

Electro-optic Q-switched laser based on Nd:YAP polarization

LING Ming^{1,2}, ZHANG Jian-wen¹, ZHANG Shi-jun², HUANG Zhong-rong¹

(1. Shanghai Motor Vehicle Inspection Center, Shanghai 201805, China;

2. Shanghai Automobile Lamps Research Institute, Shanghai 201805, China)

Abstract: Nd:YAP laser crystal with good polarization property is pumped by pulse laser diode array. An electro-optical crystal LiNbO₃ and flat-flat cavity are used as polarizer and replace the Grand-Foucault prism at the same time. The 1341 nm laser pulses with 70 ns pulse width and 1.02 mJ energy are obtained under the condition that the delay time is 150 μs and pumping power is 4 times more than threshold gain. Experiments show that the Nd:YAP crystal in place of Grand-Foucault prism as the polarizer of the electro-optic Q-switch can get better Q-switch effect. Compared with the theoretical calculation, the energy decreases by 18% and pulse width increases by 44 ns. When inserting Grand-Foucault prism, the energy is reduced by 25% and pulse width increased by 28%. This Q-switch method can reduce the cavity loss and shorten the pulse width. It is helpful for the design of new high-power pulsed laser.

Key words: laser; electrooptic Q-switched; polarization; Nd:YAP crystal

1 引言

电光调 Q 具有开关时间短, 效率高, 调 Q 时间可以精确控制的特点, 因而被广泛应用于高增益调 Q 激光器, 高峰值功率激光器及蓝光、紫外激光器中^[1-3]。目前, 电光调 Q 研究主要集中在高重复率、电光材料的温度特性、新型电光材料方面研究上^[4-6], 而用偏振特性的激光晶体代替格兰-福科作为电光调 Q 的起偏器件方面的研究未见报道。

常用的电光调 Q 由电光晶体、格兰-福科棱镜构成, 格兰-福科棱镜主要起作用, 将电光晶体和格兰-福科棱镜作为一体, 将其称为普克尔盒。腔内

插入普克尔盒, 不可避免地增加了“插入损耗”, 从而降低激光器输出功率, 提高阈值。如果我们选用一种晶体, 它既可以作为激光介质, 同时又具有偏振输出特性, 激光振荡时, 能代替格兰-福科棱镜的起偏、检偏作用, 这样, 就能在不影响调 Q 功能的前提

基金项目: 国家质量监督检验检疫总局项目 (No. 2012QK280) 资助。

作者简介: 凌 铭 (1967-), 男, 工学博士, 研究员, 主要从事光学检测方面研究。E-mail: lingming5397364@yahoo.com.cn

收稿日期: 2012-07-24; **修订日期:** 2012-08-14

下,减少腔内器件,降低腔内损耗,缩短脉宽,提高峰值功率,极大地改善了激光器的性能^[7]。

本文用 b 轴切割 Nd:YAP 晶体的 ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$ (${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$) 跃迁^[8], 输出为 1341 nm (1079 nm) C 偏振激光, 同时利用其偏振输出特性, 作为电光调 Q 的起偏器件, 实现了电光调 Q, 获得了良好的实验效果。

2 理论计算

偏振度定义为^[9]:

$$P = \frac{I_M - I_m}{I_M + I_m} \quad (1)$$

式中, I_M 为对应振动占优势的垂直方向的强度; I_m 为对应振动占劣势的水平方向的强度。实验时, 可用偏振光的输出能量代替输出光强度。偏振度大于 0.95, 即具有良好的偏振特性。

调 Q 脉冲激光器的峰值功率为^[10-11]:

$$P_m = \eta_0 \frac{\phi_m}{\tau_R} h\nu_{21} \quad (2)$$

式中, ϕ_m 腔内峰值光子数密度; $\eta_0 = \frac{1-r_2}{1-S}$ 是输出耦合比, 腔内平均光子寿命 $\tau_R = \frac{2L'}{c(1-S)}$, $S = \prod_i r_i \prod_j T_j e^{-2\alpha l}$; r_i 为谐振腔内各反射镜的反射率; T_j 为腔内所有元件透射率; α 为损耗系数; L' 为光程。

如果激活介质体积为 V , 光子数从 ϕ_m 下降到 ϕ_f 的时间脉冲结束, 则 ϕ_f 对应的反转粒子数为 Δn_f , 那么调 Q 脉冲的能量为:

$$E = \frac{1}{2} h\nu_{21} (\Delta n_i - \Delta n_f) V \quad (3)$$

基于 Nd:YAP 偏振特性的电光调 Q 激光器如图 1 所示^[7]。波长 $\lambda = 1341$ nm, 腔长 $L = 15$ cm, 反射镜和输出镜对 1341 nm 的反射率为 $r_1 = 0.999$, $r_2 = 0.90$; 晶体棒长 $L_2 = 5$ cm, 直径 $\phi = 3$ mm, 折射率 $n_2 = 1.922$, Nd:YAP 的 1341 nm 受激辐射截面 $\sigma = 2.2 \times 10^{-19}$ cm², 两端面镀 1341 nm 增透膜 ($T = 99.5\%$)。电光晶体 LiNbO₃ 出入射面镀 1341 nm 增透膜 ($T = 99.5\%$), $L_1 = 2$ cm, 对 1341 nm 折射率 $n_1 = 2.232$, 附加损耗系数 $\alpha_1 = 0.002$ cm⁻¹^[11], 根据阈值条件, 棒内损耗系数 g_t :

$$g_t = \frac{1}{2L_2} \ln \frac{1}{r_1 r_2 T^8} + \alpha_1 \frac{L_1}{L_2} = 0.01545 \text{ cm}^{-1} \quad (4)$$

根据上述值计算如下: 光腰约为 530 μm , $\Delta n_i = 2.8 \times 10^{17}$ cm⁻³, $\tau_R = 10.3$ ns, $\eta_0 = 0.8$, $L' =$

22.074 cm, 介质被泵浦到增益的 4 倍, $\frac{\Delta n_i}{\Delta n_f} = 4$ 时,

能量利用率 $1 - \frac{\Delta n_f}{\Delta n_i} = 0.98$ ^[9], 输出单脉冲能量:

$$E = 1.5 \text{ mJ} \quad (5)$$

脉宽:

$$t = 26 \text{ ns} \quad (6)$$

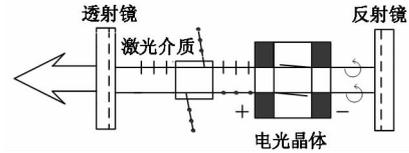


图 1 基于 Nd:YAP 偏振特性的电光调 Q 激光器示意图

Fig. 1 the schematic diagram of electrooptic Q-switched laser based on Nd:YAP polarization

3 实验结果与分析

用平-平直腔进行实验, 验证 Nd:YAP 激光介质的调 Q 性能。激光器的抽运电源重复频率 50 ~ 1000 Hz, 脉宽 100 ~ 250 μs , 激光器器件其他参数同上节。

3.1 Nd:YAP 偏振特性测试

首先不使用电光晶体, 如图 1 所示, 测试 Nd:YAP 激光晶体的偏振特性。激光腔内只有 Nd:YAP 激光晶体, 无电光晶体。用旋转格兰-傅科棱镜法检偏, 用能量计测试激光输出能量。表 1 为泵浦电流 75 A, 泵浦脉宽 180 μs 时, 1341 nm 输出的偏振度测试。

可看出, 1341 nm 激光输出偏振度接近于 1, 可基本视为线偏振光, 这说明 Nd:YAP 激光晶体输出有良好的线偏振输出特性。加工好的格兰-福科棱镜的偏振度一般为 0.96^[9], 因此 Nd:YAP 晶体可替代格兰-福科棱镜做为电光调 Q 的起偏器件。

表 1 Nd:YAP 激光晶体 1341 nm 激光输出偏振度表

Tab. 1 the table of Nd:YAP Polarization for 1341 nm

| No | 1 | 2 | 3 |
|------------------------|------|------|------|
| 最大能量 J_1/mJ | 1.12 | 1.21 | 1.38 |
| 最小能量 $J_2/\mu\text{J}$ | 22 | 30 | 38 |
| 偏振度 P | 0.96 | 0.95 | 0.95 |

3.2 电光调 Q 实验

电光晶体选用 LiNbO₃ 晶体, 体积 20 mm \times 4 mm \times 4 mm, 电光系数 $\gamma_{22} = 6.8 \times 10^{-12}$ m/V, 计算的半波电压为 1773 V, 实验在 1800 V 附近调整。Nd:YAP 晶体的上能级荧光寿命为 180 μs , 过大和

过小的延迟时间会影响调 Q 效果,实验选择延迟时间 150 μs 。

实验在插入格兰-福科棱镜和不插入格兰福科棱镜进行实验,实验时,抽运脉宽 180 μs ,LiNbO₃ 晶体施加电压 1850 V 时,调 Q 开关门的效果最好。获得的激光器抽运电流与输出能量关系如图 2 所示。

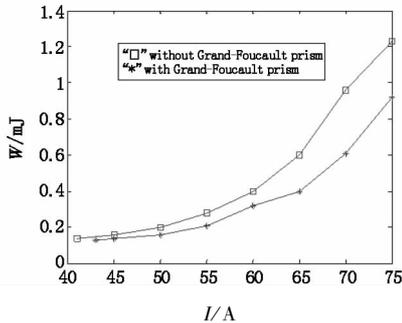


图 2 抽运电流与输出能量关系图

Fig. 2 the schematic diagram between pumping current and output energy

图 3、图 4 分别为延迟时间 150 μs 时,激光器有无格兰-福科棱镜的输出脉冲波形图。

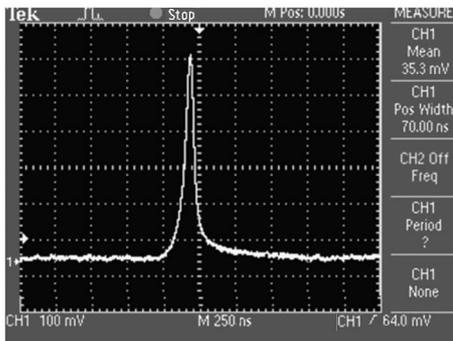


图 3 无格兰-福科棱镜时激光单脉冲图

Fig. 3 the experiment schematic diagram of one laser pulse without Grand-Foucault prism

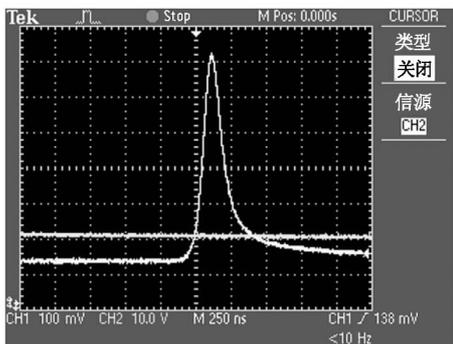


图 4 插入格兰-福科棱镜时激光单脉冲图

Fig. 4 the experiment schematic diagram of one laser pulse with Grand-Foucault prism

无格兰-福科棱镜时,激光器阈值电流 41 A,当抽运电流 75 A 时,抽运功率是阈值功率的 4 倍,

可认为激光器介质此时被抽运到增益的 4 倍,此时输出能量为 1.23 mJ,脉宽 70 ns。还可以看出,调 Q 波形光滑,上升沿较陡,说明 Nd:YAP 的起偏检偏效果较好,可达到格兰-福科棱镜所起的效果。

输出能量与理论值相比,减少 0.27 mJ,降低 18%。脉宽增加 44 ns,相差较大。原因是计算时假设 Nd:YAP 晶体的偏振度为 1,而实际上为 0.95,调 Q 时不可能达到理论计算值,同时,激光器实际调试时不可能达到理论计算时的条件,故脉宽相差较大,但输出总能量与调 Q 无关,因此较接近,可认为在合理的范围内。

插入普通方解石做成的格兰-福科棱镜,其双端面镀对 1341 nm 增透膜(透射率 99.5%),长度 1 cm。此时激光器阈值为 43 A,抽运电流 75 A 时,可认为激光器介质此时被抽运到增益的 4 倍,测得激光器输出单脉冲能量为 0.92 mJ,约下降 25%,脉宽由 70 ns 升为 90 ns,增加了 28%。可见,腔内插入格兰-福科棱镜的影响是非常大的,使能量下降和脉宽加宽得程度变小。因此,用具有偏振特性的激光工作物质来代替格兰-福科棱镜,进行电光调 Q,是一个较佳的选择。

4 结论

具有偏振特性的激光介质,在被抽运的同时,可作为电光调 Q 的起偏、检偏器件,该方法在不影响电光调 Q 效果的同时,可以减少腔内器件,降低阈值,增加输出功率,缩短脉宽。实验表明,Nd:YAP 激光晶体具有良好的偏振特性,可以达到较佳的电光调 Q 效果。该方法为获得高功率的脉冲激光器提供了一种较佳的方法。

参考文献:

- [1] Zhu Xiaolei, Tang Hao, Li Xiaoli, et al. Recent progresses of LD pumped solid state lasers with high repetition rate electro-optic Q-switch [J]. Chinese Journal of Lasers, 2009, 36(7): 1654-1659. (in Chinese)
朱小磊,唐昊,李小莉,等.高重复频率电光调 Q 全固态激光器研究进展[J].中国激光,2009,36(7): 1654-1659.
- [2] Wen Xianbin, Sa Yu, Zhang Guihe. Study on eletro-optic Q-switched Nd:YAG frequency doubling laser at 660 nm[J]. Laser & Inferared, 2012, 42(6): 633-637. (in Chinese)
文晓彬,撒昱,张贵忠.电光调 Q 660 nm Nd:YAG 倍频

- 激光器的研究[J]. 激光与红外, 2012, 42(6): 633-637.
- [3] Ling Ming, Wu Zhichao, Zhang Haibo, et al. Reliability analysis of LD pumped solid laser without water cooling based on fault tree [J]. Laser & Infrared, 2008, 38(3): 211-213. (in Chinese)
凌铭, 武志超, 张海波, 等. LD 泵浦 Nd:AG 无水冷固体激光器可靠性分析[J]. 激光与红外, 2008, 38(3): 211-213.
- [4] Zhao Guoqiang, Li Long, Du Changlong. Transient temperature field of Nd:GdVO₄ crystal end-pumped by diode [J]. Laser & Infrared, 2012, 42(7): 751-757. (in Chinese)
赵国强, 李隆, 杜长龙. 二极管端面泵浦 Nd:GdVO₄ 晶体瞬态温场分析[J]. 激光与红外, 2012, 42(7): 751-757.
- [5] John J Degnan, D Barry Coyle, Richard B Kay. Effects of thermalization on Q-switched laser properties [J]. IEEE Journal of Quantum Electronics, 1998, 34(5): 887-899.
- [6] Huang Ke, Fan Zhongwei, Yu Jin, et al. Theoretical and experimental study of LD endpumped Nd:YVO₄ laser amplifier [J]. Laser & Infrared, 2011, 41(8): 861-867. (in Chinese)
黄科, 樊仲维, 余锦, 等. LD 端面泵浦 Nd:YVO₄ 激光放大器的理论及实验[J]. 激光与红外, 2011, 41(8): 861-867.
- [7] Ling Ming. Researches of laser diode side-pumped Nd:YAP blue laser [D]. Changchun: Changchun Science and Technology University, 2009. (in Chinese)
凌铭. 半导体侧面抽运 Nd:YAP 蓝光激光器研究[D]. 长春: 长春理工大学, 2009.
- [8] M J Weber, T E Varitimos. Optical spectra and intensities of Nd³⁺ in YAlO₃ [J]. Appl. Phys., 1971, 42(12): 4996-5005.
- [9] Liang Zhu. Optical principle Tutorial [M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics University Press, 2005: 32-37. (in Chinese)
梁柱. 光学原理教程 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005: 32-37.
- [10] Zhou Bingkun, Gao Yizhi, Chen Zhengrong, et al. Laser principle [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2005: 224-226. (in Chinese)
周炳琨, 高以智, 陈峥嵘, 等. 激光原理 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2005: 224-226.
- [11] Verderyen Svelto. Principles of lasers [M]. 4th ed. Berlin: Adivision of Plenum Publishing Corporation, 1998: 127-131.