

# 可调谐紫翠宝石激光器

张贵芬 张守都 许世忠 马笑山 范勤儒\*

(中国科学院上海光机所)

**提要:** 用三元石英双折射滤光片对紫翠宝石激光进行调谐, 已得到从 735.7~796.1nm 间 60.4nm 的连续调谐输出。用 LiF 被动晶体 Q 开关工作时激光线宽约为 0.001nm。调谐时输出能量无明显下降, 振荡阈值只增加了 5%。

## A tunable alexandrite laser

Zhang Guifeng, Zhang Shouduo, Xu Shizhong, Ma Xiaoshan, Fan Qingru

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

**Abstract:** Continuously tunable laser output at 60.4 nm in the range of 735.7 nm to 796.1 nm has been obtained in an alexandrite laser with a three-element quartz birefringent filter. The laser linewidth is about 0.001 nm when a LiF crystal as passive Q-switch is used for single pulse operation. The output energy does not decrease obviously while the oscillating threshold increases by only 5%.

### 一、引言

到目前为止, 紫翠宝石(Alexandrite)仍是性能最优良的宽带可调谐激光工作物质之一。近几年来, 我们通过对晶体生长习性及工艺流程的研究改进, 经过对激光器参数最佳化的选择, 使紫翠宝石激光性能有了大幅度提高, 初步达到了实用化程度<sup>[1]</sup>。

### 二、实验装置及调谐滤光片的设计

三元双折射滤光片调谐紫翠宝石激光器

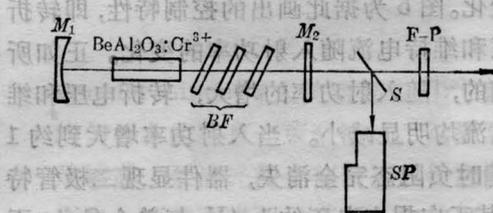


图1 实验装置示意图

$M_1, M_2$ —谐振腔镜;  $\text{BeAl}_2\text{O}_3:\text{Cr}^{3+}$ —紫翠宝石晶体  $\phi 5 \times 70 \text{ mm}$ ;  $BF$ —双折射滤光片;  $S$ —分光板;  $F-P$ —测量标准具;  $SP$ —1m 光栅光谱仪

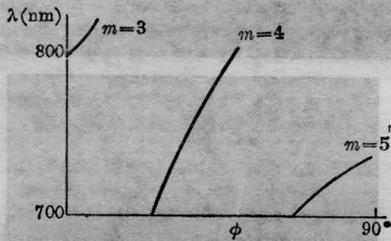
的实验结构如图1所示。曲率半径2m的凹面镜  $M_1$ (宽带全反射膜)和平面镜  $M_2$ (宽带

收稿日期: 1985年6月25日。

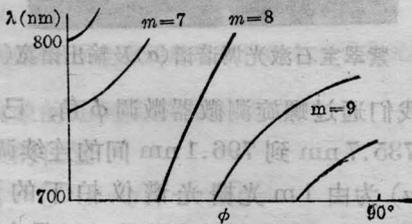
\* 成都电讯工程学院应届毕业生。

部分反射膜,反射率为72%)构成谐振腔,腔长为56 cm。晶体棒为 $\phi 5 \times 70$  mm,端面未镀增透膜,调整到和激光轴垂直。 $BF$ 为三元双折射滤光片,对激光轴成布儒斯特角放置。 $S$ 为分光板。 $F-P$ 为10.04 mm厚的测量标准具。 $SP$ 为1 m光栅光谱仪,用来测量调谐范围。

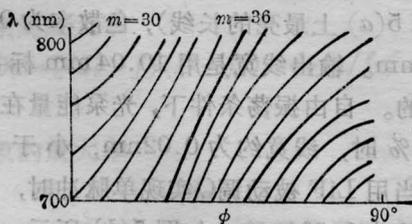
石英双折射滤光片是沿光轴方向切割下来的,光轴处在石英片内。线偏振TM波在石英片中分成 $o$ 光和 $e$ 光。二者由于折射率不同产生相位差,只有满足全波条件的波长经过石英片后才有最大的透过,能够实现激光振荡,其它波长受到不同程度的衰减而不能振荡,由此实现选择波长。D. R. Preass等人导出了透射光强的表示式<sup>[2]</sup>:



(a)  $\theta=32.8^\circ$   $t=0.06$  cm

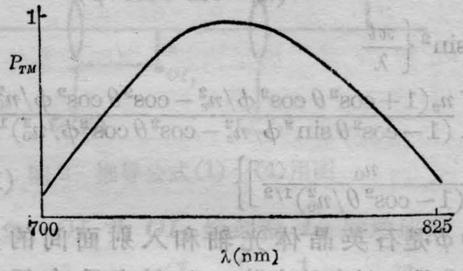


(b)  $\theta=32.8^\circ$   $t=0.122$  cm

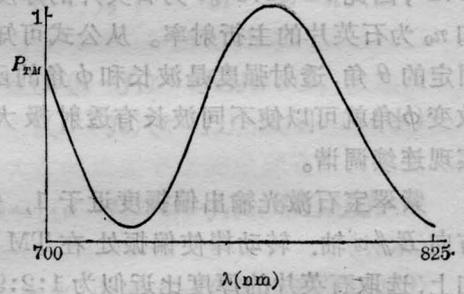


(c)  $\theta=32.8^\circ$   $t=0.536$  cm

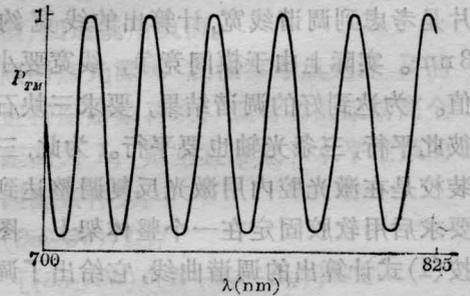
图2 三块石英片调谐曲线



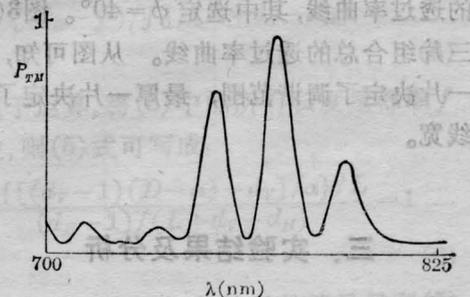
(a)  $\theta=32.8^\circ$ ,  $\phi=40^\circ$ ,  $t=0.06$  cm



(b)  $\theta=32.8^\circ$ ,  $\phi=40^\circ$ ,  $t=0.122$  cm



(c)  $\theta=32.8^\circ$ ,  $\phi=40^\circ$ ,  $t=0.536$  cm



(d)  $\theta=32.8^\circ$ ,  $\phi=40^\circ$ ,  $P_{TM}=P_{TM}(a) \times P_{TM}(b) \times P_{TM}(c)$

图3 三块石英片的透过曲线

$$I_{TM} = 1 - \sin^2(2\phi) \frac{n_0^4 - n_e^2 \cos^2 \theta}{(n_0^2 - \cos^2 \theta \cos^2 \phi)^2} \times \sin^2 \left\{ \frac{\pi t}{\lambda} \times \left[ \frac{n_e(1 + \cos^2 \theta \cos^2 \phi/n_e^2 - \cos^2 \theta \cos^2 \phi/n_0^2)}{(1 - \cos^2 \theta \sin^2 \phi/n_e^2 - \cos^2 \theta \cos^2 \phi/n_0^2)^{1/2}} - \frac{n_0}{(1 - \cos^2 \theta/n_0^2)^{1/2}} \right] \right\} \quad (1)$$

式中  $\phi$  是石英晶体光轴和入射面间的夹角,  $\theta$  是入射角的余弦。入射角取布儒斯特角, 石英在  $0.75 \mu\text{m}$  处的布儒斯特角为  $57.2^\circ$ , 因此  $\theta = 32.8^\circ$ 。  $t$  为石英片的厚度。  $n_e$  和  $n_0$  为石英片的主折射率。从公式可知, 对固定的  $\theta$  角, 透射强度是波长和  $\phi$  角的函数, 改变  $\phi$  角就可以使不同波长有透射极大值, 实现连续调谐。

紫翠宝石激光输出偏振度近于 1, 偏振方向  $E // a$  轴。转动棒使偏振处在 TM 波方向上, 选取石英片的厚度比近似为 1:2:9。最薄一片的厚度是考虑到调谐范围, 取  $d_1 = 0.06 \text{ cm}$ , 光谱自由程  $\Delta\lambda = 103.3 \text{ nm}$ 。最厚一片是考虑到调谐线宽, 计算出的线宽约为  $0.3 \text{ nm}$ 。实际上由于模间竞争, 线宽要小于该值。为达到好的调谐结果, 要求三块石英片彼此平行, 三条光轴也要平行。为此, 三片的装校是在激光腔内用激光反复调整达到实验要求后用软胶固定在一个整体架上。图 2 是按(1)式计算出的调谐曲线, 它给出了调谐范围。对应每一个  $\phi$  角, 有一个相应透射极大的波长。图 3 是用计算机计算的三块石英片的透过率曲线, 其中选定  $\phi = 40^\circ$ 。图 3(d) 是三片组合总的透过率曲线。从图可知, 最薄一片决定了调谐范围, 最厚一片决定了输出线宽。

### 三、实验结果及分析

我们设计的三元双折射滤光片没有引起输出能量明显降低, 在中等光泵下可以输出  $200 \sim 300 \text{ mJ}$  的能量。插入调谐元件后, 激

光振荡阈值只升高了 5%。图 4(b) 为振荡阈值随调谐波长变化时的情况。图 4(a) 为输出能量与调谐波长的关系曲线。由于增益曲线边缘降低而引起阈值升高及输出能量减小。增益曲线的不对称性使短波比长波变化更显著。

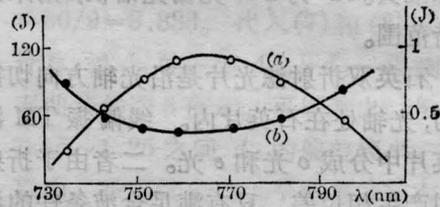


图 4 紫翠宝石激光输出能量(a)及振荡阈值对调谐波长的关系曲线

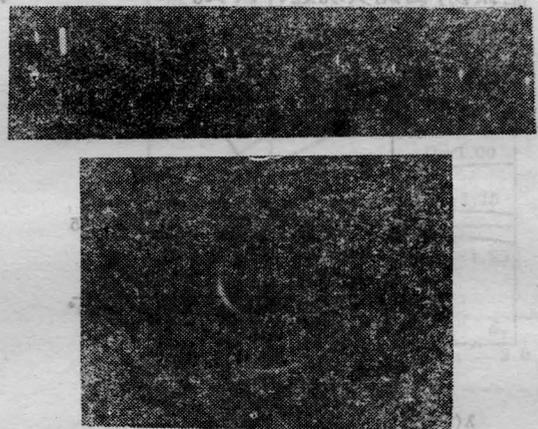


图 5 紫翠宝石激光调谐谱(a)及输出谱宽(b)

我们通过螺旋测微器微调  $\phi$  角, 已经实现从  $735.7 \text{ nm}$  到  $796.1 \text{ nm}$  间的连续调谐。图 5(a) 为由  $1 \text{ m}$  光栅光谱仪拍下的调谐谱。最左边一条为长波  $796.1 \text{ nm}$ , 最右边为短波  $735.7 \text{ nm}$ 。定标是用 Ne 灯的  $667.6 \text{ nm}$  谱线的一级谱和  $396.47 \text{ nm}$  紫外线的二级谱(图 5(a) 上最亮的长线), 色散率为  $0.814 \text{ nm/mm}$ 。输出线宽是用  $10.04 \text{ mm}$  标准具测量的。自由振荡条件下, 光泵能量在阈值上 10% 时, 线宽约为  $0.02 \text{ nm}$ , 小于计算值。当用 LiF 被动调 Q 实现单脉冲时, 输出线宽约为  $0.001 \text{ nm}$ , 如图 5(b) 所示。被动开关的这种选择纵模性能在 [3] 中已证实过。

