

ISSN 1001-5078

JIGUANG YU HONGWAI

# 激光与红外

光电子技术进展·信息集锦

LASER & INFRARED

- Progress of electro-optics technology
- Collection of information

Vol. 23 No. 4

August 1993年8月

1993 4

中国光学光电子行业协会  
中国电子学会量子电子学与光电子学分会  
电子部激光专业情报网 电子部红外专业情报网

联合刊物

## 四镜折叠腔波长可调谐 连续 Ti : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 激光器\*

王军民\*\* 李瑞宁 梁晓燕 谢常德 彭堃墀  
(山西大学光电研究所, 太原 030006)

**摘要** 本工作中采用四镜折叠像散腔有效地补偿像散, 用复合双折射晶片调谐波长, 在约 10W 的氩离子蓝绿激光泵浦下。TEM<sub>00</sub>模连续 Ti : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 激光峰值功率(波长  $\lambda=790\text{nm}$ )大于 1.65W, 泵浦阈值低于 1.7W, 斜效率为 20.26%; 波长  $\lambda=790\text{nm}$  处, 输出激光线宽约为 0.0008nm, 含三个纵模。用一套腔镜得到的波长调谐范围约为 750~869nm。

**关键词:** Ti : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 可调谐, 像散补偿

### Tunable CW Ti : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Laser with Four-mirror Folded Cavity

Wang Junmin Li Ruining Liang Xiaoyan Xie Changde Peng Kunchi

(Institute of Opto-Electronic Researches, Shanxi University, Taiyuan 030006)

**Abstract** Tunable CW Ti : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> laser with four-mirror folded cavity compensating the astigmatism of the Brewster-angle Ti : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> rod and with complex birefringent filter tuning the wave-length was demonstrated. 1.65W CW TEM<sub>00</sub>-mode output ( $\lambda=790\text{nm}$ ), 1.7 W pump threshold and 20.26% slope efficiency were obtained pumped by 10W visible all lines argon laser. The linewidth of output laser is about 0.0008nm with three longitudinal modes at  $\lambda=790\text{nm}$ . The tuning range is from 750nm to 869nm with a set of cavity mirrors.

**Keywords** Ti : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, tunable, astigmatism compensation

### 一、引言

掺钛宝石(Ti : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)晶体由于有极宽的荧光光谱, 且具有良好的力学、热学性质及化学稳定性, 从而成为研制可调谐激光器的优秀固体激光介质之一。从 1982 年 P. F. Moulton 首次报导 Ti : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 激光运转<sup>[1]</sup>以来, Ti : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 激光器受到了极大的关注。可调谐 Ti : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 激光器与可调谐液体染料激光器相比, 不仅调谐范围更宽、输出功率更高, 而且稳定性好, 免去了更换液体染料之劳, 从而使用更方便。

迄今, 国外已有用各种采用不同泵浦源激励的运转于不同状态的可调谐 Ti : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 激光器。国内这方面的工作起步较晚, 目前多以脉冲方式或准连续方式运转<sup>[2~5]</sup>。

本文报导以氩离子蓝绿激光泵浦的可调谐连续 Ti : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 激光器及其测量结果。

### 二、晶体的光谱特性及晶体描述

Ti : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 晶体的吸收光谱如图 1 所示(取自文献<sup>[3]</sup>)。在 400~600nm 之间有一个吸收带, 且  $\pi$  偏振吸收强于  $\sigma$  偏振, 吸收峰落在 490nm 处。氩离子蓝绿激光(457.9~514.5nm)、工作在 490nm 的染料激光及 532nm 的倍频 Nd : YAG 激光均可作为 Ti : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 有效的泵浦源。

本刊 1993 年 3 月收到

\* 山西省自然科学基金资助项目。

\*\* 王军民 1967 年生, 助教; 1989 年至 1992 年在山西大学攻读光学专业硕士学位; 之后在山西大学光电研究所工作, 研究工作集中在连续激光自倍频、可调谐连续钛宝石激光器以及连续激光稳频等方面。在国内外学术刊物及国际学术会议上发表论文五篇。

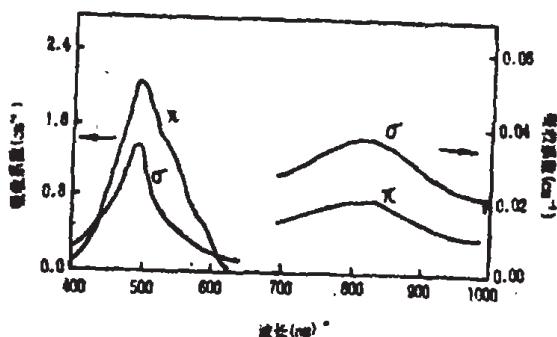


图 1  $\text{Ti:Al}_2\text{O}_3$  晶体的吸收光谱

$\text{Ti:Al}_2\text{O}_3$  晶体对发射波长也有吸收<sup>[6]</sup>,一般称之为寄生吸收。 $\sigma$  偏振的寄生吸收强于  $\pi$  偏振<sup>[3]</sup>。寄生吸收不可避免地增加了激光器的内腔损耗,因而对于激光振荡极为不利。寄生吸收与  $\text{Ti:Al}_2\text{O}_3$  晶体中  $\text{Ti}^{3+}$  浓度有关,较高的  $\text{Ti}^{3+}$  掺杂浓度,常使得  $\text{Ti}^{3+}$  变价为  $\text{Ti}^{4+}$ ,寄生吸收则随之增强<sup>[7,8]</sup>。因此,一般都采用  $\text{Ti}^{3+}$  掺杂浓度较低的长棒。

$\text{Ti:Al}_2\text{O}_3$  晶体的荧光寿命约为  $3.15\mu\text{s}$ <sup>[6]</sup>,连续激光运转要求泵浦速率足够高<sup>[9]</sup>,连续灯泵的  $\text{Ti:Al}_2\text{O}_3$  由于其泵浦速率低所以不易出光。因而连续  $\text{Ti:Al}_2\text{O}_3$  激光器一般采用泵浦速率极高的相干泵浦源。本工作中,以氩离子蓝绿激光作为相干泵浦源; $\text{Ti:Al}_2\text{O}_3$  晶棒尺寸为:  $\varnothing 4\text{mm} \times 20\text{mm}$ ,实验测得该晶棒对于与其成  $\pi$  偏振的氩离子蓝绿激光的吸收率约为 89.7%,吸收系数即为  $1.14\text{cm}^{-1}$ 。

$\text{Ti:Al}_2\text{O}_3$  晶体的荧光光谱如图 2(取自文献<sup>[6]</sup>),其波长范围极宽,从约  $650\text{nm}$  直延伸至  $1000\text{nm}$ 。 $\pi$  偏振的荧光强度大于  $\sigma$  偏振。

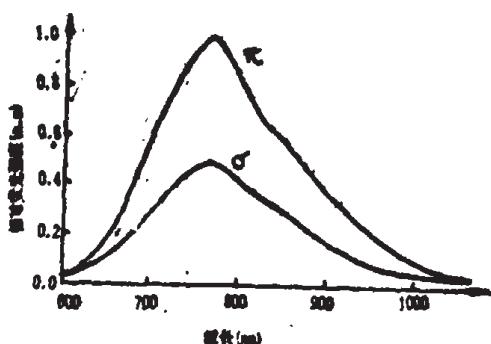


图 2  $\text{Ti:Al}_2\text{O}_3$  晶体的荧光光谱

基于  $\text{Ti:Al}_2\text{O}_3$  晶体的上述光谱特性,泵

浦光束应相对于晶体成  $\pi$  偏振,这样晶体对泵浦光的吸收较强,泵浦效率较高;腔内振荡光束亦应成  $\pi$  偏振,这样荧光强度大,且寄生吸收较弱,易于振荡。以下述方式切割的  $\text{Ti:Al}_2\text{O}_3$  晶体即可满足上述要求。即使  $\text{Ti:Al}_2\text{O}_3$  晶棒的中心轴线垂直于晶轴  $c$ ,两通光端面以布儒斯特角( $\sim 60^\circ$ ,折射率  $n=1.77$ )切割,且使两通光表面的法线与晶轴  $c$  处于同一平面内,如图 3。

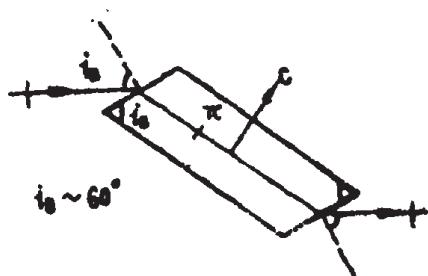


图 3  $\text{Ti:Al}_2\text{O}_3$  晶棒剖面图

$\pi$  偏振的腔内振荡光束总是以布氏角在晶棒端面入射,在  $\text{Ti:Al}_2\text{O}_3$  的整个荧光光谱覆盖的范围内,各波长的布氏角相差不多,而且角度稍稍偏离布氏角所引起的反射损耗也不太大。因而棒端面的两个布儒斯特角既起到了控制偏振的作用,同时也减小了棒端面的反射损耗。

### 三、谐振腔型设计

腔内振荡光束以布儒斯特角在  $\text{Ti:Al}_2\text{O}_3$  棒端面入射,不可避免地使子午面和弧矢面内的光程不同,从而引起了较严重的像散,须采用像散腔予以补偿。我们采用了如图 4 所示的四镜折叠像散腔。

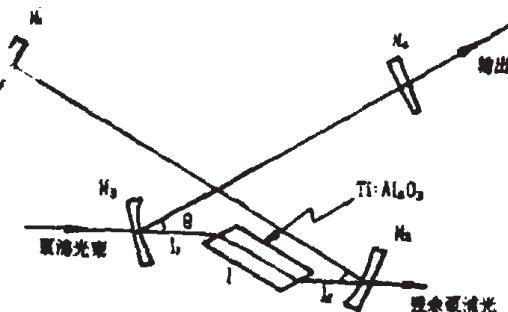


图 4 四镜折叠腔型示意

$M_1$  为平面平面反射镜,对  $750\sim 860\text{nm}$  高

反;  $M_4$  为输出耦合镜, 对 750~860nm 的透射率约为 4%;  $M_1, M_2$  为曲径半径 102mm 的球面折叠反射镜,  $M_2$  对 750~860nm 全反、 $M_3$  对 750~860nm 全反, 对 460~520nm 高透。  $M_1, M_2$  及  $Ti : Al_2O_3$  晶棒组成一个近共焦结构。 $M_1, M_2$  引入了两个折叠角(实际取作  $\theta_1 = \theta_2 = \theta$ ), 振荡光束以  $\theta/2$  的入射角在  $M_1, M_2$  上反射, 亦造成了子午面和弧矢面内光程的差别, 即引起了像散(因此这种腔型叫做像散腔)。但由此引起的像散通过选择适当的折叠角  $\theta$  即可基本上补偿由  $Ti : Al_2O_3$  晶棒造成的像散。

设计总腔长约为 800mm。由如下理论公式可计算折叠角<sup>[10,11]</sup>:

$$h(n^2 - 1) \sqrt{n^2 + 1/n^2} - R \sin \theta/2 \cdot \tan \theta/2 = 0$$

式中  $h$  为  $Ti : Al_2O_3$  晶体的厚度,  $n$  为折射率(1.77),  $R$  为球面折叠反射镜的曲率半径,  $\theta$  为折叠角。根据我们的参量, 求得  $\theta \approx 31^\circ$ 。此时, 像散基本相互补偿, 而且子午面和弧矢面内的稳定区最大限度地重合, 即腔的稳区最大; 折叠角  $\theta$  增大或减小时, 子午面和弧矢面内稳定区重合部分减小, 从而使腔的稳区也减小(见图 5)。

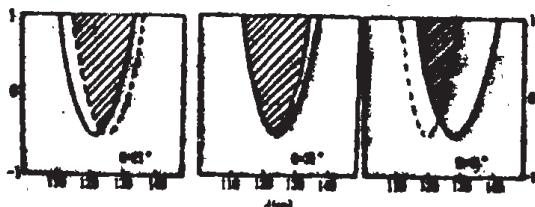


图 5 腔的稳区与折叠角的关系

#### 四、实验装置及结果

实验装置的示意图见图 6, 氦离子激光器的 TEM<sub>00</sub> 模蓝绿激光经泵浦聚焦透镜 L<sub>1</sub>(焦距  $f = 150\text{mm}$ ) 聚焦在  $Ti : Al_2O_3$  晶棒中心。 $Ti : Al_2O_3$  晶棒按适当方位放置, 使氦离子激光相对于晶棒成  $\pi$  偏振。 $Ti : Al_2O_3$  晶棒被封装在由水流冷却的铝制激光头中, 以确保良好散热。 $M_1, M_2, M_3$  及  $M_4$  组成四镜折叠像散腔, 参数同第三部分中所述。 $M_3, M_4$  臂中插入一个石英复合双折射滤光片 T, 用来调谐激光波长和压窄激光线宽; 三片石英晶片以 4:1:16 的厚度

比按适当的方式复合在一起。由输出耦合镜输出的激光经分束器 S 分为两束, 其中一束光由功率计探头 D 接收, 送入功率计以测定输出激光功率; 另一束光则经匹配透镜 L<sub>2</sub> 注入参考腔以监视输出激光模式。参考腔由一平片和一曲率半径为 102mm 的球面反射镜组成半共焦结构, 自由光谱区宽约 735MHz, 精细度约为 30, 由  $M_5$  漏出腔外的一束光经透镜 L<sub>3</sub> 聚焦在光栅单色仪的狭缝处(狭缝前有一滤光片滤去漏出腔外的残余泵浦光), 送入单色仪以测定由复合双折射滤光片 T 所选定的激光波长值。

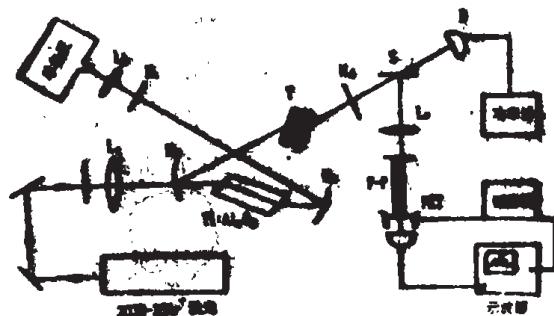


图 6 实验装置示意图

在 790nm 处, 由实验测得的不同泵浦功率及相应的输出功率值经最小二乘法线性拟合得到的输入—输出曲线见图 7。输出激光横模为 TEM<sub>00</sub> 模; 纵模间隔约为 190MHz, 含三个纵模, 估算其激光线宽约为 0.0008nm。

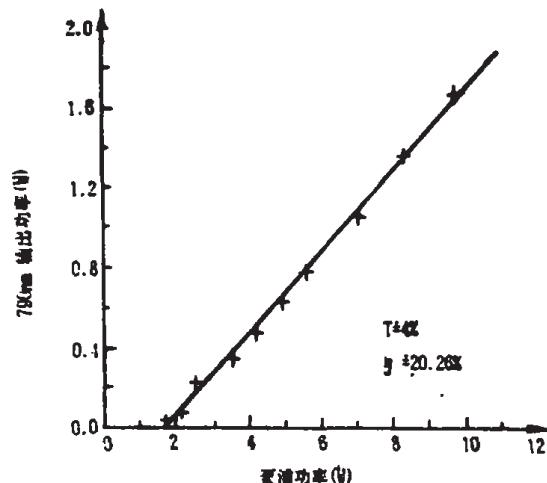


图 7 输入—输出曲线

采用一套腔镜,经复合双折射滤光片 T 调谐所得到的激光波长调谐范围约为 750~860nm。调谐曲线见图 8。

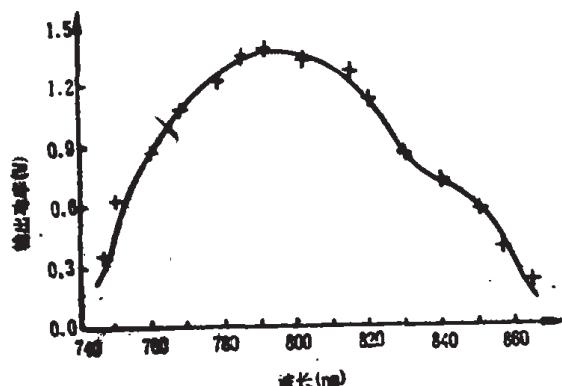


图 8 波长调谐曲线

若进一步改进泵浦光注入系统的光学质量,采用几套不同波长段的腔反射镜,可望用同样的腔型结构获得更高的输出功率并扩展波长

调谐范围。

感谢西南技术物理所六室的杨德利同志在腔镜镀膜工作中给予的帮助。

### 参 考 文 献

- [1] P. F. Moulton, Opt. Nes., 8(6), p. 9(1982)
- [2] 吴路生等,中国激光,16(1), p. 3(1989)
- [3] 孙 等,光学学报,12(11), p. 975(1992)
- [4] 吴瑞昆等,中国激光,19(11), p. 801(1992)
- [5] 方香云,周寿桓,激光与红外,22(6), p. 43(1992)
- [6] P. F. Moulton , J. Opt. Soc. Am. B, 3(1), p. 125(1986)
- [7] R. L. Aggarwal , et al , IEEE J. Quan. Elec., 24, p. 1003 (1988)
- [8] Jeff Hecht, Laser Focus World , 28(10), p. 93(1992)
- [9] P. F. Moulton , Opt. and Photon. , 1(8), p. 20(1990)
- [10] H . W . Kogelink, et . . IEEE J. Quan. ELeC . , QE— 8, p. 373(1972)
- [11] 张国轩等,中国激光,12(6), p. 366(1985)