

连续钛宝石激光器波长调谐特性及斜效率的测量

李瑞宁 王军民 谢常德 彭堃墀

(山西大学光电研究所, 太原 030006)

提要 采用四镜折叠驻波腔, 以氩离子激光器的可见多谱线输出纵向激励, 用国产钛宝石激光棒实现了连续激光运转。使用三套腔镜得到的波长调谐范围分别为 680~760 nm、730~840 nm、970~1010 nm, 峰值波长约为 780 nm。当输出透射率为 11.76%、泵浦功率约 10.0 W 时, 获得 780 nm 波长的激光最大输出功率约 2.35 W, 斜效率为 33.49%。

关键词 连续钛宝石激光器, 波长调谐, 斜效率

钛宝石激光器以其波长调谐范围宽、运转可靠等显著的优点而受到广泛的关注, 在原子俘获、激光光谱、超快过程、激光雷达、半导体能隙研究等领域有着重要的意义。国外, 随着晶体生长技术及工艺的改进和完善, 钛宝石晶体的质量不断提高; 因而诸如连续钛宝石激光器、连续稳频钛宝石激光器、锁模超短脉冲钛宝石激光器及灯泵脉冲钛宝石激光器等相关器件发展得非常迅速。最近, 国内钛宝石晶体的质量也有了较大的提高, 与之相关的激光器件也有了一定的发展^[1]。

本文介绍使用国产钛宝石激光棒实现连续激光运转的结果。实验中测量了其波长调谐特性, 得到了波长调谐范围和峰值波长; 测量了峰值波长处泵浦功率和输出功率的关系, 得到了系统的斜效率。

1 系统描述

激励源为可见多谱线(457.9~528.7 nm) Spectra-Physics Model 2030-20S 型氩离子激光器。实验中使用的钛宝石激光棒的长度为 14.2 mm, 截面为 $6.0 \times 8.1 \text{ mm}^2$, 两通光端面均以布氏角切割(对于 800 nm 其布氏角为 $60^\circ 24'$), 是由中国科学院上海光机所激光晶体室生长并加工的。我们测得, 该钛宝石棒对 514.5 nm 的吸收系数 ($\alpha_{514.5}$) 约为 1.96 cm^{-1} , FOM 值 ($\alpha_{514.5}/\alpha_{800}$) 大于 200, 消光比约为 37 dB(632.8 nm)。

谐振腔采用四镜折叠驻波腔(见图 1), 腔体总长度约为 800 mm。引入两个曲率半径为

102 mm 的离轴入射的球面反射镜 M_1 和 M_2 ，以形成数十微米的腔模腰斑，并可补偿腔模因布氏角切割的钛宝石激光棒引起的像散^[2,3]。由文献[2]求得入射角应为 $13^\circ 12'$ 。此时，腔模在子午面和弧矢面内腰斑基本重合，且处于钛宝石激光棒的中心，半径约 $20\ \mu\text{m}$ ；子午面和弧矢面内腔的稳定区也最大限度地重合，即腔的实际稳定区域最大。

钛宝石激光棒被固定在水冷的激光头中，置于两个球面反射镜中心。腔前用一个宽带增透（460~520 nm）、焦距为 150 mm 的凸透镜，将呈 P 偏振的可见多谱线氩激光束聚焦在钛宝石激光棒中。为了补偿泵浦光束的像散，聚焦透镜在水平面内倾斜约 8° ，此时泵浦光束基本上可与腔模在空间上匹配，可降低泵浦阈值，并且在棒中可形成合适的增益孔径，将腔模限制在单横模状态^[4]。

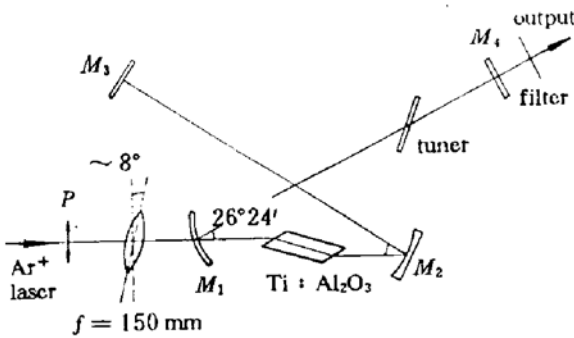


Fig. 1

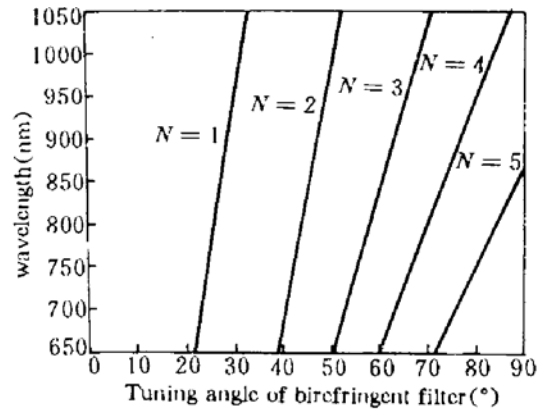


Fig. 2

腔内以布氏角插入一片厚度为 1.04 mm 的石英双折射滤光晶片，用来选择运转波长。与通常的双折射滤光片不同的是，该晶片的晶轴不是在晶片表面内，而是与晶片表面成 67° 角，在调谐角约 45° 左右处，该晶片的波长抑制比最高^[5]；我们所使用的晶片是由山东大学晶体材料研究所设计并加工的。其调谐角与相应波长之间的关系曲线见图 2（图中绘出了 $0\sim 90^\circ$ 内的结果； $N = 2$ 的曲线波长抑制比最高，选择效果最好；相位差 $\Delta\phi = 2N\pi$ ）。

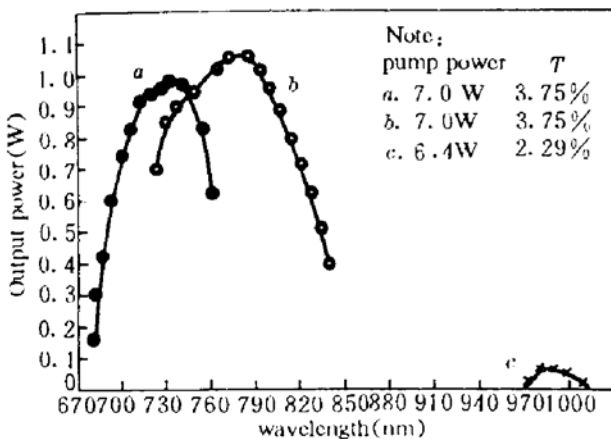


Fig. 3

2 波长调谐特性的测量

钛宝石晶体荧光光谱的波长范围极宽，从 600 nm 一直延伸至 1100 nm^[6]。连续钛宝石激光器的波长调谐范围主要是由其荧光带宽决定的，同时与泵浦强度和输出透射率有关，还受腔镜所镀膜层带宽的影响。

实验中，我们换用了现有的三套腔镜测量了波长调谐特性；三套腔镜所镀膜层的波长范围分别为 $640\sim 760\ \text{nm}$ 、 $730\sim 840\ \text{nm}$ 、 $970\sim 1150\ \text{nm}$ 。在一定的泵浦功率和输出透射率下，调节石英双折射滤光片的调谐角以改变运转波长；使用 WDG-30 型光栅单色仪确定输出激光的波长（分辨率为 $0.1\ \text{nm}$ ，波长准确性为 $0.2\ \text{nm}$ ），使用 Coherent Model 201 型连续激光功率计测量

各波长处的输出功率值,即可得到波长调谐特性曲线。测量结果如图 3 所示,得到的波长调谐范围分别为 680~760 nm、730~840 nm、970~1010 nm,峰值波长为 780 nm;测量时各套腔镜条件下所使用的泵浦功率和输出透射率均已注在图中。如果腔镜规格齐全,显然该激光系统可在 680~1010 nm 波长范围内调谐。

3 斜效率的测量

实验中使用 730~840 nm 波长范围内的腔镜,将激光波长调谐至峰值波长 780 nm 处,换用输出耦合透射率为 4.35% 和 11.76% 的输出耦合镜,分别测量了不同泵浦功率下的输出功率值(见图 4)。经最小二乘法对所测得的数值点作线性拟合,求得输出透射率分别为 4.35% 和 11.76% 的两种情形下的斜效率分别为 18.62% 和 33.49%。使输出的激光束通过一个短焦距的凸透镜,则在其焦点后光斑被扩散开来,经“针孔扫描法”测得输出激光束的空间横向分布见图 5;很显然,输出激光为单横模。在实验中,当泵浦聚焦透镜偏离最佳位置较大时,输出激光容易出现高阶横模,且其泵浦阈值一般较高。

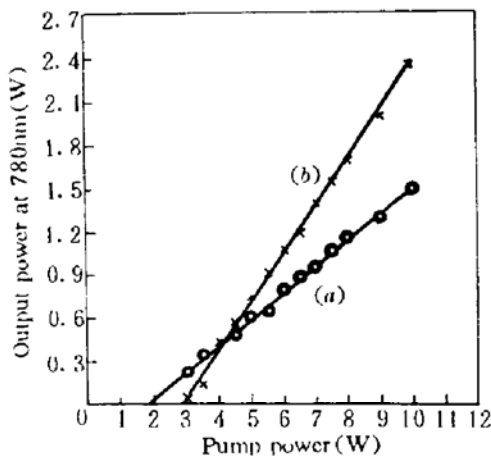


Fig. 4

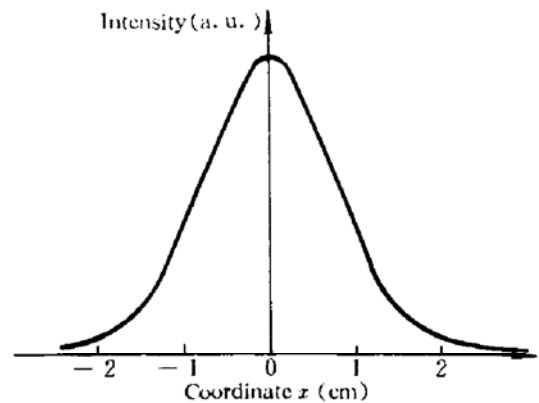


Fig. 5

当氩离子激光器可见多谱线输出功率约为 10.0 W 时,被钛宝石激光棒吸收的功率约为 7.94 W,在 11.76% 的输出透射率下,获得 780 nm 波长最高输出功率约为 2.35 W,系统光光转换效率约为 23.5%。

致谢 山东大学晶体材料研究所的邵宗书先生提供了实验中所使用的石英双折射滤光片,西南技术物理研究所六室的杨德利先生解决了腔镜的镀膜,谨在此表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- 1 刘玉璞,张影华,陆培华. 连续可调谐钛宝石激光器的实验研究. 中国激光, 1993, A20(2): 85
- 2 Herwig W. Kogelnik, Erich P. Ippen, Andrew Dienes *et al.*. Astigmatically compensated cavities for cw dye lasers. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1972, QE-8(3): 373
- 3 王军民,李瑞宁,梁晓燕等. 四镜折叠腔波长可调谐连续 Ti: Al₂O₃ 激光器. 激光与红外, 1993, 23(4):

- 4 王军民, 李瑞宁. 氩激光纵向激励的连续钛宝石激光系统中泵浦光束的像散及补偿. 山西大学学报(自然科学版), 1994, 17(4): 397
- 5 Jurgen Mental, Eberhard Schmidt, Thomas Mavrudis. Birefringent filter with arbitrary orientation of the optic axis: an analysis of improved accuracy. *Appl. Opt.*, 1992, 31(24): 5022
- 6 P. F. Maulton. Spectroscopic and laser characteristics of Ti : Al₂O₃. *J. Opt. Soc. of Am. B*, 1986, 3(1): 125

Measurement of Tuning Characteristics and Slope Efficiency of a CW Ti : Sapphire Laser

Li Ruining Wang Junmin Xie Changde Peng Kunchi

(*Institute of Opto-Electronics, Shanxi University, Taiyuan 030006*)

Abstract Using a Ti : sapphire rod grown in China a single-transverse-mode CW laser has been demonstrated with an astigmatism compensated fold cavity of four mirrors. The pumping source was an argon laser with all lines output. With three sets of cavity mirrors the tuning ranges were 680~760 nm, 730~840 nm, and 970~1010 nm respectively, while the peak power wavelength was 780 nm. Up to 2.35 W of output power and 33.49% of slope efficiency were obtained with an output transmissivity of 11.76% at 780 nm for a pump power of 10.0 W.

Key words CW Ti : sapphire laser, tunable, slope efficiency