

# Cr, Nd YAG 晶体获得自调 Q 单纵模激光输出\*

董俊 邓佩珍 张影华 刘玉璞 徐军 陈伟  
(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海, 201800)

**摘要:** 用钛宝石激光器泵浦单块  $\text{Cr}^{4+}, \text{Nd}^{3+}$ : YAG 晶体获得了  $1.064\mu\text{m}$  的自调 Q 激光输出。激光输出的模式是稳定的单纵模, 泵浦的阈值功率为  $90\text{mW}$ , 脉冲宽度 (FWHM) 为  $12\text{ns}$ , 斜率效率高达  $22\%$ 。这种把激光增益介质和可饱和吸收体结合到一起的自调 Q 激光晶体的研究将有利于固体激光器的全固化、集成化和实用化。

**关键词:**  $\text{Cr}^{4+}, \text{Nd}$  YAG 晶体 自调 Q 激光 单纵模

## Self-Q switched Cr, Nd: YAG laser with single-longitudinal mode output

*Dong Jun, Deng Peizhen, Zhang Yinghua, Liu Yupu, Xu Jun, Chen Wei*

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

**Abstract:** With Ti sapphire laser pumping  $\text{Cr}^{4+}, \text{Nd}^{3+}$ : YAG monolithic crystal, the self-Q-switched laser output is obtained with wavelength of  $1.064\mu\text{m}$ , pulse width of  $12\text{ns}$ . The laser output is highly stable single-longitudinal mode, the pumping threshold power is  $90\text{mW}$  and the slope efficiency is up to  $22\%$ . The use of laser host crystal co-doped with saturable absorber and laser gain medium can lead to the development of monolithic self-Q-switched solid state lasers.

**Key words:**  $\text{Cr}^{4+}, \text{Nd}$  YAG crystal self-Q-switched laser single longitudinal mode

## 引 言

在纳秒和亚纳秒范围内具有高峰值功率和高重复率的脉冲可以被广泛地应用于微机械、测距、遥视和微型手术等方面。激光二极管 (LD) 泵浦的被动调 Q 激光器能提供这种脉冲, 而且具有结构简单紧凑、价格便宜和高效等优点。因此, 近年来, LD 泵浦的被动调 Q 激光器引起了人们的极大关注。已经成功地应用于被动调 Q 激光器的可饱和吸收体有掺  $\text{Cr}^{4+}$  离子的晶体<sup>[1~4]</sup>、染料<sup>[5]</sup>和  $\text{LiF} \cdot \text{F}_2^-$  色心晶体<sup>[6]</sup>等。在这些可饱和吸收体材料中, 最近发展起来的掺  $\text{Cr}^{4+}$  离子的晶体如  $\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$ <sup>[1,2]</sup>,  $\text{Cr}^{4+}:\text{GSGG}$ <sup>[3]</sup>和  $\text{Cr}^{4+}:\text{YSO}$ <sup>[4]</sup>等具有优良的光学、化学和热稳定性以及大的吸收截面积、低的饱和强度和高的损伤阈值等优点。它们可以作为脉冲激光<sup>[1,3,4]</sup>和连续泵浦激光<sup>[2]</sup>的 Q 开关, 此外,  $\text{Cr}^{4+}$  离子与激光增益介质掺到一起可以形成自调 Q 激光<sup>[2]</sup>。基于上述有关  $\text{Cr}^{4+}$  离子作为可饱和吸收体的优点, 掺  $\text{Cr}^{4+}$  离子的晶体成为稳定性好、价格便宜、可靠性高和结构紧凑被动调 Q 激光器最有前景的可饱和吸收体。我们生长了  $\text{Cr}^{4+}, \text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$  晶体并且用钛宝石激光器作为泵浦源研究了单块  $\text{Cr}^{4+}, \text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$  晶体的自调 Q 激光特性。

## 1 实验过程

本课题组用提拉法 (CZ) 生长了  $\text{Cr}^{4+}, \text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$  晶体, 作为可饱和吸收体的  $\text{Cr}^{4+}$  离子一

一般是处在石榴石晶体中变形的四面体 Al 格位, 需要一个补偿离子来形成处于四面体的  $Cr^{4+}$  离子, 因此, 正二价的钙离子被用来作为  $Cr^{4+}, Nd^{3+}$ : YAG 晶体的补偿离子。吸收光谱测试所用的样品经 X 射线定向后, 垂直于  $\langle 111 \rangle$  方向切割, 样品经粗、细磨和抛光后厚度为 1.2mm。晶体的吸收光谱在 Lambda Perkin-Elmer 9 UV/VIS/NIR 型光谱仪上测定。

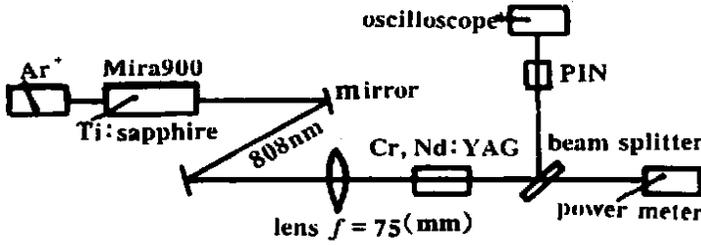


Fig. 1 The schematic experiment setup of Ti sapphire pumped self-Q-switched Cr, Nd YAG laser

钛宝石激光器泵浦单块 Cr, Nd: YAG 晶体的自调 Q 激光实验装置如图 1 所示, 采用发射波长为 808nm 的钛宝石可调谐激光器作为泵浦源。激光腔是由一块 5mm 长的 Cr, Nd YAG 晶体组成, 晶体的尺寸为 7mm × 7mm × 5mm, 激光腔的设计为平平

腔, 后腔镜为 Cr, Nd YAG 晶体的一个平面, 镀 808nm 的增透膜和 1.064μm 的高反膜; 前腔镜为晶体的另一个平面, 镀 808nm 的高反膜和在 1.064nm 透过率为 5% 的反射膜作为输出耦合镜。激光实验是在 5℃ 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 脉冲用一个硅光电倍增管来探测, 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 50μm。钛宝石激光器在连续的模式下运行, 经过透镜后的损失大约为 8%。

## 2 结果与讨论

经过对晶体背底的吸收加以修正后, Cr, Nd: YAG 晶体的室温吸收光谱如图 2 所示。在可见光范围内, Cr, Nd: YAG 晶体的吸收特性与 Cr: YAG<sup>[7]</sup> 晶体的吸收特性相似。峰值位于 0.53μm, 0.59μm, 0.75μm 和 0.81μm 的吸收带主要对应于  $Nd^{3+}$  离子吸收; 中心位于 0.43μm 和 0.

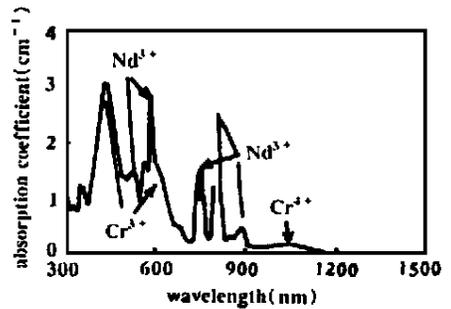


Fig. 2 The room-temperature absorption spectrum of Cr, Nd YAG crystal

59μm 宽的吸收带是对应于  $Cr^{3+}$  离子的  $^4A_2 \rightarrow ^4T_1$  和  $^4A_2 \rightarrow ^4T_2$  跃迁; 从 900nm 到 1200nm 的吸收带则对应于  $Cr^{4+}$  离子的  $^3A_2 \rightarrow ^3T_1$  跃迁<sup>[8]</sup>。在泵浦波长 808nm 处的吸收系数为  $2.6\text{ cm}^{-1}$ , 在 1064nm 处的吸收系数为  $0.15\text{ cm}^{-1}$ 。从图 2 可以看出, Cr, Nd: YAG 晶体把激光的增益介质  $Nd^{3+}$  的吸收特性与  $Cr^{4+}$  离子的可饱和吸收特性结合到了一起。用 Cr, Nd: YAG 晶体作为激光工作物质, 输出了自调 Q 激光, 典型的自调 Q 激光脉冲波形如图 3 所示, 脉冲能量为 2.7μJ, 峰值半高宽 (FWHM) 为 12ns, 因此, 其峰值功率大约为 225W。

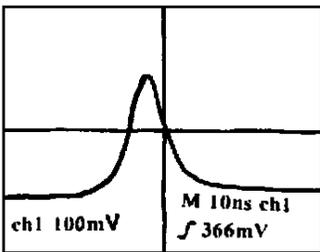


Fig. 3 The oscilloscope trace of the self-Q-switched Cr, Nd: YAG laser with a FWHM duration of 12ns

图4为钛宝石激光器泵浦单块 Cr,Nd:YAG 晶体自调 Q 激光的输入与输出功率特性曲线。从图4可以看出,晶体的阈值功率为 90mW,斜率效率为 22%。尽管通常输出的调 Q 激光有较大幅度波动,但是我们发现,在实验中输出的调 Q 脉冲幅度非常稳定,同时通过法布里-珀罗扫描干涉仪来观察激光输出的模式结构,确定其为典型的单纵模。这种稳定的单纵模主要是由于在实验中钛宝石的光束质量好而且稳定,再加上谐振腔没有受到机械振动等原因所致。

在调 Q 激光实验过程中,随着入射到晶体上的功率的变化,脉冲宽度保持不变,而重复频率则在变化,且随着入射功率的增大,脉冲重复频率也在增大,最大的重复频率约为 40kHz。脉冲宽度保持不变可能是由于晶体的调 Q 脉冲宽度主要取决于可饱和吸收体的初始透过率,而且钛宝石激光器的功率密度太小以至于不足以改变脉冲的宽度。同时,也发现 Cr,Nd:YAG 晶体的自调 Q 激光输出是具有偏振性的,水平与垂直方向的比约为 20:1。用于实验的 Cr,Nd:YAG 晶体对于低的光强度既没有双折射现象也没有出现各向异性透过现象,故该偏振激光输出可能是由 Cr,Nd:YAG 晶体中可饱和吸收体饱和功率的各向异性造成的。

### 3 结 论

用钛宝石激光器作为泵浦源泵浦单块 Cr,Nd:YAG 晶体,得到了脉冲幅度稳定的自调 Q 激光输出。泵浦阈值功率为 90mW,脉冲宽度(FWHM)为 12ns,斜率效率高达 22%。另外,随着入射功率的变化,脉冲的宽度保持不变,而脉冲的重复频率则在变化,且随着入射功率的增大而增大。同时观察到了偏振率为 20:1 的偏振激光输出。这一研究有可能使激光二极管(LD)泵浦的自调 Q 激光器趋于小型化、集成化和实用化。

### 参 考 文 献

- 1 Yankov P. J Phys D, 1994; 27 (6): 1118~ 1120
- 2 Zhou S, Lee K K, Chen Y C. Opt Lett, 1993; 18(7): 511~ 512
- 3 Chen W, Spariosu K, Stulz R. Opt Commun, 1993; 104(1): 71~ 74
- 4 Kou Y K, Huang M F, Bimbaum M. IEEE J Q E, 1995; 31(4): 657~ 663
- 5 Kochner W. Solid State Laser Engineering, 3rd ed. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1992
- 6 Morris J A, Pollock C R. Opt Lett, 1990; 15(8): 440~ 442
- 7 Argent N B, Borodin N I, Gamash V M *et al.* J Q E, 1988; 18(1): 73~ 74
- 8 Petricevic V, Gayen S K, Alfano R R. A P L, 1988; 53(26): 2590~ 2592

\* \* \*

作者简介:董俊,男,1970年1月出生。博士。现在主要从事激光二极管(LD)泵浦的、用  $\text{Cr}^{4+}$  离子作为被动调 Q 开关的被动调 Q 激光晶体材料如掺 Yb 和 Nd 的 YAG 晶体等研究工作。

收稿日期:2000-04-31 收到修改稿日期:2000-07-10

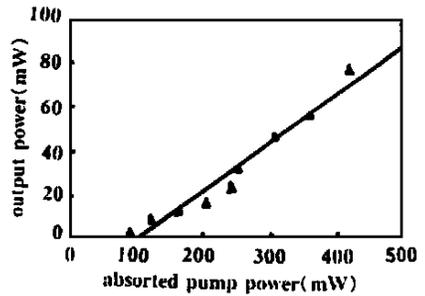


Fig. 4 The relation between the output power and the input pumping power