

文章编号: 0258-702X(2001)07-0577-03

# 用 Cr:YAG 被动调 Q 的 Yb:YAG 激光\*

董俊 邓佩珍 张影华 刘玉璞 徐军 陈伟 谢兴龙

(中国科学院上海光机所 上海 201800)

**提要** 用连续钛宝石激光器作抽运源,在室温下用 Cr<sup>4+</sup>:YAG 作可饱和吸收体实现了 Yb:YAG 晶体的被动调 Q 激光输出。实验中获得了在 1.03 μm 平均功率为 55 mW 和脉宽(FWHM)为 0.35 μs 的被动调 Q 激光。Cr:YAG 的初始透过率对 Yb:YAG 被动调 Q 激光的脉宽(FWHM)和重复率有一定影响。实验表明 Yb:YAG 晶体是一种有前景的结构紧凑、高效和全固化的被动调 Q 激光晶体。

**关键词** Cr:YAG 晶体, Yb:YAG 晶体, 被动调 Q 激光, 可饱和吸收体

中图分类号 TN 248.1+3 文献标识码 A

## Passively-Q-switched Yb:YAG Laser with Cr:YAG as a Saturable Absorber

DONG Jun DENG Pei-zhen ZHANG Ying-hua

LIU Yu-pu XU Jun CHEN Wei XIE Xing-long

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

**Abstract** Using cw-Ti:sapphire laser as pumping source, the passively-Q-switched Yb:YAG laser with Cr<sup>4+</sup>:YAG as a saturable absorber has been demonstrated at room temperature. An average output power as much as 55 mW at 1.03 μm with a pulse width (FWHM) as short as 0.35 μs was obtained. The initial transmission of Cr:YAG has influence on the pulse duration (FWHM) and the repetition rate of Yb:YAG passively-Q-switched laser. The experiment shows that Yb:YAG crystal will be a most promising passively-Q-switched laser crystal for compact, efficient solid-state lasers.

**Key words** Cr:YAG crystal, Yb:YAG crystal, passively-Q-switched laser, saturable absorber

## 1 引言

二极管抽运的被动调 Q 激光器是产生纳秒和亚纳秒范围内具有高峰值率和高重复率的结构紧凑、经济、全固化的脉冲光源,可以被广泛地应用于光雷达、测距、遥视、非线性光学处理和材料加工等方面。这种窄的脉冲有利于高精度测距,适用于三维成像、目标识别和机器人等方面。被动调 Q 固体激光器通常是由有机染料和无机色心晶体作可饱和吸收来实现的。然而,染料<sup>[1]</sup>由于其差的热稳定性而容易老化,而且还需要一套复杂的冷却系统来保证其在连续抽运下的运行。色心晶体如 LiF 晶体<sup>[2]</sup>通常表现出色心衰退的现象而不适合于长寿命的激光应用。近年来发展起来的掺 Cr<sup>4+</sup> 离子的晶体如

Cr<sup>4+</sup>:YAG<sup>[3]</sup>, Cr<sup>4+</sup>:Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub><sup>[4]</sup>和 Cr<sup>4+</sup>:GSGG<sup>[5]</sup>等作为掺 Nd<sup>3+</sup> 离子固体激光器的被动调 Q 开关引起了人们的极大兴趣。与 Nd<sup>3+</sup> 离子相比, Yb<sup>3+</sup> 离子由于能级结构简单而且具有优异的激光特性而更适合于二极管激光(LD)抽运。同时 Yb:YAG 晶体具有长的荧光寿命(951 ± 15 μs)<sup>[6]</sup>和非常低的量子缺陷(8.6%),使得 Yb:YAG 晶体在激光运行过程中产生的热量比 Nd:YAG 低 3 倍<sup>[7]</sup>。此外, Yb:YAG 在 940 nm 处宽的吸收带更适合于 InGaAs 二极管激光抽运<sup>[8]</sup>,以及具有相对大的发射截面积,而且 Yb 离子在 YAG 晶体中可以实现高掺杂浓度而几乎没有浓度淬灭现象。Yb:YAG 晶体的另外一个优点是 940 nm 的吸收带宽是 Nd:YAG 晶体在 808 nm 吸收带宽的 5 倍,对二极管激光波长的要求不是很严格<sup>[9]</sup>。本文报道了用 Cr:YAG 作为可饱和吸收体被动调 Q Yb:YAG 的激光特性。

## 2 实验

\* 国家自然科学基金(编号 6998806)和 863-416 资助项目。

收稿日期 2000-03-15;收到修改稿日期 2000-06-15

实验装置如图 1 所示,采用发射波长为 940 nm,平均输出功率约为 1 W 的连续 Mira 900 钛宝石激光器作为抽运源。激光腔的设计为折叠腔,抽运光经过一个焦距为 75 mm 的透镜和腔镜后,聚焦在 8 mm × 8 mm × 0.5 mm 的 Yb:YAG 晶体薄片上。抽运光经过聚焦后入射到晶体上的功率为 920 mW。激光腔镜是由曲率半径为 50 mm 的凹面镜  $M_1$ , Yb:YAG 晶

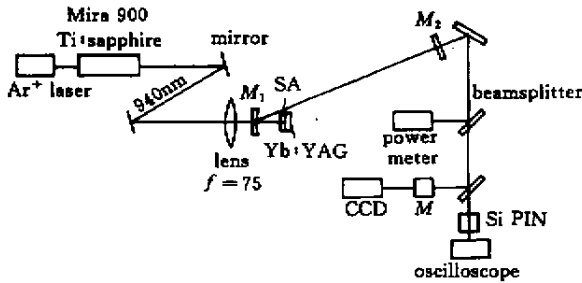


图 1 钛宝石激光器抽运 Cr:YAG 被动调 Q Yb:YAG 激光的装置图

Fig.1 Experimental setup of Ti:sapphire pumped Yb:YAG passively-Q-switched laser using Cr:YAG as a saturable absorber

$M_1$  and  $M_2$  are cavity mirrors;  $M$  is monochromator; CCD is charge-coupled device array

体和一个平面镜  $M_2$  组成。凹面镜  $M_1$  面对入射光的平面镜 940 nm 的增透膜,另一凹面镜 1.03  $\mu\text{m}$  的高反膜, $M_1$  放置在 Yb:YAG 晶体入射面的前面作为激光腔的后腔镜。Yb:YAG 晶体的掺杂浓度为 20 at.-%  $\text{Yb}^{3+}$ ,没有观察到浓度淬灭现象。Yb:YAG 晶体抛光成平-平结构,Yb:YAG 晶体的一面镀 940 nm 和 1.03  $\mu\text{m}$  的增透膜,另一面镀 940 nm 和 1.03  $\mu\text{m}$  的高反膜。平面镜  $M_2$  镀 940 nm 的高反膜和在 1.03  $\mu\text{m}$  反射率为 97% 的发射膜作为输出耦合镜。可饱和吸收体 Cr:YAG 晶体紧贴在 Yb:YAG 晶体上作被动调 Q 开关。整个激光腔的长度为 23 cm。大约有 90% 的抽运光被 Yb:YAG 晶体所吸收。激光实验是在 5 $^{\circ}\text{C}$  的恒温条件下进行的,恒温是通过一个恒温水冷系统实现的。调 Q 脉冲是用一个硅光电倍增管来探测的,并且用一个 400 MHz 的 Tektronix TDS 380 数字示波器来记录调 Q 波形。用激光功率计来测量激光输出功率。钛宝石激光器输出的激光经焦距透镜整形后,得到的光斑半径为 50  $\mu\text{m}$ 。钛宝石激光器在连续模式下运行,经过透镜和腔镜  $M_1$  后的损失大约为 10%。

### 3 结果与讨论

把在 1.03  $\mu\text{m}$  初始透过率分别为 85%、90% 和 95% 的可饱和吸收体 Cr:YAG 晶体插入激光腔中,得到了被动调 Q Yb:YAG 激光。当抽运光功率从 450 mW 增加到 800 mW 时,得到了脉冲宽度(FWHM)从 0.48  $\mu\text{s}$  降到 0.32  $\mu\text{s}$  以及重复率从 13 kHz 到 20 kHz 的一系列调 Q 激光脉冲。当输出耦合率保持一定时,调 Q 脉冲的脉宽和重复率主要由可饱和吸收体的初始透过率  $T_0$  和抽运功率以及谐振腔的长度决定。典型的调 Q 激光脉冲序列如图 2 所示。从图 2 可以看到激光脉冲是非常稳定的。图 3 为典型的脉冲宽度(FWHM)为 0.35  $\mu\text{s}$ ,脉冲能量为 3.2  $\mu\text{J}$  的单

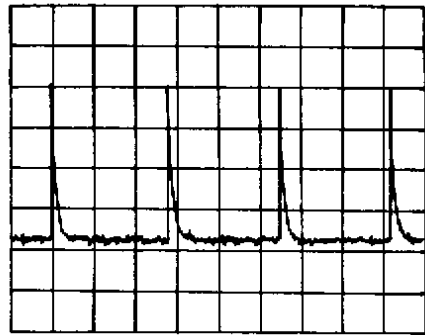


图 2 被动调 Q Yb:YAG 激光的脉冲序列波形

Fig.2 Oscilloscope trace of a train of passively-Q-switched pulses of Yb:YAG

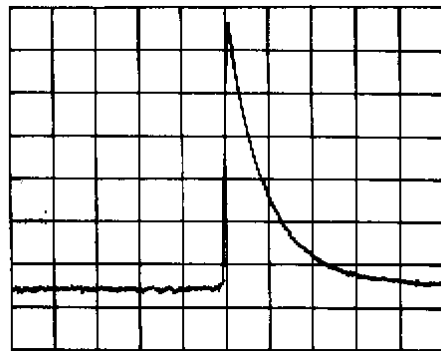


图 3 单个调 Q 脉冲波形(半高宽 FWHM 为 0.35  $\mu\text{s}$ )

Fig.3 Oscilloscope trace of a single Q-switched pulse with a pulse duration of 0.35  $\mu\text{s}$

个激光脉冲波形。其峰值功率大约为 9 W。图 4 为可饱和吸收体 Cr:YAG 在不同初始透过率情况下,钛宝石激光器抽运 Yb:YAG 晶体被动调 Q 激光的输入与输出功率特性曲线。从图 4 可以看到,对于三种不同的初始透过率 85%、90% 和 95%,外推得到的

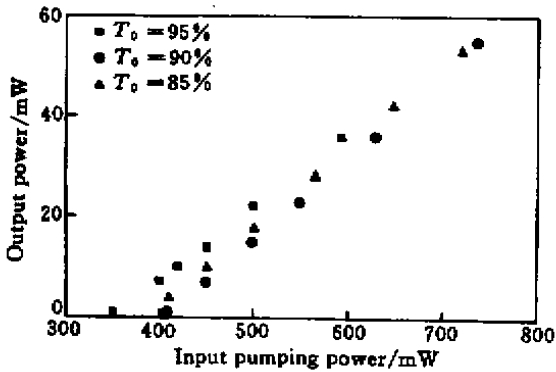


图4 对于 Cr<sup>4+</sup>:YAG 不同的初始透过率 T<sub>0</sub> 被动调 Q Yb:YAG 激光的输入输出特性曲线

Fig.4 Dependence of average output power on the Ti:sapphire laser input pumping power for different initial transmission T<sub>0</sub> of Cr<sup>4+</sup>:YAG

抽运阈值功率分别为 350 mW, 410 mW 和 390 mW; 而斜率效率则大约都为 15%。当初始透过率为 90% 时, 最大的输出平均功率为 53 mW。因此最佳的输出耦合率为 90%。但是对于被动调 Q 脉冲的峰值功率则不一定是最高的, 因为随着抽运功率的增加, 输出的平均功率在增大, 脉冲的重复率也在增大, 而脉冲宽度则在减小, 因此峰值功率随着发生变化, 总之通过对输出平均功率特性以及脉冲序列的综合研究会得出调 Q 脉冲的输出特性。对于初始透过率为 95% 的 Cr:YAG 而言, 当入射功率大于 600 mW 时, 进一步加大入射功率, 输出的平均功率并不发生变化, 这可能是由于可饱和吸收体 Cr<sup>4+</sup>:YAG 晶体的初始透过率太小造成的, 但具体原因目前并不清楚。与 Yb:YAG 晶体相比, Yb:YAG 晶体被动调 Q 激光的抽运阈值较高是由于 Cr<sup>4+</sup> 离子在激光发射波长 1.03 μm 处的吸收造成的。相对于 Yb:YAG 晶体而言, 用 Cr:YAG 作 Q 开关的 Yb:YAG 被动调 Q 激光的斜率效率较低可能是由于晶体的冷却效果不好造成的, 还有可能是

激光腔的设计并不是最佳造成的。

## 4 结 论

用钛宝石激光器作抽运源, Cr<sup>4+</sup>:YAG 作可饱和吸收体, 在室温下实现了 Yb<sup>3+</sup>:YAG 晶体的被动调 Q 激光。抽运阈值功率大约为 400 mW, 得到了脉冲宽度为 0.35 μs 左右、能量为 3.2 μJ 的被动调 Q 脉冲。Cr<sup>4+</sup>:YAG 可饱和吸收体的初始透过率对脉冲宽度和重复率有一定的影响。尽管斜率效率较低, 但通过重新设计冷却系统更加有效地冷却试样、进一步改进激光腔的设计以及采用二极管激光抽运源抽运 Yb:YAG 晶体, 将有可能提高激光的输出功率以及斜率效率。因此 Yb:YAG 晶体将是一种适合于二极管激光抽运的结构紧凑而有效的被动调 Q 激光晶体。

## 参 考 文 献

- 1 W. Kochner. Solid State Laser Engineering, 3rd ed. Berlin Germany: Springer-Verlag, 1992, Ch. 8
- 2 J. A. Morris, C. R. Pollock. Passive Q-switching of a diode-pumped Nd:YAG laser with a saturable absorber. *Opt. Lett.*, 1990, **15**(8):440~442
- 3 P. Yankov. Cr<sup>4+</sup>:YAG Q-switching of Nd: host laser oscillators. *J. Phys. D*, 1994, **27**(6):1118~1120
- 4 W. Chen, K. Spariosu, R. Stultz et al.. Cr<sup>4+</sup>:GSGG saturable absorber Q-switch for the ruby laser. *Opt. Comm.*, 1993, **104**:71~74
- 5 J. J. Zayhowski, C. Dill. Diode-pumped passively Q-switched picosecond microchip lasers. *Opt. Lett.*, 1994, **19**(18):1427~1429
- 6 D. S. Sumida, T. Y. Fan. Effect of radiation trapping on fluorescence lifetime and emission cross section measurements in solid state laser media. *Opt. Lett.*, 1994, **19**(17):1343~1345
- 7 T. Y. Fan. Heat generation in Nd:YAG and Yb:YAG. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1993, **29**(6):1457~1459
- 8 S. L. Yellen, A. H. Shepard, R. J. Dalby et al.. Reliability of GaAs-based semiconductor diode lasers: 0.6~1.1 μm. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1993, **29**:2058~2067
- 9 H. W. Bruesselbach, D. S. Sumida, R. A. Reeder et al.. Low-heat high-power scaling using InGaAs-diode-pumped Yb:YAG lasers. *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.*, 1997, **33**:105~116