

文章编号: 0258-7025(2003)07-590-03

## 连续可调谐 Cr<sup>4+</sup>:YAG 激光器

宋丽军, 裴为华, 宋晏蓉, 周国生

(山西大学电子信息与技术系, 山西 太原 030006)

**摘要** 介绍了一种在 1500 nm 附近连续可调谐的 Cr<sup>4+</sup>:YAG 激光器, 最大可调谐范围达 160 nm。室温下, 当吸收功率为 5 W 时, 得到了 370 mW 的连续输出, 激光器的抽运阈值为 1.94 W。

**关键词** 激光技术; Cr<sup>4+</sup>:YAG 晶体; 可调谐; 斜率效率

**中图分类号** TN 248.1+3 **文献标识码** A

### Continuous-wave Tunable Cr<sup>4+</sup>:YAG Laser

SONG Li-jun, PEI Wei-hua, SONG Yan-rong, ZHOU Guo-sheng

(Department of Electronics & Information Technology, Shanxi University, Taiyuan, Shanxi 030006, China)

**Abstract** This paper reported a continuous-wave Cr<sup>4+</sup>:YAG laser pumped by a Nd:YVO<sub>4</sub> laser with a tuning range over 160 nm. At room temperature, the laser power is as much as 370 mW at an absorbed pump power of 5 W. The slope efficiency is 8.7% with a pump threshold of 1.94 W.

**Key words** laser technique; Cr<sup>4+</sup>:YAG crystal; tunable; slope efficiency

## 1 引言

由于连续可调谐固体激光器可以工作在不同的波长且具有高相干性、高输出功率等优点, 它在光谱学、大气测量、环境监测等方面有非常广泛的应用。连续可调谐激光器的激光晶体有许多种, 如 Ti:sapphire, Cr<sup>4+</sup>:YAG, Cr<sup>4+</sup>:forsterite, Cr<sup>4+</sup>:Ca<sub>2</sub>GeO<sub>4</sub> 等, 其中 Cr<sup>4+</sup>:YAG 晶体由于具有非常宽的荧光发射谱范围(1.1~1.7 μm)(如图 1 所示), 而且光通讯波段(1.3~1.5 μm)正处于其发射中心等优点而倍受关注, 同时它还是人眼安全波段(>1.4 μm)激光器的重要候选者。作为波长连续可调谐的激光器, Cr<sup>4+</sup>:YAG 激光器将是近红外谱区研究激光光谱和非线性光学的重要光源, 特别是光通讯领域。因此, 自从 Shestakov 等研制成功 Cr<sup>4+</sup>:YAG 晶体以来<sup>[1]</sup>, 它的发展越来越受到瞩目。1993 年 P. M. W. French 等采用该晶体得到了连续可调谐范围为 1.37~1.51 μm<sup>[2]</sup>的激光器; 1999 年 I. T. Sorokina 等得到了可调谐范围为 1.41~1.53

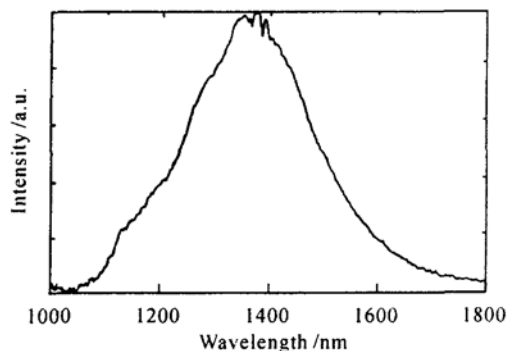


图 1 室温下 Cr<sup>4+</sup>:YAG 的发射谱

Fig. 1 Room temperature emission spectra of Cr<sup>4+</sup>:YAG

μm<sup>[3]</sup>的激光器, 二者所用晶体的掺杂浓度分别为  $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  和  $\sim 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 。由于晶体的掺杂浓度不同以及腔型的差异对可调谐范围的影响很大, 不同的实验得到的结果各不相同<sup>[1~4]</sup>。最好的结果是 A. V. Shestakov 等在 1991 年得到的 1.34~1.56 μm, 可调谐范围达 220 nm<sup>[1]</sup>。本文采用的 Cr<sup>4+</sup>:YAG 晶体由俄罗斯 AVESTA 公司生产<sup>[5]</sup>, 掺杂浓

收稿日期: 2002-03-27; 收到修改稿日期: 2002-05-08

作者简介: 宋丽军(1974.9—), 女, 山西长治人, 山西大学电子信息与技术系硕士生, 主要从事超短脉冲激光器研究。E-mail: songlij394@sohu.com

度为  $2.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ , 在  $1.06 \mu\text{m}$  处的吸收系数为  $1 \text{ cm}^{-1}$ , 且用该晶体得到的激光器可调谐范围为  $160 \text{ nm}$  ( $1400 \sim 1560 \text{ nm}$ ), 峰值功率位于  $1462 \text{ nm}$  处。此调谐范围能够支持飞秒量级的窄脉冲, 相信通过适当的手段锁模, 可以实现超短脉冲输出。

## 2 实验装置

I. T. Sorokina 在实验中采用的是半导体抽运的平凹腔, 本实验过程中为了补偿由呈布儒斯特角切割的晶体棒带来的像散, 采用了传统的 X 型像散补偿腔, 腔长  $1.3 \text{ m}$ , 如图 2 所示。

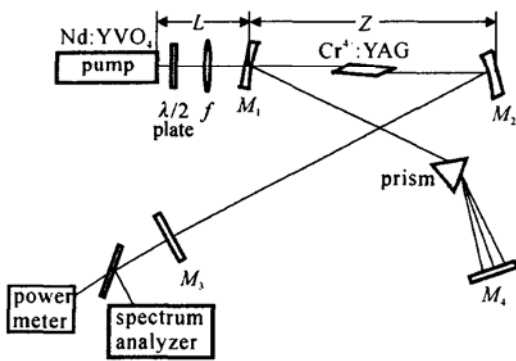


图 2 谐振腔结构

Fig. 2 Schematic of the Cr<sup>4+</sup>:YAG laser

谐振腔由两个曲率半径为  $100 \text{ mm}$  的球面镜  $M_1, M_2$  和两个平面反射镜  $M_3, M_4$  组成, 各镜均对  $1.06 \mu\text{m}$  的抽运光增透, 透过率超过  $95\%$ ; 除输出耦合镜  $M_3$  在  $1.5 \mu\text{m}$  附近的透射率为  $1\%$  外, 其余三镜在  $1.5 \mu\text{m}$  附近高反。抽运源是由美国光谱物理公司生产的半导体抽运的 Nd:YVO<sub>4</sub> 单模偏振激光器, 其中心波长为  $1.06 \mu\text{m}$ 。为了使抽运光在晶体中的腰斑大小和位置可调, 抽运光经过调整偏振方向后, 再经过一个焦距为  $100 \text{ mm}$  的聚焦透镜  $f$  聚焦在晶体上。晶体长  $20 \text{ mm}$ , 直径为  $5 \text{ mm}$ , 两个端面呈布儒斯特角切割, 置于  $M_1$  与  $M_2$  之间稍稍偏离中心的位置。由于晶体的温度对实验结果有很大的影响, 温度升高时, 激光增益减小, 阈值升高, 效率降低, 且易导致激光工作的不稳定和热透镜效应。因此, 为了实现晶体的良好散热及准确控温, Cr<sup>4+</sup>:YAG 晶体用铝箔包裹镶于黄铜块中, 而铜块置于一个循环水冷的控温系统中, 晶体的温度被控制在  $15^\circ\text{C}$  左右, 温度抖动不超过  $0.05^\circ\text{C}$ 。调谐元件棱镜由无水石英材料制成, 通光面呈布氏角切割, 置于  $M_2$  与  $M_4$  之间的光路上, 激光器宽带运转时, 不同频

率的光成分经过棱镜后以不同的偏向角出射, 这样, 微调  $M_4$  的倾斜角就可以达到选频的目的。为了实现同时对输出光束的功率和谱线的监控, 使输出光经过一个分束器后分别打在功率计和光谱仪上。

## 3 实验结果与讨论

实验中得到的激光器输出特性如图 3 所示。当抽运功率为  $6.2 \text{ W}$  (吸收功率为  $5 \text{ W}$ ) 时, 得到的输出功率为  $370 \text{ mW}$ , 抽运阈值为  $1.94 \text{ W}$ , 激光器的斜率效率为  $8.7\%$ 。实验中还观察到, 当抽运功率大于  $7.5 \text{ W}$ , 输出功率并没有随抽运功率的增大而增大, 反而有所降低, 这是由于 Cr<sup>4+</sup>:YAG 晶体的饱和吸收效应引起的。实验所用的吸收功率为晶体吸收的抽运功率, 输入功率为抽运光通过透镜  $f$  后测得的值, 输出值为光通过滤光片后得到的测量值, 可调谐范围为最大可调谐范围, 即调谐范围曲线底部宽度。

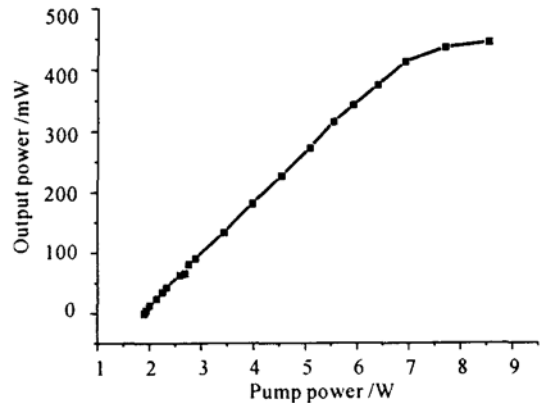


图 3 Cr<sup>4+</sup>:YAG 连续激光器的输出特性

Fig. 3 Variation of output power with wavelength for cw Cr<sup>4+</sup>:YAG laser

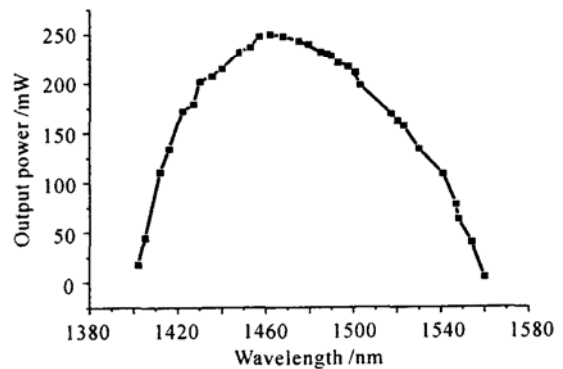


图 4 抽运功率为  $5.37 \text{ W}$  时 Cr<sup>4+</sup>:YAG 激光器的调谐范围

Fig. 4 Tuning range of the Cr<sup>4+</sup>:YAG laser for the pump power of  $5.37 \text{ W}$

本文采用的调谐方法是棱镜法,其特点是调谐范围宽,结构比较简单,插入损耗可以做得比较小。实验中将棱镜装在一个多维调节架上,通过调节棱镜的旋转角度使布氏角和最小偏向角同时得到满足。实验得到的可调谐范围为 160 nm(1400~1560 nm),如图 4 所示,峰值功率为 250 mW,且位于 1462 nm 处,谱线线宽为 0.6 nm。我们认为,在本实验中,腔镜的镀膜范围(1400~1630 nm)是限制可调谐范围向短波长方向延伸的主要因素;而限制可调谐范围向长波长方向延伸的主要因素有晶体的增益特性及腔内损耗。从图 1 可以看到 Cr<sup>4+</sup>:YAG 晶体的发射谱位于 1.1~1.7 μm 之间,且大于 1.55 μm 处的发射强度明显减弱。另外,根据文献[2]的介绍,室温下 Cr<sup>4+</sup>:YAG 的增益线宽主要位于 1.34~1.56 μm 之间,波长大于 1.56 μm 时由于增益较小而很难起振。此外,腔内的各种损耗,如晶体和小腔镜 M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> 的反射损耗、棱镜的表面反射损耗、谐振腔的非输出损耗以及晶体的吸收损耗等,也是限制增益较小的长波段光起振的重要因素,从而限制可调谐范围的红移。如果进一步优化腔结构,减少损耗、降低阈值,使增益较小的光成分更容易起振,相信可调谐范围可以得到进一步的扩展;另外,改善镜子的镀膜也是得到更宽可调谐范围的重要手段。

#### 4 结 论

综上所述,已在室温下成功地得到了调谐范围

为 160 nm(1400~1560 nm),输出功率为 250 mW, Nd:YVO<sub>4</sub> 抽运的 Cr<sup>4+</sup>:YAG 连续可调谐激光器,峰值功率位于 1462 nm 处。如果进一步优化腔结构、降低腔内损耗、改善镜子镀膜范围,相信可以得到更宽的可调谐范围,并将为下一步的工作奠定很好的基础,如 KLM 锁模及光纤传输等实验。

**致谢** 对天津大学精密仪器与光电子工程学院的张志刚教授给予的大力支持和帮助表示感谢。

#### 参 考 文 献

- 1 A. V. Shestakov, N. I. Borodin, V. A. Zhitnyuk *et al.*. In Conference on Lasers and Electro-Optics. Vol. 10 of 1991 OSA Technical Digest Series (Optical Society of America, Washington, D. C., 1991), paper CPDP11
- 2 P. M. W. French, N. H. Rizvi, J. R. Taylor *et al.*. Continuous-wave mode-locked Cr<sup>4+</sup>:YAG laser [J]. *Opt. Lett.*, 1993, **18**(1):39~41
- 3 I. T. Sorokina, S. Naumov, E. Sorokin *et al.*. Directly diode-pumped tunable continuous-wave room-temperature Cr<sup>4+</sup>:YAG laser [J]. *Opt. Lett.*, 1999, **24**(22):1578~1580
- 4 J. M. Evans, V. Petricevic, A. B. Bykov *et al.*. Direct diode-pumped continuous-wave near-infrared tunable laser operation of Cr<sup>4+</sup>:forsterite and Cr<sup>4+</sup>:Ca<sub>2</sub>GeO<sub>6</sub> [J]. *Opt. Lett.*, 1997, **22**(15):1171~1173
- 5 Song Yanrong, Zhang Zhigang, Pei Weihua *et al.*. Continuous-wave Cr<sup>4+</sup>:YAG laser [J]. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 2002, **A29**(3):204 (in Chinese)

### 本刊增页及更改出版日期启事

近年来,由于来稿量较多,而本刊的容量又有限,为了缩短论文的发表周期,故从 2004 年第 1 期起,经上级有关部门批准,本刊将从原来的 96 面增至 112 面,出版日期从每月 20 日提前为每月 10 日。特此通知。

《中国激光》编辑部

2003 年 7 月