

高功率巨脉冲输出可调谐金绿宝石激光器及其倍频研究

张帮星 吴路生 赵梅荣 张海丽
(中国科学院安徽光学精密机械研究所)

提 要

阐述了可调谐金绿宝石激光器中各参量的最佳化,获得了高达 10 MW 的巨脉冲输出和近 600 Å 的调谐范围。用 LiIO_3 晶体倍频,获得的最大功率转换效率为 9%。

一、引 言

金绿宝石激光器是近几年发展起来的新型可调谐固体激光器。它具有调谐范围宽、室温运转、可以脉冲或连续、调 Q 或锁模方式工作^[1,2],低阈值及其随温度升高而降低等优点。它有着广泛的应用前景,因而受到各方面的重视。

金绿宝石的激光性能及其激光器系统已有一些报道^[3]。本文就其泵浦参数,输出耦合等参量的最佳化问题进行了研究,获得了高功率巨脉冲输出。用 LiIO_3 晶体进行倍频,获得了从 0.393~0.368 μm 的近紫外可调谐区。

二、激光器系统的最佳化

众所周知,要使激光器输出最佳,除有高质量的激光介质外,还必须调整器件结构使腔内损耗降至最低,泵浦效率最高和输出耦合最佳。

1. 泵浦参数的选择

主要考虑两点,即灯棒尺寸的匹配和放电波形的改进。实验使用本单位提拉法生长的、c 轴通光的、尺寸为 $\phi 6.8 \times 65 \text{ mm}$ 的金绿宝石棒。为了与其匹配,采用极间距为 60 mm,外径

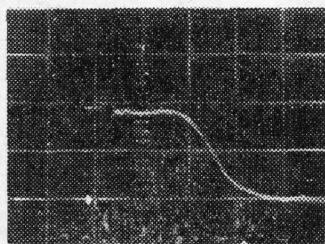


Fig. 1 Discharging waveform of the Xe flash lamp (100 $\mu\text{m}/\text{div}$)

为 $\phi 9$ 的频闪灯泵浦,以提高灯的利用率。并且用小电容 (200 μF),高电压的方法,提高灯的色温,以达到提高泵浦效率的目的。经过这样处理,其阈值比大电容 (2000 μF)、低电压、长脉冲灯 ($\phi 14 \times 150$) 降低 8 倍。

为了使泵浦期间有更多的离子被激活,把纯电容放电电路改为 LC 网络放电^[4]。图 1 为实验中使用的氙灯放电电流波形照片,其形状接近矩形,半宽度为 200 μs ,使用后输出有明显提高。

金绿宝石在高温下有较好的激光性能,为了获得此高温优势,实验采用重复率工作(0.2~1 pps),以达到自然热平衡,从而获得较满意的结果。

2. 输出耦合

众所周知,金绿宝石激光器通常应采用稳定的腔型。我们分别做了单一平腔和单一凹腔的实验(腔长为 40 cm)。证明单一凹腔有较低的阈值。对于曲率半径分别为 500、1000、3000 cm 的各种凹腔,实验发现半径减小时,室温下阈值虽有所降低,但在高温时情况恰好相反,其原因可能是热透镜的影响。在现有条件下,选用 $r=1000$ cm 较合适。

为了获得最佳耦合,我们分别用 R 为 50%、70%、80%、97% 四种输出片进行实验,分别测了泵浦阈值,斜率效率和输出能量,如表 1 所列。可见在我们的条件下,最佳输出耦合为 $R=0.7\sim 0.8$,实验中采用 $R=0.8$ 的输出片。

Table 1 Output parameters under various output reflectivity

parameter	R				notes
	50%	70%	80%	97%	
pumping threshold (J)	164	125	110	77	$C=200\ \mu\text{F}$
output energy (mJ)	100	430	440	107	$E_\lambda=196\text{J}$
slope efficiency (%)	0.28	0.62	0.51	0.1	

由于金绿宝石的增益曲线是近似钟形的,所以输出与波长的关系通常也呈钟形。但是,我们在输出片上采取了一些特殊技术,使输出特性大为改观(如图 2 所示),使之基本上接近矩形,这对应用是非常有用的。

3. 调谐及 Q 开关

常用的调谐元件有棱镜、光栅和双折射滤光片。最简单的是棱镜,成本低、调整简便,但线宽较宽。光栅调谐时,线宽较窄,但衍射损耗大,抗激光损伤能力差,又不太合适。双折射滤光片以三元组合结构(即三块)为最好,既有较窄的线宽,又有较宽的自由光谱区,但加工困难(特别是小于 1 mm 厚的薄片),装调复杂。我们在实验中采用了一块 ZnS 棱镜和一片 3.6 mm 厚的双折射滤光片组合调谐,既克服了单块棱镜线宽较宽的问题,又弥补了单块双折射滤光片自由光谱区较窄的缺点,同样获得较为满意的效果。为了使腔内损耗最低,各元件均以布儒斯特角放置。

Q 开关使用的是 KD^*P 电光开关,密封在装有折射率匹配液的盒内,窗片镀有增透膜,在所含光谱范围内,透过率大于 95%。

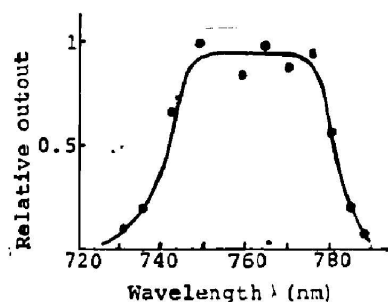


Fig. 2 Tuning curve

三、实验结果

1. 静态输出

器件以 1 pps 的重复率工作,在腔内无任何插入元件时,测得静态泵浦阈值约 90 J。在

输入能量为 196 J 情况下, 最大静态输出能量近 600 mJ, 斜率为 6%, 在腔内放入一块 ZF_3 棱镜, 测得输出波长可以从 720 nm 连续调谐到 780 nm, 调谐范围约 600 Å (如图 2 所示)。此时再插入一块双折射滤光片, 则激光输出线宽压缩为 ~ 8 Å, 调谐范围不变。各种情况下的激光线宽光谱照片如图 3 所示*。

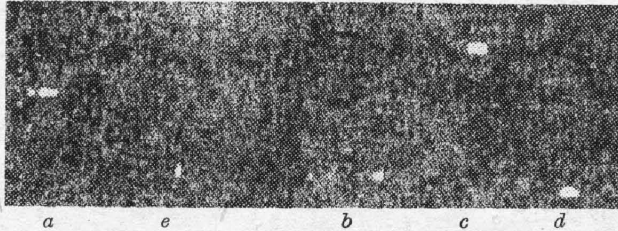


Fig. 3 Photograph of linewidth of the alexandrite laser
a—Free oscillation; b— K_9 prism; c— ZF_3 prism; d—two ZF_3 prisms; e—Combination of a ZF_3 prism and birefringence filter

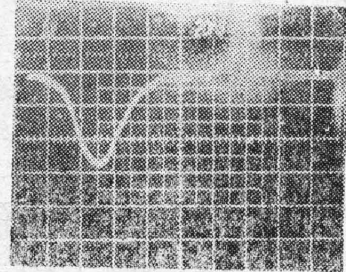


Fig. 4 Photograph of the laser waveform

2. 动态输出

在腔内插入 Q 开关, 获得调 Q 巨脉冲输出。动静比约为 1:2, 用强流管和 300 兆示波器拍得脉宽为 30 ns。图 4 为摄得的激光脉冲波形, 获得的最大动态输出能量为 300 mJ, 所以, 最大峰值功率为 10 MW。动态输出调谐范围与静态相同。表 2 列出了它的详细输出参数。

Table 2 Output parameters of the alexandrite laser

	pumping threshold	output energy (mJ)	slope efficiency	tuning range	pulse width	laser linewidth
free oscillation	90J	~ 600	0.6%			~ 60 Å
tuning output	116J	~ 400	0.46%	~ 600 Å		8 Å
output under Q-switching		~ 300			30 ns	
notes	$C=200 \mu F$	$E_\lambda=196 J$		a prism	E-O Q-switch	

四、二次谐波

1983 年 Barnes 等人第一次报道了在 RDP 晶体中的金绿宝石激光倍频, 并获得了 8% 的转换效率^[4]。理论研究表明, 倍频转换效率:

$$\eta \propto W_1 l^2 \frac{d^2}{n^3} \frac{\sin^2(\Delta k l / 2)}{(\Delta k l / 2)}, \quad (1)$$

可见要获得较高的倍频效率, 除了需要高的基波功率外, 还需要非线性系数较大的倍频晶体。适用于金绿宝石激光倍频的晶体以能在紫外透光的 $LiIO_3$ 晶体和 XDP 型晶体为宜, 而

* 用 W-100 型 1 米光栅光谱仪摄得, 其分辨率为 8 Å/mm。

前者比后者有较大的非线性系数(约大 10 倍), 所以我们选用了 LiIO_3 晶体作为非线性介质。获得的实验结果如下

1. 调谐曲线:

把晶体放在精密角度调整架上, 观察不同波长的倍频输出情况, 测得基波波长对匹配角的关系, 如图 5 所示, 可见实验点和理论曲线符合很好。

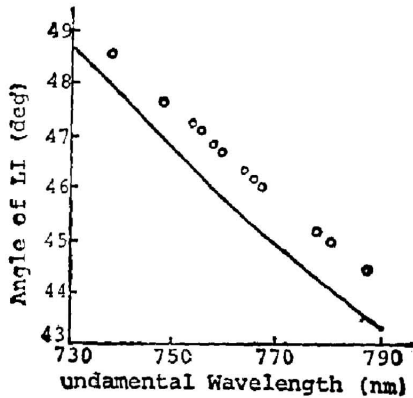


Fig. 5 Match angle of Li crystal vs fundamental wavelength

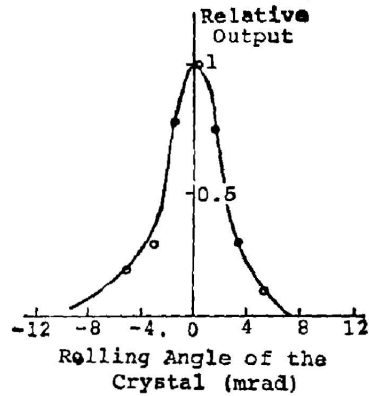


Fig. 6 Angle-matching curve of the LiIO_3 crystal

2. 匹配曲线

固定基波波长, 转动晶体, 测得不同角度时的倍频光强度如图 6 所示。其半宽约 4.8 mrad, 与理论计算值 0.4 mrad 相差甚远。这种差异主要来自基波光的光束发散角。我们的基波半极大带宽约 4 \AA , 和调谐曲线拟合, 相当于 0.6 mrad, 而基波的发散角为 4 mrad, 由此可见, 角度调谐曲线的宽度受发散角制约。

3. 转换效率

转换效率是在 760 nm 处测量的, 在基波能量为 49 mJ 时, 测得紫外光输出 0.5 mJ, 而基波是用 ZWB-1 型滤光玻璃滤除的。该片在 380 nm 处透过率为 15%, 得到能量转换效率为 6%。测得谐波的脉宽为 20 ns, 这样得到的功率转换效率为 9%。

由于受棒的质量的限制, 器件只能多模运转, 发散角较大, 这当然也是影响转换效率的一个重要因素。随着金绿宝石晶体质量的不断提高, 其激光器的性能也将有所改善, 获得大于 20% 的倍频转换效率是完全可能的。

参 考 文 献

- [1] *Laser Focus* (Buyers' Guide), 1984, 99.
- [2] Jeff Hecht; *Laser & Applications*, 1984, 3, No. 9 (Sep), 77.
- [3] J. C. Walling, O. G. Peterson et al.; *IEEE J. Quant. Electron.*, 1980, QE-16, No. 12 (Dec), 1302.
- [4] N. P. Barnes et al.; *IEEE J. Quant. Electron.*, 1983, QE-19, No. 9 (Sep), 1437.

High power tunable alexandrite laser with giant pulse output and its SHG

ZHANG BANGXING, WU LUSHEN, ZHAO MEIRONG AND ZHANG HALL
(*Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Hefei*)

(Received 22 October 1985; revised 7 December 1985)

Abstract

The first tunable Q-switch alexandrite laser in China with high power and giant pulse output is reported in this paper. The tunable range of 730~790 nm, linewidth of 0.8 nm, pulse width of 30 ns and peak power of 10 MW have been achieved. Using a LiIO_3 crystal as frequency doubler, the SHG tunable range of 368~393 nm and power conversion efficiency of 9% have been obtained.