

文章编号: 1000-324X(2001)01-0139-04

## 钛宝石泵浦 Cr,Nd:YAG 微片的自调 Q 激光特性

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:** 用连续的钛宝石激光泵浦 1mm 厚的  $\text{Cr}^{4+}, \text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$  晶体微片获得了  $1.064\mu\text{m}$  的自调 Q 激光输出. 输出的激光调 Q 脉冲非常稳定, 泵浦的阈值功率为 30mW, 脉冲宽度为 100ns, 随着泵浦功率的变化, 脉冲宽度保持不变, 而重复率则在变化. 斜率效率随着输出耦合镜透过率的变化而变化, 当输出耦合率为 5% 时, 斜率效率高达 20%. 这一研究有助于进一步发展激光二极管泵浦的全固化的自调 Q 微片激光器.

**关键词:**  $\text{Cr}^{4+}, \text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$  晶体; 自调 Q 激光; 微片激光器; 钛宝石激光器

中图分类号: O 734 文献标识码: A

### 1 引言

二极管泵浦的被动调 Q 激光器是产生纳秒和亚纳秒范围内具有高峰值功率和高重复率的脉冲的结构紧凑、经济、全固化的光源, 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. 窄的脉冲宽度和理想的模式特性也可用于材料特性的开发. 高的峰值功率可用于光蚀刻材料, 从而可以应用在激光诱导破损光谱和微机械方面. 高的峰值功率也可用于设计极其复杂的非线性光学系统. 基于被动调 Q 激光器的系统具有小型化、高效、价格便宜等优点, 使得它们更加实用化. 在寻找适合于激光二极管泵浦的被动调 Q 激光器的固体激光增益介质和可饱和吸收体方面进行了大量的工作. 应用于被动调 Q 激光器的可饱和吸收体有掺  $\text{Cr}^{4+}$  离子的晶体等. 在这些可饱和吸收体材料中, 近年来发展起来的掺  $\text{Cr}^{4+}$  离子的晶体如  $\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$ <sup>[1~5]</sup>、 $\text{Cr}^{4+}:\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ <sup>[6]</sup>、 $\text{Cr}^{4+}:\text{GSGG}$ <sup>[7]</sup> 和  $\text{Cr}^{4+}:\text{YSO}$ <sup>[8]</sup> 等作为被动调 Q 开关引起了人们的极大兴趣. 与作为被动调 Q 开关可饱和吸收体的染料<sup>[9]</sup>、 $\text{LiF}:\text{F}_2$  色心晶体<sup>[10]</sup> 相比, 掺  $\text{Cr}^{4+}$  离子的晶体具有优良的光学、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. 特别是掺  $\text{Cr}^{4+}$  离子的 YAG 晶体由于具有容易生长高质量和高掺杂浓度的晶体的优点以及与激光增益介质掺到一起可以形成自调 Q 激光<sup>[5]</sup>, 在近年来更加引人注目. 因此, 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微片  $\text{Cr}^{4+}, \text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$  晶体的自调 Q 激光特性.

### 2 实验过程

实验所用的  $\text{Cr}^{4+}, \text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$  晶体是本课题组用提拉法 (CZ) 生长的. 作为可饱和吸收体

收稿日期: 2000-01-28, 收到修改稿日期: 2000-02-24

基金项目: 国家自然科学基金 (6998806); 863-416 项目资助

作者简介: 董俊 (1970-), 男, 博士研究生.

的  $\text{Cr}^{4+}$  离子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  $\text{Cr}^{4+}$  离子, 因此正二价的钙离子被用来作为  $\text{Cr}^{4+}, \text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$  晶体的补偿离子. 钛宝石激光器泵浦  $\text{Cr}, \text{Nd}:\text{YAG}$  晶体的自调 Q 激光实验装置如图 1 所示, 采用发射波长为

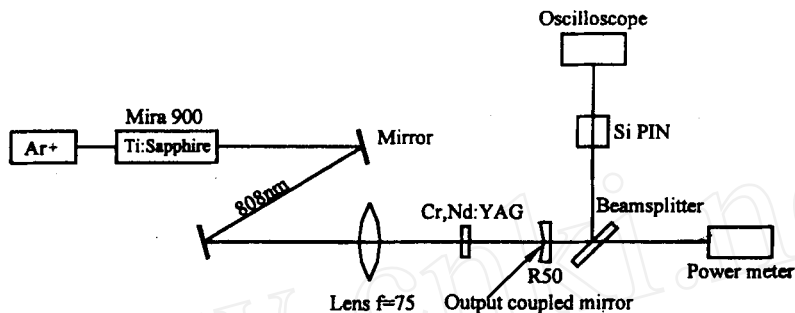


图 1 钛宝石激光器泵浦  $\text{Cr}, \text{Nd}:\text{YAG}$  自调 Q 激光实验装置图

Fig. 1 Schematic of Ti:sapphire pumped  $\text{Cr}, \text{Nd}:\text{YAG}$  self-Q-switched laser experimental setup

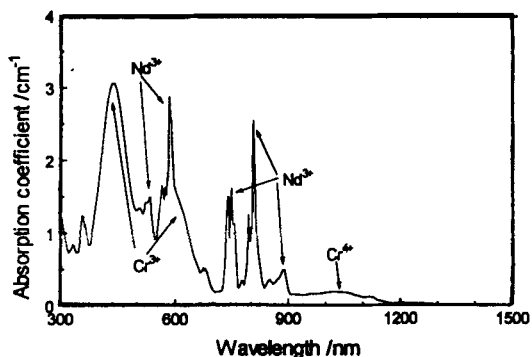


图 2  $\text{Cr}, \text{Nd}:\text{YAG}$  晶体的室温吸收光谱  
Fig. 2 Absorption spectrum of  $\text{Cr}, \text{Nd}:\text{YAG}$  at room temperature

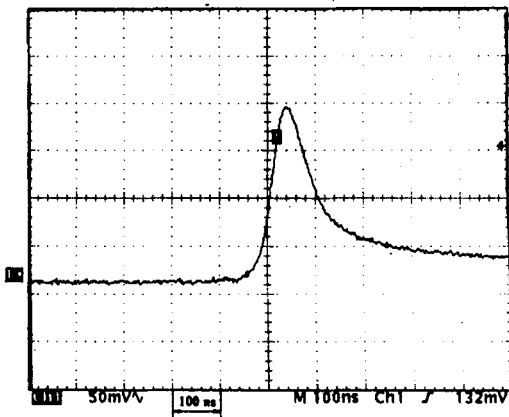
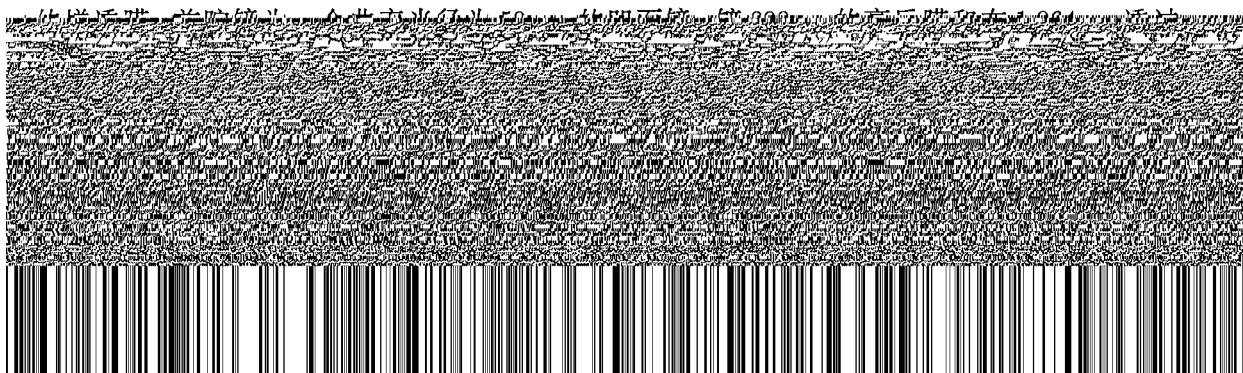


图 3 脉宽为 100ns 的  $\text{Cr}, \text{Nd}:\text{YAG}$  自调 Q 激光波形  
Fig. 3 Oscilloscope trace of the self-Q-switched  $\text{Cr}, \text{Nd}:\text{YAG}$  laser with a FWHM duration of 100 ns

808nm 的连续钛宝石激光器作为泵浦源.  $\text{Cr}^{4+}, \text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$  晶体抛光成  $6\text{mm} \times 6\text{mm} \times 1\text{mm}$  的几何结构, 激光腔的设计为平-凹腔, 后腔镜为  $\text{Cr}^{4+}, \text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$  晶体的一个平面, 镀 808nm 的增透膜和  $1.064\mu\text{m}$  的高反膜;  $\text{Cr}^{4+}, \text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$  晶体的另一个面镀 808nm 的高反膜和  $1.064\text{nm}$



### 3 结果和讨论

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 晶体的吸收特性相似. 峰值位于 0.53、0.59、0.75 和 0.81 $\mu\text{m}$  的吸收带主要对应于 Nd<sup>3+</sup> 离子的吸收; 中心位于 0.43 $\mu\text{m}$  和 0.59 $\mu\text{m}$  宽的吸收带是对应于 Cr<sup>3+</sup> 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<sup>4+</sup> 离子的  $^3A_2 \rightarrow ^3T_1$  跃迁 [8]. 在泵浦波长 808nm 处的吸收系数为 2.6cm<sup>-1</sup>, 在 1064nm 处的吸收系数为 0.15cm<sup>-1</sup>. 在掺 Cr 的 YAG 晶体中, 铬离子以三价态最稳定, 而用于被动调 Q 的是四价态的铬离子, 因此控制铬离子的价态成为 Cr,Nd:YAG 晶体生长的关键. 目前主要用于直接测量铬在 YAG 晶体中掺杂浓度的方法是 X 射线荧光法, 但它不能区分不同价态的铬离子, 而只能给出晶体中总的 Cr 含量, 一般可以结合吸收光谱数据, 定量测定 Cr<sup>4+</sup> 离子的浓度. 从图 2 可以看出, Cr<sup>4+</sup> 离子的浓度约为 Cr<sup>3+</sup> 离子浓度的百分之几. 调节 YAG 晶体中 Cr 离子的浓度可以通过晶体生长时原料的配比以及晶体生长后退火处理来控制, 以便使 Cr,Nd:YAG 晶体中的 Cr<sup>4+</sup> 离子适合于被动调 Q 激光输出. 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, 脉冲的能量为 6 $\mu\text{J}$ , 峰值半高宽 (FWHM) 为 100ns, 因此, 其峰值功率大约为 60W. 图 4 为钛宝石激光器泵浦 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 可以看到, 在三种不同输出耦合率的情况下, 晶体的阈值功率大约为 30 mW; 对于不同的输出耦合率, 斜率效率也不同, 当输出耦合率为 5% 时, 得到了高达 20% 的斜率效率.

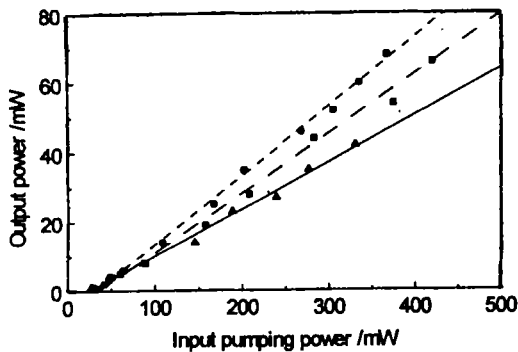


图 4 输出与输入功率特性曲线

Fig. 4 Relation between output and input pumping power

▲ -13%; ■ -18%; ● -20% respectively

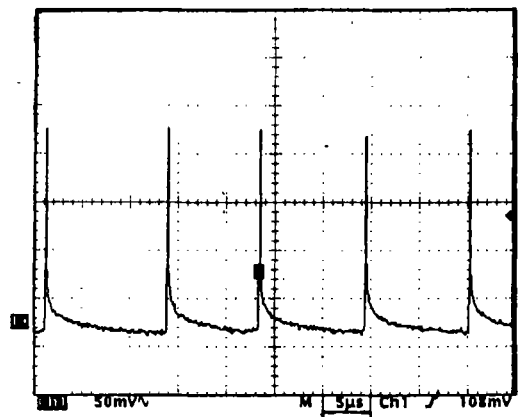


图 5 典型的重复率波形

Fig. 5 Typical repetition rate oscilloscope trace

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 100ns 保持不变, 而重复率则在变化, 而且随着入射功率的增大, 脉冲重复率在增大. 典型的脉冲重复率波形如图 5 所示, 当入射功率为 420mW 时, 得到最大的脉冲重复率为 100kHz. 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, 而且也可能是由于入射光束的功率密度小还不足以改变脉冲宽度. 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 200:1. 用于实验的 Cr,Nd:YAG 晶体对于低的光强度即没有双折射现象也没有出现各向异性透过现象, 因此这种偏振激光输出

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。Cr,Nd:YAG 晶体中的可饱和吸收饱和功率的各向异性可能与 Cr<sup>4+</sup> 的各向吸收有关,使得 Cr<sup>4+</sup> 离子在作为被动调 Q 开关时自调 Q 激光有一定数量的激光模式,而在水平方向的激光模式优先振荡,从而使得 Cr,Nd:YAG 晶体的激光输出具有偏振性。

#### 4 结论

用钛宝石激光器作为泵浦源,泵浦 1mm 厚的 Cr<sup>4+</sup>,Nd<sup>3+</sup>:YAG 晶体微片得到了脉冲幅度稳定的自调 Q 1.064 $\mu$ m 激光输出。泵浦阈值功率大约为 30mW,脉冲宽度为 100ns,最大的重复率为 100kHz。对应于不同的输出耦合率,斜率效率也不同,对于透过率为 5% 的输出耦合率,得到的斜率效率高达 20%。另外,随着入射功率的变化,脉冲的宽度保持不变,而脉冲的重复率则在变化,同时观察到了偏振率比为 200:1 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 激光器小型化、集成化和实用化。

#### 参考文献:

- [1] Yankov P. *J. Phys. D.* 1994, **27**: 1118-1120.
- [2] Shimony Y, Burshtein Z, Kalisky Y. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1995, **31**: 1738-1741.
- [3] Spariosu K, Chen W, Stultz R, et al. *Opt. Lett.*, 1993, **18**: 814-816.
- [4] Zayhowski J J, Dill C. *Opt. Lett.*, 1994, **19**: 1427-1429.
- [5] Zhou S, Lee K K, Chen Y C. *Opt. Lett.*, 1993, **18**: 511-512.
- [6] Shimony Y, Brushtein Z, Ben-Amar A, et al. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1996, **32**: 305-310.
- [7] Chen W, Spariosu K, Stultz R. *Opt. Commun.*, 1993, **104**: 71-74.
- [8] Kuo Y K, Huang M F, Birnbaum M. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1995, **31**: 657-663.
- [9] Kochner W. *Solid State Laser Engineering, 3rd ed. Berlin Germany: Springer-Verlag*, 1992. Ch. 8.
- [10] Morris J A, Pollock C R. *Opt. Lett.*, 1990, **15**: 440-442.

### Ti:Sapphire Laser Pumped Cr<sup>4+</sup>,Nd<sup>3+</sup>:YAG Self-Q-Switched Microchip Laser

DONG Jun, DENG Pei-Zhen, ZHANG Ying-Hua, LIU Yu-Pu, XU Jun, CHEN Wei

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

**Abstract:** Using a Ti:sapphire laser as the pumping source in the CW mode, the self-Q-switched laser in the co-doped Cr<sup>4+</sup>,Nd<sup>3+</sup>:YAG microchip with 1mm thickness was demonstrated. The output Q-switched traces are very stable, the threshold pumping power is as low as 30 mW, the pulse duration is as short as 100 ns. And the pulse width keeps constant and pulse repetition rate is varied with the variation of the pumping power. The slope efficiency is varied with the transmission of output coupler at 1064nm, and the slope efficiency is as high as 20% for 5% transmission of output coupler at 1064nm. This can lead to develop the diode laser pumped monolithic self-Q-switched solid-state microchip lasers.

**Key words** Cr,Nd:YAG crystal; self-Q-switched; microchip laser; Ti:sapphire laser