

半导体泵浦连续波 Cr: LiSAF 可调谐激光器的研究*

杜戈果 毛艳丽 阮双琛 陈国夫 侯洵
(瞬态光学技术国家重点实验室, 西安, 710068)

摘要: 报道半导体泵浦连续波运转的 Cr: LiSAF 激光器。在泵浦入射功率为 148mW 时, 得到 2mW 的连续波输出。输出波长为 866nm。当在腔内放置色散元件后, 其调谐范围是 835.5~893.8nm。并对实验结果进行了分析。

关键词: Cr: LiSAF CW 可调谐激光器

A diode-laser pumped CW Cr: LiSAF tunable laser

Du Geguo, Mao Yanli, Ruan Shuangchen, Chen Guofu, Hou Xun
(State Key Laboratory of Transient Optics Technology, Xi'an, 710068)

Abstract: A diode-laser pumped CW Cr: LiSAF tunable laser is reported. An output of 2mW with an incident pump power of 148mW, wavelength of 866nm and a tunable range of 835.5~893.8nm are obtained. The experimental results are discussed as well.

Key words: Cr: LiSAF CW tunable laser

引 言

掺铬六氟铝酸锶铷($\text{Cr}^{3+} : \text{LiSrAlF}_6 / \text{Cr: LiSAF}$) 激光器是一种新型近红外可调谐激光器, 1989 年美国 Lawrence Livermore 国家实验室首次报道^[1]。由于具有较宽的调谐范围(750~1000nm)、较长的上能级寿命(67 μs) 以及可用红光半导体直接泵浦等优点, 受到极大关注, 成为固体可调谐激光器中继钛宝石之后的又一颗新星。半导体泵浦的 Cr: LiSAF 激光器结构非常紧凑, 产生的近红外激光经过倍频, 产生最佳蓝色激光, 是水下通讯及探测的最佳“海水”窗口。近几年来, Cr: LiSAF 激光器发展迅速。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^[2-5]。国内也开始了对该晶体的研究。安徽光机所韦丽等人报道了闪光灯泵浦的 Cr: LiSAF 激光器^[6], 西安光机所阮双琛等人先致力于氙离子激光器泵浦 Cr: LiSAF 激光器的研究^[7], 现致力于半导体泵浦 Cr: LiSAF 激光器的研究。在实现脉冲泵浦的两镜腔、三镜腔激光运转以及连续泵浦的两镜腔激光运转基础上, 我们报道 AlGaInP 红光激光二极管

* 中国科学院院长基金资助。

27 Elsaye \ddot{a} Ali H E, Norris T B, Pessot M A *et al.* Phys Rev Lett, 1987; 58(12): 1212

28 Goereneveld RH M, Sprik R, Legendijk A. Phys Rev Lett, 1990; 64(7): 784

29 Brorson S D, Kazeroonian A, Moodera J S *et al.* Phys Rev Lett, 1990; 64(18): 2172

作者简介: 张云, 女, 1963 年 9 月出生。讲师。现从事非线性光学及激光光谱学研究工作。

泵浦的 CW Cr:LiSAF 可调谐激光器的实验结果,并进行了分析和讨论。

一、Cr:LiSAF 晶体物理性质

Cr:LiSAF 晶体的吸收光谱及荧光光谱如图 1 所示。从图中可以看出, Cr:LiSAF 具有偏振吸收和偏振辐射现象。与 $\sigma(E \perp c)$ 光相比, $\pi(E \parallel c)$ 光的受激辐射截面和吸收截面都比较大,而且 π 偏振的近红外光能以较小的损耗通过晶体。两个主要的吸收峰位于红、蓝光区,可用闪光灯、氩离子、氦离子、脉冲染料泵浦,尤其可用红光激光二极管来泵浦。同时,其增益带宽宽(220nm),峰值增益截面也较大,约为 $5 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$ 。Cr:LiSAF 晶体的热致折射率变化小, dn/dT 为 $-40 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}(E \parallel c)$ 和 $-2.5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}(E \perp c)$,因而其热透镜效应低,但它的破裂韧性及热传导率比氧化物基质要低(Cr:LiSAF 的热导率为 $3.09 \text{ W/m}\cdot\text{k}$,而钛宝石的热导率为 $33 \sim 35 \text{ W/m}\cdot\text{k}$,所以其机械强度较弱,散热缓慢,将影响输出功率的提高。

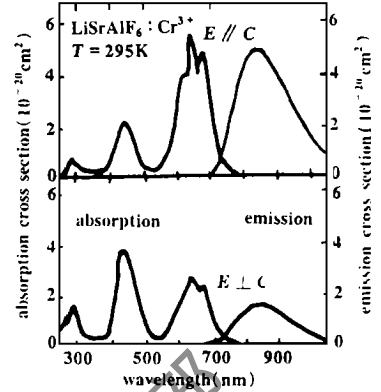


Fig. 1 Polarized absorption and emission spectra of Cr:LiSAF

二、实验装置与腔设计

1. 实验装置 泵浦源为 SDL 公司生产的 3W 光纤耦合激光二极管,其输出中心波长为 670nm。激光器由 12 个列阵组成,经光纤耦合输出后,光斑均匀圆对称,光束为非衍射极限输出。光纤芯径 400 μm ,数值孔径 0.4,光束发散角(FWHM) $\leq 5^\circ$ 。本实验中,泵浦源工作于连续方式。实验测得泵浦光的偏振度小于 12%。

Cr:LiSAF 晶体一端为平面,另一端布氏角切割,中心长度 3mm,直径 6mm,掺杂浓度 5.5%。平面端镀双色膜,对泵浦光增透,对激光波长高反(800~900nm)。

图 2 为实验装置示意图。上图为典型的平凹腔结构,下图为平凹平腔结构。晶体的平面端构成腔镜 M_1 , M_2 为曲率半径 100mm 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。

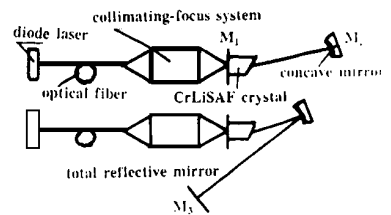


Fig. 2 Experimental setup of the diode pumped Cr:LiSAF laser

2. 腔设计 为了易于实现以后的锁模,实验选用腔型为三镜折叠腔。它是二极管泵浦固体激光器广泛采用的一种腔型,端泵浦可获得较高的泵浦效率,且消除了腔内的任何标准具效应,可做到较强的腔内聚焦,长臂适合放置各种锁模和调 Q 器件。晶体布氏角的引入会引起像散,来源于在弧氏面和子午面内,棒的有效厚度不一样,但这可以用离轴工作的凹面镜来消除。补偿角由下式计算^[8]:

$$R \cdot \text{tg}\theta \cdot \sin\theta = 2l(n^2 - 1)(n^2 + 1)^{1/2}/n^4$$

式中, R 为凹面镜的曲率半径, θ 为光束对凹面镜法线的夹角, l 为棒长, n 为晶体的折射率。代入实验值 $R = 100 \text{ mm}$, $l = 3 \text{ mm}$, $n = 1.41$,算得补偿角 $\theta = 9.2^\circ$ 。

三、实验结果及分析

图 3 给出两镜腔自由振荡时 CW Cr:LiSAF 激光器的输入输出关系的实验结果,比以往的结果有所提高。同样的腔型结构下,激光器运转的阈值由 240mW 下降到 100mW 以下,这

是改变泵浦结构得到的结果。在改变准直-聚焦结构后,减小了泵浦光斑,使得 w_p 更接近于 w_c , 即泵浦光斑与激光光斑匹配较好,从而降低了激光器的阈值。在此基础上,实现了三镜腔激光器连续运转。图 4 给出三镜腔情况下的实验结果,图中的两条曲线分别代表每个泵浦功率下输出功率在 $t = 0$ 时刻和 $t = 2\text{min}$ 后的数值。激光器自由振荡的中心波长为 866nm , 其光

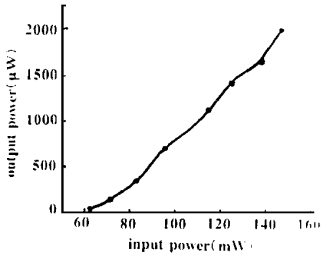


Fig. 3 Output verse input power with two-mirrors cavity

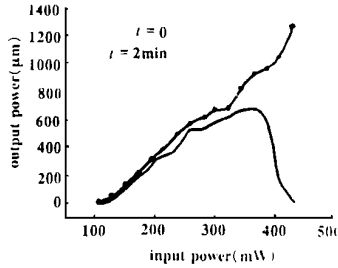


Fig. 4 Output verse input power with three-mirrors cavity at the different time

谱如图 5 所示。当在腔内放置一棱镜时 (ZF_4), 在泵浦功率不变的情况下, 其调谐范围为 $835.5 \sim 893.8\text{nm}$ 。其输出功率与波长的关系如图 6 所示。

从图 4 可以看出, Cr:LiSAF 晶体的热效应很严重。尽管在实验中对晶体的铜支架进行通水冷却, 但效果不显著。这主要由于晶体的热导率太小、散热缓慢所致。随着泵浦功率的增加, 晶体吸收泵浦光而转换的热量也增加, 最终导致激光熄灭。因此解决晶体的散热问题是实验中的一个关键。考虑到 Cr:LiSAF 晶体具有偏振吸收和偏振辐射现象以及实验用的晶体一端布氏角切割的特点, 用 $\pi(E \parallel c)$ 光来进行泵浦, 可避免晶体对 $\sigma(E \perp c)$ 光不必要的吸收, 可能会减小它的热效应。总之, 减小晶体的热效应以及改善泵浦系统、降低激光器的阈值从而提高输出功率是我们下一步的研究内容。

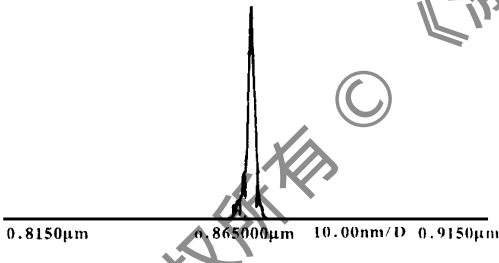


Fig. 5 Spectrum of CW Cr:LiSAF laser

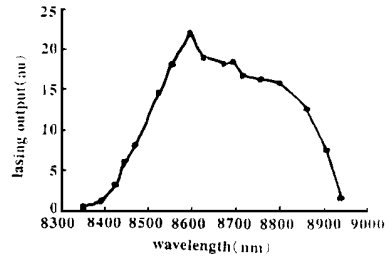


Fig. 6 Tuning curve

参 考 文 献

- 1 Payne S A, Chase L L, Smith L K *et al.* J A P, 1989; 66(3): 1051~ 1056
- 2 Stalder M, Chai B H T, Bass M. A P L, 1991; 58(3): 216~ 218
- 3 Scheps R, Myers J F, Serreze H B *et al.* Opt Lett, 1991; 16(11): 820~ 822
- 4 Zhang Q, Dixon G J, Chai B H T *et al.* Opt Lett, 1992; 17(1): 43~ 45
- 5 Harter D J, Squier J, Mourou G. Opt Lett, 1992; 17(21): 1512~ 1514
- 6 韦 丽, 张爱华, 张尚安 *et al.* 中国激光, 1995; A22(7): 490~ 492
- 7 阮双琛, 侯 洵, 王水才 *et al.* 激光与光电子学进展, 1995; 359(11): 9~ 10
- 8 Kogelnik H W, Ippen E P, Dienes A *et al.* IEEE J Q E, 1972, QE-8(1): 373~ 379

作者简介: 杜戈果, 女, 1971 年 4 月出生。博士生。从事固体激光器、掺稀土离子光纤激光器与放大器的研究工作。