

掺钛蓝宝石晶体的连续光和自锁模运转的实验研究

戴建明 王清月

(天津大学精密仪器工程系, 天津 300072)

张 强 邓佩珍

(中国科学院上海光机所, 上海 201800)

提要 对上海光机所生产的国产掺钛蓝宝石晶体进行了大量的连续光运转和自锁模运转的实验研究, 获得了与进口掺钛蓝宝石晶体相当的实验指标。并且结合实验结果, 详细评估了国产掺钛蓝宝石晶体的质量。

关键词 掺钛蓝宝石晶体, 自锁模

1 引 言

到目前为止, 上海光机所生产的国产掺钛蓝宝石晶体在 490 nm 处的吸收系数 α_{490} 的范围可从 1.0 cm^{-1} 到 6.5 cm^{-1} 以上, 其品质因数 FOM 值也高达 300 以上。本文对上海光机所生产的二十多根不同参数的掺钛蓝宝石棒进行了连续光和自锁模的实验研究, 目的是为了通过实验了解国产掺钛蓝宝石晶体的有关激光运转方面的特性和指标。下面将介绍具有较为典型参数的国产棒的实验结果。

2 连续光实验研究

由于掺钛蓝宝石激光器的连续光输出并不是我们所关心的重点, 在进行连续光实验时, 只用了 5.7 W 左右的泵浦功率, 选用适合于自锁模运行的长腔, 腔长大约为 1.8 m。另外由于没有高透过率的输出镜, 我们用两个透过率为 3.0~4.0% 的输出镜实现两端输出, 激光器总的输出比率为 7%。球面镜 M_2, M_3 的曲率半径均为 100 mm, 如图 1 所示。

表 1 列出了不同参数的掺钛蓝宝石棒的连续光输出实验结果。另外我们选用表中编号为 4 的棒, 用 9.00 W 的泵浦功率进行泵浦, 在其他条件不变的情况下, 可以获得 1.83 W 的掺钛蓝宝石激光器连续光输出功率, 泵浦效率为 20% 左右。实验结果表明在 5.7 W 左右的泵浦功率下, α_{490} 为 2.2 cm^{-1} , 棒长为 13 mm 左右。

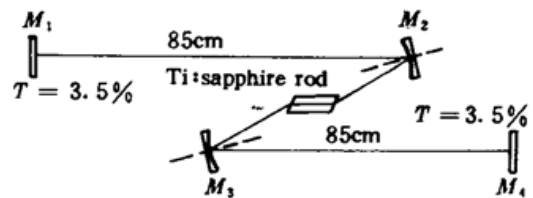


Fig. 1 Cavity configuration of the CW Ti:sapphire laser

FOM 值越高,则连续光输出的泵浦效率相对较高,表 1 中的最高的泵浦效率为 16.6%(对应 4 号棒)。为比较国产棒与进口棒的连续光效率,在同样条件下,用 5.7 W 的氩离子激光泵浦由美国 Crystal systems 公司生产的 $\alpha_{514} = 0.75 \text{ cm}^{-1}$,长度为 20 mm 掺钛蓝宝石棒,其连续光输出功率为 800 mW,泵浦效率为 14%。以上说明国产掺钛蓝宝石棒在连续光效率上完全可以和进口掺钛蓝宝石棒相媲美。需要说明的是上述实验结果不是连续光泵浦效率的最佳值,只是在 5.7 W 左右的泵浦功率下,采用长腔并且是在输出镜的总输出率为 7%的情况下得到的实验结果。为此通过提高泵浦功率,寻找最佳耦合输出率和缩短腔长等手段,可以进一步提高连续光泵浦效率。

Table 1 Experimental results of CW Ti:s lasers(with different Ti:s rods)

No.	Length of Ti:s rods (mm)	Absorption coefficient $\alpha_{490} (\text{cm}^{-1})$	Figure of merit (FOM)	Pump power (W)	Output (mW)
1	21.3	1.4	290	5.50	820
2	15.0	1.5	270	5.70	680
3	20.0	1.6	283	5.65	660
4	14.0	2.2	280	5.60	940
5	12.7	2.2	290	5.58	900
6	12.0	2.2	280	5.56	720
7	20.0	2.2	250	5.60	590
8	6.2	2.7	250	5.80	750
9	10.8	2.8	285	5.70	820

3 国产掺钛蓝宝石棒的自锁模实验研究

本文对国产掺钛蓝宝石晶体进行了较为细致的自锁模实验,实验中采用带双石英棱镜对^[1]的自锁模激光器谐振腔结构,如图 2 所示。

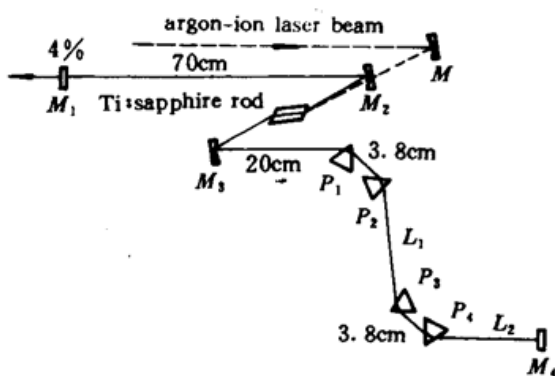


Fig. 2 Cavity configuration of the self-mode-locked Ti:sapphire laser

其中,泵镜 M 的曲率半径为 200 mm,球面镜 M_2 , M_3 的曲率半径均为 100 mm。另外,棱镜 P_2 , P_3 的间距 L_1 和棱镜 P_4 与全反镜 M_4 的间距 L_2 ,均需根据实验条件(如掺钛蓝宝石晶体长度、泵浦功率等)而定。与此同时,为使整个激光器腔长基本上保持不变(1.8 m 左右),在实验中取 $L_1 + L_2$ 为定值(60 cm 左右)。对每一根掺钛蓝宝石棒的实验结果都是通过改变泵浦功率、双石英棱镜对的色散量得到的最佳结果,表 2 列出了几根掺钛蓝宝石棒的自锁模结果。通过实验我们发现利用国产

掺钛蓝宝石实现的自锁模运转,脉冲序列以及脉冲宽度的稳定性不亚于进口棒,图 3 (a) 列出了表 2 中 1 号棒自锁模脉冲的一组原始相关曲线。从图中看出相关曲线峰值的起伏小于 $\pm 5\%$,每条相关曲线的半宽度基本相同,为 86 fs 左右,对应的脉冲(sech^2)宽度为 58 fs 左右。另外相关曲线的峰值与基线较好地满足了 3:1 的比例,对应的脉冲光谱的中心频率为 780 nm,半宽度为 12 nm,如图 3 (b) 所示。由于掺钛蓝宝石棒的缩短可以减小掺钛蓝宝石激光腔内的

三阶色散量,为进一步压缩腔内脉冲宽度提供了更大的可能性。长度为 5 mm,吸收系数为 $\alpha_{490} = 6.5 \text{ cm}^{-1}$ 的 5 号棒实验结果证实了这一点。图 4 (a), (b) 分别列出了 5 号棒自锁模脉冲的相关曲线和相应的光谱曲线,对应的脉冲宽度为 35 fs。尽管脉冲宽度较窄,但由于 5 号棒的光学均匀性相对于其他四根棒较差,用 5 号棒实现的自锁模脉冲序列稳定性亦差,而且实现自锁模的难度和需要的泵浦功率较高,其输出脉冲序列的平均功率也比较低。

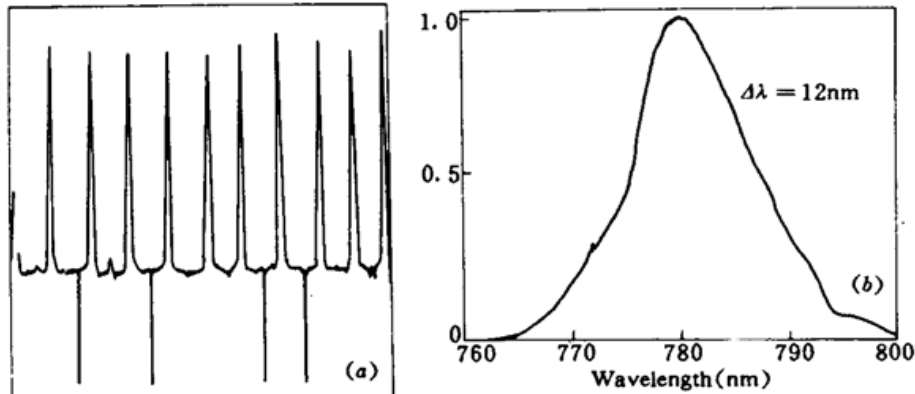


Fig. 3

(a) Autocorrelation traces of the Ti : sapphire crystal 1; (b) spectrum of pulse corresponding wavelength (nm)

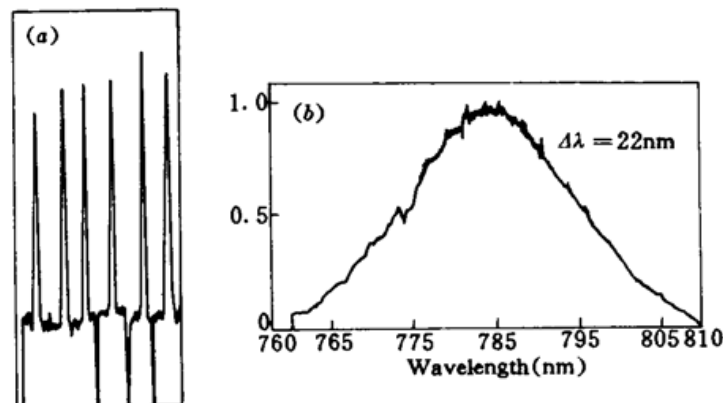


Fig. 4

(a) Autocorrelation traces of the Ti : sapphire crystal 5; (b) spectrum of pulse corresponding wavelength (nm)

Table 2 Experimental results of the self-mode-locked Ti : s lasers (with different Ti : s rods)

No.	Length of Ti : s rods (mm)	Absorption coefficient $\alpha_{490} (\text{cm}^{-1})$	Figure of merit (FOM)	Pump power (W)	Pulse width (fs)	Average power (mW)
1	20	1.9	260	5.4	58	150
2	17.5	1.34~1.68	280	5.0	62	200
3	20.0	1.75	275	5.0	80	150
4	10.8	2.8	285	5.7	60	200
5	5	6.5	150	6.0	35	100

4 对国产掺钛蓝宝石自锁模棒的总结

我们对国产掺钛蓝宝石棒做了大量的自锁模实验研究,从总体上看用上海光机所生产的

棒几乎都能实现自锁模运转,尤其是吸收系数 $\alpha_{490} \leq 2.6 \text{ cm}^{-1}$ 的掺钛蓝宝石棒完全可以与进口掺钛蓝宝石棒相媲美。用吸收系数 $\alpha_{490} \leq 1.9 \text{ cm}^{-1}$ (一般长度应大于或等于 1.8 cm) 的国产棒,非常容易实现激光器的自锁模运转,锁模脉冲序列非常稳定,锁模状态维持时间亦较长,最窄脉冲宽度小于 60 fs。对于吸收系数 α_{490} 为 $1.9 \sim 2.6 \text{ cm}^{-1}$ 的国产棒,在 5.5 W 泵浦功率的情况下,棒长可缩短到 1.1 cm,激光器就可以获得足够高的增益,实现自锁模运转,脉冲序列非常稳定,维持时间很长,最窄脉冲宽度小于 40 fs,但相对而言实现自锁模运转的难度亦较大。吸收系数 α_{490} 大于 3.0 cm^{-1} 的掺钛蓝宝石棒,其棒长可以缩减到 0.6 cm 以下,但是其光学均匀性相对较差因而其实现自锁模运转的难度亦非常大,输出脉冲序列的稳定性亦不如低掺杂浓度的掺钛蓝宝石棒好。由于棒长的缩短,可获得的最窄脉冲宽度亦较窄 ($\leq 35 \text{ fs}$); 另外,在实验中意外地发现,对于我们所使用的国产掺钛蓝宝石棒,其品质因子 FOM 并非愈高愈有利于激光器的自锁模,对相同掺杂浓度(即相同吸收系数 α_{490}) 和相同长度的棒,其品质因子 FOM 值一般在 240~270 之间,更容易实现激光器的自锁模运转,脉冲序列的维持时间相对更长。关于以上实验结果的原因,还有待于对国产掺钛蓝宝石晶体本身作进一步的分析。

参考文献

- 1 Bob Proctor, Frank Wise. Quartz prism sequence for reduction of cubic phase in a mode-locked Ti : Al₂O₃ laser. *Opt. Lett.*, 1992, 17(18) : 1295

Experimental Studies on CW and Self-mode-locked Ti : sapphire Lasers

Dai Jianming Wang Chingyue

(Department of Precision Instrument, Tianjin University, Tianjin 300072)

Zhang Qiang Deng Peizhen

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics Academia Sinica, Shanghai 201800)

Abstract Experiments on CW and self-mode-locked Ti : sapphire lasers are conducted with the crystals produced in Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica (SIOFMAS). According to the results, the quality of the crystals are assessed.

Key words Ti : sapphire crystal, self-mode-locked