

LD 端面泵浦 $\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$ 被动调 Q 的 $\text{Nd}:\text{YLF}$ 激光器

359-362 王 春 胡文涛[✓] 陈绍和 邓锡铭
(中国科学院上海光学精密机械研究所 上海 201800)

TN 248.1
TN 245

摘 要

二极管端面泵浦的 $\text{Nd}:\text{YLF}$ 激光器中, 采用 $\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$ 作为饱和吸收体, 实现了被动调 Q, 激光输出波长为 1.053 nm。在泵浦功率为最大值 525 mW 时, 输出宽度为 26 ns、能量为 22 μJ 的调 Q 脉冲, 同时对具有同样腔结构的 $\text{Nd}:\text{YVO}_4$ 激光器在插入 $\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$ 饱和吸收体后的特性也作了研究, 对 $\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$ 被动调 Q 开关的工作条件作了理论上的分析, 并在实验中得到极好的验证。

关键词 二极管泵浦, 被动调 Q, 饱和吸收体

致: YLF 激光器

1 引 言

短脉冲、高峰值功率的调 Q 固体激光器在激光测距、非线性光学、医学等领域应用越来越广。Q 开关的选择会严重影响激光器的体积和系统的复杂程度。电光 Q 开关需要外部高压系统和腔内光学偏振元件, 声光 Q 开关则需要高频驱动。而被动 Q 开关结构简单、造价低而获得广泛应用。被动 Q 开关通常采用有机染料或色心晶体作为饱和吸收体来实现。有机染料化学稳定性差, 色心晶体如 $\text{F}^{2+}:\text{LiF}^{[1,2]}$ 其性能则会逐渐衰弱, 从而限制其稳定运行的时间。最近掺铬晶体如 $\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$, $\text{Cr}^{4+}:\text{GSGG}$, $\text{Cr}^{4+}:\text{Mg}_2\text{SiO}_4$, $\text{Cr}^{4+}:\text{YSGG}$, $\text{Cr}^{4+}:\text{GSAG}$, $\text{Cr}^{4+}:\text{GIGG}$ 等, 有了进一步发展, 其中一些在 Nd^{3+} 激光器中可以作为饱和吸收体代替色心晶体^[3-6], 具有长期稳定性, 应用会越来越广。

通过晶体中之双掺杂, 晶体既可工作为增益介质, 也可以工作为饱和吸收体, 用于制作单块调 Q 固体激光器, 二极管泵浦的调 Q 单块 $\text{Cr}, \text{Nd}:\text{YAG}$ 激光器已有报导^[7]。由于掺 Cr^{4+} 的晶体具有较宽的吸收带, 中心波长在 Nd^{3+} 激光器波长附近, 用此掺 Cr^{4+} 晶体作饱和吸收体易于实现 Nd^{3+} 激光器调 Q。此文中, 在 LD 泵浦的连续的 $\text{Nd}:\text{YLF}$ 激光器中使用 $\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$ 作 Q 开关, 使激光器在结构上进一步压缩, 激光器参数是按照文献被动调 Q 激光器理论进行选择的。这里我们选择了 σ 偏振的 $\text{Nd}:\text{YLF}$ 作为增益介质, 其主要原因有: 一是其输出波长与 Nd 玻璃放大器非常接近, 适合于作为种子脉冲注入放大, 其上能级寿命长、辐射截面小, 适于能量存储, 因此对简单线性腔结构的调 Q 运转非常有利。相反, 对于辐射截面高、上能级寿命短的晶体如 $\text{Nd}:\text{YVO}_4$ 采用这种线性腔结构则不能实现被动调 Q, 详细阐述参照后文。

收稿日期: 1996-10-08

2 实验

激光器采用端面泵浦、简单的线性平凹腔结构如图 1。泵浦源为 1 W 连续二极管 (中科院半导体所生产), 通过温度控制使其发射峰的中心波长为 797 nm, 与偏振的 Nd:YLF 吸收峰相匹配, 同时采用有效孔径为 50 mm, 焦距分别为 45 mm、75 mm 的非球面镜作整形系统, 测得耦合效率为 80%, 增益介质是沿 C 轴切割, 直径、长度均为 5 mm 的 Nd:YLF 棒, 输出激光波长为 1.053 μm 。棒的两端面加工成平面, 两平面之间有一较小劈角, 以避免标准具效应。Nd:YLF 棒靠近泵浦源的一端镀对 1.053 μm 全反、对 797 nm 增透 (85%) 的双色膜, 另一端镀对 1.053 μm 的增透膜, 谐振腔由棒的前端面和一曲率半径为 500 mm、透过率为 6% 的输出耦合镜组成, 腔长为 40 mm, 掺 Cr^{4+} 的 YAG 由上海光机所生产, Cr^{4+} :YAG 薄片厚度为 600 μm , 两面抛光并镀对 1.053 μm 增透膜, 使得小信号透过率为 92%。

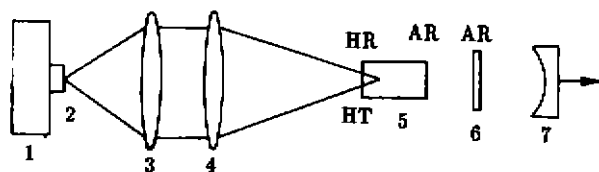


图 1 二极管端面泵浦 Cr^{4+} :YAG 被动调 Q 的 Nd:YLF 激光器的实验装置图

1. 致冷器, 2. 激光二极管, 3. 准直透镜, 4. 聚焦透镜,
5. Nd:YLF 棒, 6. Cr^{4+} :YAG 薄片, 7. 输出耦合镜

3 结果与讨论

在插入 Cr^{4+} :YAG 饱和吸收体之前, 使 Nd:YLF 激光器连续运转, 耦合输出透过率为 6%, 此时阈值为 $P_{\text{th}}=125 \text{ mW}$ (指进入增益介质的泵浦功率), 在最大泵浦功率 $P_{\text{max}}=525 \text{ mW}$ 时, Nd:YLF 输出为 160 mW 的 TEM_{00} 模, 光-光效率为 30%, 斜效率为 40%。当在激光腔中插入厚度为 600 μm 、小信号透过率为 92% 的 Cr^{4+} :YAG 薄片, 则输出为一连续脉冲序列, 单个脉冲能量为 22 μJ , FWHM 宽度为 26 ns, 相应峰值功率为 850 W。同时我们还观察到, 一旦泵浦功率超过阈值, 输出脉冲的能量和宽度不随泵浦能量增加而变化, 重复频率则随泵浦功率线性增加, 在最大泵浦功率 525 mW 时, 重复频率为 1.43 kHz, 平均功率 31.5 mW, Q 开关的提取效率为 19.7%, 提取效率较低是由于泵浦光不均匀, 使得被动调 Q 只能在泵浦光中心区域产生。

相继调 Q 脉冲振幅与振幅之间漂移, 和时间延迟上的抖动高至 5%, 这种不稳定是由于激光器工作于多纵模状态, 而每个脉冲比较稳定没有纵模跳动现象, 说明每个脉冲工作在单纵模状态, 但由于空间烧孔效应, 使脉冲之间有跳模现象, 不同的模式有不同的增益, 导致振幅不同和时间延迟不一致。在我们的实验中, 振幅的漂移和时间延迟的抖动固定在 2~3 个值上, 表明激光器工作在 2~3 个纵模状态。

当激光二极管工作在脉宽为 1 ms 重复频率为 50 Hz 的准连续状态时, 每一个泵浦周期只产生一个调 Q 脉冲, 图 2 为单个调 Q 脉冲, 此脉冲为 100 个脉冲叠加的结果, 表明稳定性较好, 在这种工作状态下, 激光输出可能为单纵模, 有待进一步证实。为了比较在使用 Cr^{4+} :YAG 作为饱和吸收体时增益介质在储能上的差别, 我们研究了与上述腔结构相同的 Nd:YVO₄ 激光器的性

能, 在二极管输出功率为 400 mW 时, 中心波长 807 nm, 只观察到增益 Q 开关脉冲输出如图 3

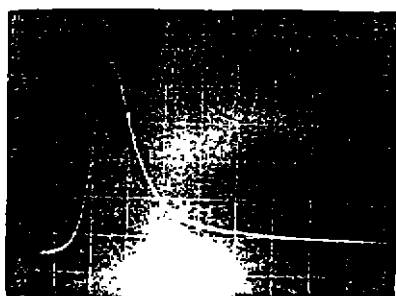


图 2 调 Q 脉冲波形图
图为 100 个脉冲叠加的结果 (2 ns/div)

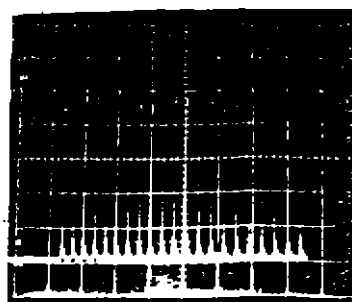


图 3 用 $\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$ 的 Nd:YVO₄ 激光器输出的
增益开关脉冲 (20 μs/div)

所示, 增益 Q 开关脉冲宽度为 300 ns, 重复频率为 0.2 MHz, 其峰值功率比腔内没有饱和吸收体时还要低, 这种现象我们可以根据固态饱和吸收体被动 Q 开关判据^[9]进行解释, 此判据为:

$$\frac{2\alpha_a L_a}{2\alpha_g L_g} \times \frac{\sigma_a}{\sigma_g} \times \frac{A_g}{A_a} > \frac{\Gamma}{1-\beta}$$

α_a 、 L_a 、 σ_a 、 A_a 分别为饱和吸收体小信号时的吸收系数、晶体长度、吸收截面、有效光束面积, α_g 、 L_g 、 σ_g 、 A_g 分别为激光介质相应的小信号参数。上式左边第一项通常小于 1, 不等式右边一项大于 1, 对 Nd:YVO₄, $\sigma_g = (1-3) \times 10^{-18} \text{cm}^2$ 等于或大于 $\sigma_a = (0.87-3) \times 10^{-18} \text{cm}^2$ ^[9], 而 $A_g > A_a$, 因此即使没有输出, 腔内存储的能量也不足以使吸收体饱和, 因此没有调 Q 脉冲输出。相反, σ 偏振的 Nd:YLF 受激辐射截面为 $(1-3) \times 10^{-19} \text{cm}^2$, 比 $\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$ 的小一个数量级, 被动调 Q 运转可以很好实现。

4 结 论

本文用 $\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$ 作为饱和吸收体实现了 LD 泵浦的 Nd:YLF 激光器的被动调 Q 运转, 输出脉冲能量为 22 μJ, 脉宽为 26 ns. σ 偏振的 Nd:YLF 具有较强的储能性能而易于在线性腔结构中实现被动调 Q, 这种激光器具有结构简单、效率高、稳定性好等优点。

参 考 文 献

- 1 Beach R, Davin J, Mitchell S. *et al.* Passively Q-switched transverse-diode-pumped Nd³⁺:YLF laser oscillator. *Opt. Lett.*, 1992, 17: 124
- 2 Morris J A, Pollock L R. Passively Q switching of a diode-pumped Nd:YAG laser with a saturable absorber. *Opt. Lett.*, 1990, 15: 440
- 3 Miller I, ACloick A, Bernard J. *Advanced solid state lasers*, Vol. 13 of OSA Proceeding, Series (Optical Society of America, Washington. D. C., 1992). 0322
- 4 Andrauskas D, Kennedy C. *Advanced solid state lasers*, Vol.10 of OSA Proceeding series (optical society of America, Washington D C.1991), 393

- 5 OemChuk M I, Mikhailor N P, ZHA Voronkov N *et al.* Chromium-doped for sterite as a solid-state saturable absorber. *Opt.Lett.*, 1992, 17: 929
- 6 Munin E, Villaverde A B, Zhang X X *et al.* Broad band, intensity dependent absorption in a tetravalent chromium-doped crystals. *Appl. Phys. Lett.*, 1993, 63: 1739
- 7 Li Shiquanci, Zhou Shouhuan, Wang Pe *et al.* Self-Q-Switched Diode-End-Pumped Cr,Nd:YAG laser with polarized output. *Opt. Lett.*, 1993, 18: 203
- 8 Kuo Y K, Huang M F, Bimbann M. Tunable Cr⁴⁺:YSO Q-Switched Cr:LiCAF laser. *IEEE. J. Quant. Elect.*, 1995, 31: 657
- 9 Shimony Y, Kalisky I Y. Cr⁴⁺:YAG as passive Q-switch and Brewster plate in a pulsed Nd:YAG laser. *IEEE J. Quant. Elect.*, 1995, 31: 1738

Passively Q-Switched Diode-End-Pumped Nd:YLF Laser with Cr⁴⁺:YAG as Saturable Absorber

Wang Chun Hu Wentao Chen Shaohe Deng Ximing

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica Shanghai 201800)

Abstract

In the Q-switching operation of a diode-end-pumped Nd:YLF laser, we use a Cr⁴⁺:YAG crystal as a saturable absorber for the Nd³⁺ laser emission at 1.053 μm . At the maximum power of nearly 500 mW, the laser produces long-term stable pulse duration of 26 ns at 1.053 μm with an energy of 22 μJ . Meanwhile, the property of Nd:YVO₄ laser with the same cavity configuration as the Nd:YLF laser is investigated, and the operation condition analized.

Key words: diode-pumping, passively Q switching, saturable absorber

王 春 男, 1968 年生。1990 年毕业于山东大学光学系, 1994~1996 年在中国科学院上海光学精密机械研究所攻读硕士学位, 现在在上海光机所就读博士学位。