

半导体激光泵浦的 Cr·LiSAF 可调谐激光器*

杜戈果 毛艳丽 阮双琛

(中国科学院西安光机所瞬态光学技术国家重点实验室 西安 710068)

提要 报道了激光二极管脉冲泵浦掺铬六氟铝酸铯锂(Cr·LiSAF)可调谐激光器的实验结果。调谐范围为 806.6~920 nm。最大平均输出功率超过 2 mW,斜率效率为 25%。对实验结果进行了讨论。

关键词 半导体激光泵浦, Cr·LiSAF 激光器, 宽调谐

1 引 言

掺铬六氟铝酸铯锂($\text{Cr}^{3+} \cdot \text{LiSrAlF}_6$, 简称 Cr·LiSAF)是一种新型的激光晶体^[1]。其最大的特性是在红外波段具有非常宽的辐射线宽(780~1050 nm),这使其激光输出在很大谱宽内可调。此外,它的吸收带宽与红光激光二极管能很好地匹配,由半导体激光器直接泵浦 Cr·LiSAF 晶体可以组成全固化可调谐系统。它兼容了半导体激光器和固体激光器的双重优点,得到广泛重视,成为近红外区域性能最好的全固化宽带可调谐激光器。这种激光系统结构紧凑,具有高效率、高可靠性及长寿命等特性,非常适用于高灵敏激光雷达、照明器、遥感及星载/机载系统。

几年来,用 Cr·LiSAF 作为介质的固体可调谐激光器成为继钛宝石激光器后的又一个新的热点。到目前为止,国外已实现了多种方式泵浦的脉冲及连续多种工作方式的激光运转^[2~6],其中激光二极管作泵浦源的工作也做了很多。Qi Zhang 等用 AlGaInP 激光二极管(670 nm)泵浦 Cr·LiSAF 晶体,用电子学方法实现了调谐范围 858~920 nm^[4];P. M. W. French 等用棱镜作调谐元件实现了调谐范围 799~860 nm^[7];S. Aoshima 等用布氏棱镜作调谐元件、用自注入锁定波长选择法腔结构实现了调谐范围 821.8~922.5 nm^[8]。国内对 Cr·LiSAF 晶体的研究也在进行中。中国科学院安徽光机所报道了闪光灯泵浦的 Cr·LiSAF 可调谐激光器,调谐范围为 786~934 nm^[9];中国科学院西安光机所报道了氩离子泵浦的连续波^[10]和锁模 Cr·LiSAF 激光器^[11];并开展了半导体激光泵浦 Cr·LiSAF 激光器的研究^[12,13]。

本文报道激光二极管泵浦 Cr·LiSAF 可调谐激光器的实验结果,并进行了分析和讨论。

2 Cr·LiSAF 晶体材料特性

Cr·LiSAF 是单轴晶体,呈祖母绿色,具有“Colquiriite”结构,密度为 3.45 g/cm^3 ,折射率

* 中国科学院院长基金资助项目。

为 1.41。Cr·LiSAF 晶体具有作为激光工作物质的极好的性能,图 1 所示的是其在室温下的吸收和发射光谱。由图可见,在可见光区域,由两个较强的吸收谱带,分别位于红、蓝光区,适合于多种泵浦,尤其可用 AlGaInP 红光激光二极管(670 nm)直接泵浦^[3,4,7],也可用 AlGaAs(752 nm)进行边带泵浦^[14]。同时,其增益带宽宽,具有较长的上能级寿命(67 μs),峰值增益截面也较大,约为 $5 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$ 。

3 实验装置

实验用的泵浦源和晶体与文献[13]相同。本实验中,泵浦源工作于脉冲方式,重复频率为 200 Hz, 占空比为 1/20。

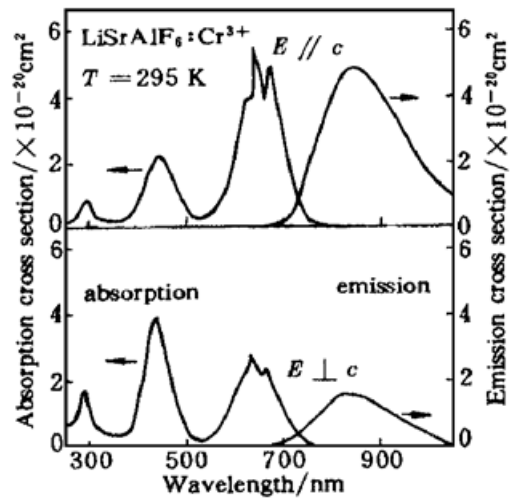


图 1 Cr·LiSAF 晶体的吸收光谱和发射光谱
Fig. 1 Absorption and emission spectra of Cr·LiSAF

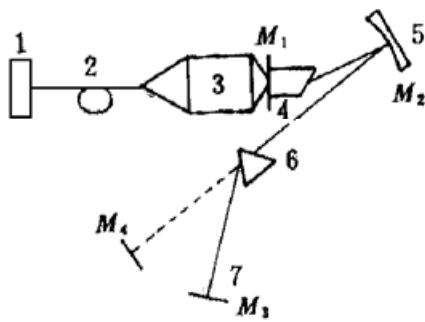


图 2 激光二极管泵浦 Cr·LiSAF 可调谐激光器的实验装置
1: 激光二极管; 2: 光纤; 3: 准直-聚焦系统; 4: Cr·LiSAF 晶体;
5: 凹面镜; 6: ZF4 棱镜; 7: 全反镜; 8: 1% 输出耦合率

Fig. 2 Experimental setup of the diode pumped Cr·LiSAF tunable laser
1: diode laser; 2: optical fiber; 3: collimating-focus system; 4: Cr·LiSAF crystal; 5: concave mirror; 6: ZF4 prism; 7: total reflective mirror; 8: 1% output coupler

图 2 为实验装置示意图。从光纤输出的泵浦光经准直-聚焦系统后射入 Cr·LiSAF 晶体,激光谐振腔由平-凹-平腔构成。晶体的平面端构成腔镜 M_1 , M_2 为曲率半径为 100 mm 的凹面镜, M_3 为平面镜。 M_2, M_3 均镀双色膜,对泵浦光增透,对激光波长高反; M_4 为平面镜,镀双色膜,对泵浦光增透,对激光输出耦合率为 1%。利用 ZF4 棱镜作调谐元件,水平旋转全反镜 M_3 实现激光调谐(虽然 M_3 标称为全反镜,但在实验中发现激光仍然部分透出)。由 BGJ 型功率计和 WDG30 型光栅单色仪分别测定激光平均功率和激光波长。

4 实验结果与分析

图 3 为激光二极管泵浦功率不变的情况下测得的激光调谐曲线。激光峰值波长为 883 nm,调谐范围为 806.6~920 nm。图 4 给出自由振荡时 Cr·LiSAF 激光的输入-输出关系的实验结果。实验数据为用滤光片滤除泵浦光后所得。当输出镜片透过率为 1%,最大入射泵浦平均功率为 30.4 mW 时,测得最大平均输出功率超过 2 mW(超出功率计量程),斜率效率为 25%(未计入滤光片的损耗);图 5 为此时输出的激光脉冲波形,图 5(a) 为激光脉冲尖峰序列,图 5(b) 为将尖峰序列拉开后得到的最大的单个尖峰序列,脉宽(FWHM)为 4.2 μs 。

在实验中也实现了 CW Cr·LiSAF 可调谐激光运转。但由于泵浦阈值较高,输出功率小,调谐范围窄。

与国内外同行的实验结果相比,本文报道的结果调谐范围较窄、输出功率较小。主要原因

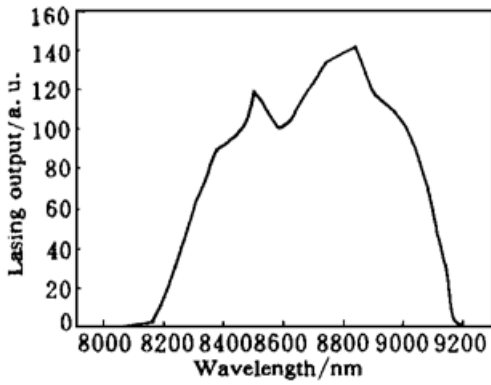


图 3 激光调谐曲线

Fig. 3 Tuning curve

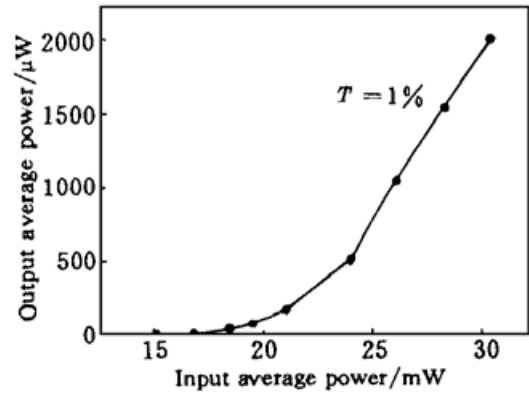


图 4 输出平均功率随泵浦入射平均功率的变化

Fig. 4 Output verse input power

有: 1) 由于泵浦源光束发散角较大, 准直-聚焦系统的设计比较困难, 泵浦光与激光的匹配不好, 使得激光器的阈值较高, 从而降低了输出功率; 2) 光学元件的带宽限制了调谐范围的拓宽; 3) Cr^{3+} 的基态吸收和激发态吸收, 增大了激光器阈值, 分别限制了调谐范围向短波和长波方向的扩展; 4) 泵浦源脉冲工作的脉宽为 $250 \mu\text{s}$, 与晶体的上能级寿命 ($67 \mu\text{s}$) 匹配不够理想。因而改善泵浦系统、降低激光器的阈值从而提高输出功率以及扩展调谐范围是下一步需要解决的问题。

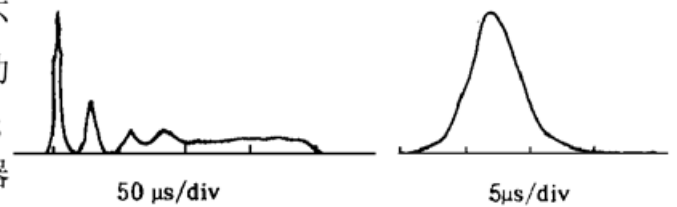


图 5 (a) 激光脉冲尖峰序列; (b) 最大的单个尖峰

Fig. 5 Output laser pulses

参 考 文 献

- 1 Stephen A. Payne, L. L. Chase, L. K. Smith *et al.*. Laser performance of $\text{LiSrAlF}_6 \cdot \text{Cr}^{3+}$. *J. Appl. Phys.*, 1989, **66**(3): 1051~ 1056
- 2 Martin Stalder, Bruce H. T. Chai, Michael Bass. Flashlamp pumped Cr·LiSrAlF₆ laser. *Appl. Phys. Lett.*, 1991, **58**(3): 216~ 218
- 3 Richard Scheps, Joseph F. Myers, Harvey B. Serreze *et al.*. Diode-pumped Cr·LiSrAlF₆ laser. *Opt. Lett.*, 1991, **16**(11): 820~ 822
- 4 Qi Zhang, G. J. Dixon, B. H. T. Chai *et al.*. Electronically tuned diode-laser-pumped Cr·LiSrAlF₆ laser. *Opt. Lett.*, 1992, **17**(1): 43~ 45
- 5 A. Miller, P. LiKamWa, B. H. T. Chai *et al.*. Generation of 150-fs tunable pulses in Cr·LiSrAlF₆. *Opt. Lett.*, 1992, **17**(3): 195~ 197
- 6 Donald J. Harter, Jeff Squier, Gerard Mourou. Alexandrite-laser-pumped Cr^{3+} ·LiSrAlF₆. *Opt. Lett.*, 1992, **17**(21): 1512~ 1514
- 7 P. M. W. French, R. Mellish, J. R. Taylor *et al.*. All-solid-state diode-pumped modelocked Cr·LiSAF laser. *Electron. Lett.*, 1993, **29**(14): 1262~ 1263
- 8 S. Aoshima, H. Itoh, K. Kuroyanagi *et al.*. Tunable picosecond all solid-state Cr·LiSAF laser. Sogo Okamura, Toshiyuki Kitamoti, Tadashi Yamanaka *et al.*. 10th Anniversary IMTC/94 Advanced Technologies in I & M, NJ, USA, 1994, 937~ 940
- 9 Wei Li, Zhang Aihua, Zhang Shangan *et al.*. A flashlamp pumped Cr·LiSAF tunable laser. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1995, **A22**(7): 490~ 492 (in Chinese)
- 10 Ruan Shuangchen, Hou Xun, Wang Shuicai *et al.*. Tunable CW Cr·LiSAF laser. *Laser and Optronics Progress* (激光与光电子学进展), 1995 (11): 9~ 10 (in Chinese)

- 11 S. C. Ruan, S. C. Wang, X. Hou *et al.*. Generation of 45-fs pulses from a Cr:LiSAF laser. 17th Congress of International Commission for Optics: Taejon Korea, 1996, 656~ 657
- 12 Ruan Shuangchen, Du Geguo, Hou Xun *et al.*. Laser diode pumped Cr:LiSAF laser. *Acta Photonica Sinica* (光子学报), 1997, **26**(3): 201~ 203 (in Chinese)
- 13 Du Geguo, Ruan Shuangchen, Chen Guofu *et al.*. All solid state Cr:LiSAF laser. *Acta Photonica Sinica* (光子学报), 1997, **26**(6): 509~ 512 (in Chinese)
- 14 Stephen A. Payne, William F. Krupke, Larry K. Smith *et al.*. 752 nm wing-pumped Cr:LiSAF laser. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1992, **28**(4): 1188~ 1196

A Diode-laser Pumped Cr:LiSAF Tunable Laser

Du Geguo Mao Yanli Ruan Shuangchen

(State Key Laboratory of Transient Optics Technology, Xi'an Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710068)

Abstract A domestic diode-laser pulse-pumped Cr:LiSAF tunable laser is reported for the first time. A maximum average output over 2 mW, slope efficiency of 25% and a tuning range from 806.6~ 920 nm are obtained. The experimental results are discussed.

Key words diode-laser pump, Cr:LiSAF laser, broad tuning

全固态连续波绿光激光器输出超过 5 W

全固态激光器具有效率高、寿命长、体积小、结构紧凑和光束质量好等优点,近年来获得迅速发展。特别是全固态大功率连续波绿光激光器,在取代氩离子激光器泵浦钛宝石获得连续波或飞秒脉冲可调谐激光输出以及在激光医疗方面等有广阔的应用前景。最近,我们研制了一台 LD 泵浦 Nd:YVO₄ 连续波绿光激光器,输出功率超过 5 W。

该系统采用四镜 Z 型腔结构,腔长约 380 mm,双向端面泵浦。LD 光纤耦合最大输出功率 30 W,发射波长在 25℃下是 808 nm。LD 与腔之间采用一焦距 $f = 30$ mm 的准直聚焦系统耦合。Nd:YVO₄ 晶体是由中国科学院物理所生长的,尺寸为 4×4×8 (mm),两通光面镀 1064 μm 和 808 nm 双色增透膜,用 KTP 作腔内倍频晶体,大小为 3×3×8 (mm);一类相位匹配,通光面镀 1064 nm 和 532 nm 增透膜。在 LD 输出功率为 21.2 W 时,得到单横模(TEM₀₀),绿色连续波激光输出 5.25 W,光-光转换效率为 24.8%;电-光效率达 4.2%。输出功率稳定,在 4.5 W 附近半小时测量过程中,稳定度优于 1.5%。

本课题得到“九·五”863 重大项目资助。

中国科学院物理研究所 北京 100080

何京良 王建明 侯 玮 张恒利 冯宝华 吴 星 许祖彦 杨国楨

1997 年 12 月 22 日收稿