

# 溴化亚铜激光脉宽压缩研究

朱 雷 钱列加 张桂燕 宋秀冬 林福成

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

## 提 要

本文首次报道了利用注入放大方法将溴化亚铜激光 578 nm 谱线压缩至接近傅里叶变换极限脉宽, 并研究了其输出特性。

关键词: 注入放大, 傅里叶变换极限脉宽。

## 一、引 言

超短脉冲对非线性光学、光谱学以及光化学研究起着非常重要的作用。对一些气体和固体激光器, 例如, XeCl 准分子, YAG 等等都是采用主动、被动锁模、注入锁模方式<sup>[1]</sup>、腔外加饱和吸收体的脉冲压缩等方法来获取超短脉冲<sup>[2]</sup>。近年来由于溴化亚铜激光的高重复率及高增益等特性, 其用途日益广泛, 尤其是它的可见光谱区的两条谱线 (511 nm 和 578 nm) 对生物光学研究和光谱学研究所需的泵浦源非常有用。将溴化亚铜激光的脉宽压缩不仅在低功率运转下的应用是一个很好的光源, 同样也可以作为高功率系统振荡器。传统的锁模技术对溴化亚铜激光很难产生 100% 的调制脉冲串或亚毫微秒的脉冲。因为它的增益时间只相当于光子在腔内几次往返时间, 这种快速建立振荡, 加以较弱的调制率将会导致不完全的锁模<sup>[3]</sup>。溴化亚铜激光的高增益使得在仅用主动锁模技术时, 只能在略高于激光阈值时产生锁模脉冲串<sup>[4]</sup>。尽管可以通过改变溴化亚铜激光管内等离子体的条件和利用腔的结构使其激光脉宽变化, 但至今未见到低于 7 ns 的报道\*。在实验上通过改变一些条件, 可以观测到由于自锁模产生的锁模脉冲串<sup>[5]</sup>, 由于此时激光运转在阈值附近, 其输出不稳, 很难实用化。在本文报道中, 作者利用溴化亚铜激光绿光 (511 nm) 泵浦的超短腔产生的超短脉冲<sup>[6]</sup>, 再注入同一台溴化亚铜激光器中, 获得了平均功率为 50 mW、且接近傅里叶变换极限的 578 nm 黄光输出。

## 二、实验及结果

实验中使用的溴化亚铜激光脉宽为 25 ns, 重复率可从 10 kHz~20 kHz 调节、溴化亚铜激光的激活区长 50 cm、光束直径约为 2 cm, 放电管一般充有 15 Torr 的氖气, 为使激光输出的截面分布上不出现中心“凹陷”, 管中常充有一定量的氢气<sup>[7]</sup>。实验装置如图 1 所示, 溴化亚铜激光振荡腔采用交叉振荡放大方式, 振荡腔由镀铝膜平镜  $R_1$ 、选频棱镜以及平板玻

收稿日期: 1990年1月8日; 收到修改稿日期: 1990年4月24日

\* 这一数值与激光上能级寿命相当。

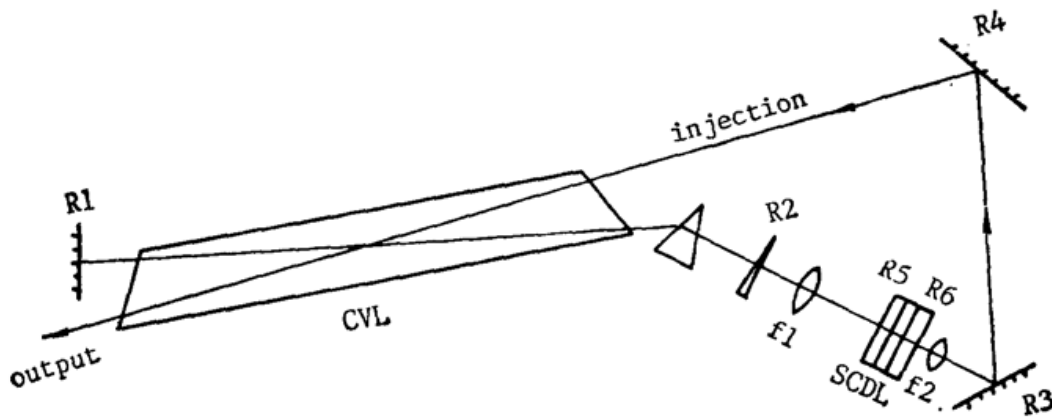


Fig. 1 Schematic diagram of the experiment

璃输出镜  $R_2$  组成, 细致地调节每一个光学器件以避免不利的反射光、散射光和寄生振荡的形成。输出的绿光(511 nm)被中性衰减片减弱后泵浦超短腔染料激光器, 实验采用的超短腔染料激光, 它由两块相距约 0.18 mm 的镀膜镜片  $R_5$  和  $R_6$  组成,  $R_5$  对 511 nm 高透而对 578 nm 全反、 $R_6$  对 578 nm 反射率为 60%。Rh6G 和一定量的 DODCI 饱和吸收体的混合染料在镜间快速流动, 根据超短腔染料激光中 DODCI 浓度和泵浦速率对其输出脉宽的影响<sup>[6]</sup>, 通过对其有效的控制使脉宽在一定范围内变化。超短腔染料激光输出的超短脉冲光斑直径约 4 mm, 由  $R_3$ 、 $R_4$  全反射引入溴化亚铜激光管中作为待放大的注入光。溴化亚铜激光输出的绿光比黄光提前约 10 ns。短脉冲染料激光进入溴化亚铜管子前累积所经时间约 5 ns, 由于溴化铜激光具有 578 nm 黄光增益, 其粒子数反转的积累将促成注入短脉冲的受激放大。这里利用溴化铜激光增益区放大, 其效果对其增益特性依赖较强。实验测量了在现在状态下, 由  $R_1$ 、 $R_2$  组成的溴化亚铜激光振荡腔的绿光和黄光输出随激光增益区域平均

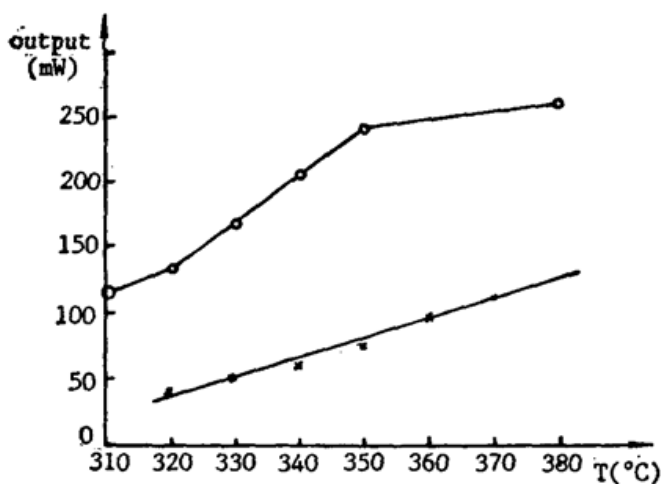


Fig. 2 The dependence of output power on the temperature of the laser tube.

○—Green light (511 nm)  
+—Yellow light (578 nm)

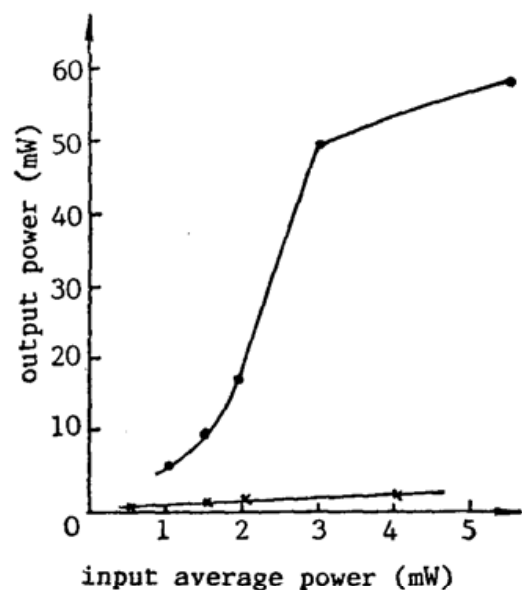


Fig. 3 Amplified output power vs input power.

• —at the temperature of 380°C  
+ —at the temperature of 320°C

温度\*的变化关系,如图2所示,若耗散功率大小知道,外壁温度就可以估计出来<sup>[8]</sup>,从图2中可知,绿光、黄光在温度较低时(320°C)增益很小,当温度升高时(380°C)增益较大,这对小注入信号的放大效果应该明显不同,实验中也发现当保持绿光泵浦功率一样情况下,低温时黄光放大不明显,而在高温时放大的功率可达到50 mW。以上温度由XCZ-101型热偶计测量,激光输出功率由SD2490数字激光功率计测量。



(a)

(b)

Fig. 4

当激光管温度分别为380°C和320°C时测量了注入与放大功率之间关系,如图3所示。在激光高增益情况下(380°C),曲线分两部分,小信号注入时放大输出递增呈指数形式;在较强注入情况下,输出逐渐趋于饱和,在低增益情况下,其放大输出呈一种缓慢上升趋势,这种状态对放大显然不利。这里的注入功率是指从超短腔输出经准直后整个光束的平均功率,它的光谱宽度近10 nm,包含有18个分离很好的纵模,其间隔约0.55 nm,单纵模的宽度约0.34 nm,由JOBIN YVON HR S<sub>2</sub>型单色仪联接Hamamatsu 1 P 28光电倍增管测量,用溴化亚铜激光输出对这台单色仪标定后,可以看出,578 nm谱线位于其中一个纵模宽度内<sup>[9]</sup>,同时分析了放大后的短脉冲激光光谱,发现仅有一条578 nm溴化亚铜激光特征谱线,探测不到其它谱线本底;而且在没有注入光时,也几乎没有溴化亚铜激光578 nm黄光的放大自发辐射(ASE)本底,这和斜向注入方式有关,用一个厚为4 mm的法布里-珀罗摄得其干涉花样,如图4(a)所示,一边用半透的中性衰减法遮挡以求其半宽度。计算出其谱线宽度约为0.08 Å,同时摄得的溴化亚铜激光578 nm谱线示于图4(b)作比较算出其谱线宽度亦为约0.08 Å,其结果与Qian等人的结果基本一致<sup>[8]</sup>,由于溴化亚铜激光工作状态不一样也会影响其线宽大小。非常有趣的是在高增益时放大输出的578 nm谱线几乎没有任何本底,这说明在此情况下,溴化亚铜增益介质象一个非常好的“滤波放大器”,宽带注入光的频谱经其非线性过程压制,仅通过其小于10 GHz的特征增益谱线,并将其放大,由此可见,图3中输出功率仅仅为578 nm单线,而输入功率则是接近10 nm宽带谱,因而两者之比并不能代表实际窄线宽短脉冲黄光的放大倍数,结合图4从平均观点对放大倍数的估计约为10<sup>4</sup>(对50 mW放大输出来讲),其结果与Lin在类似条件下测量溴化亚铜激光对一般小信号放大的结果相近<sup>[10]</sup>。

实验中,由于测量条件的限制,无法实时监测脉冲宽度和脉冲波形,假设脉冲

\* 这里的温度指石英管外壁的温度。

为高斯型, 实验采用非共线无本底二次谐波的方法对脉宽测量, 当注入光为 95 ps 脉宽, 放大输出为 113 ps, 误差在如图 5 所示。激光介质放电的不稳定性导致功率输出抖动, 并引起激光横模变化以及放电通道畸变, 导致放大后光脉冲强度的不稳定, 这样的测量误差在 15% 左右。由于注入光和放大光脉冲宽度不是同时监测, 采用多次测量并取保守的误差作为补偿。当波形为严格高斯型时, 傅里叶变换极限应该表达为  $\Delta t \cdot \Delta \nu \sim 0.44$ , 在本实验的测量中得到  $\Delta t \cdot \Delta \nu \sim 0.8$ , 这个乘积和傅里叶变换极限有一定差距, 其原因作者认为是因为在多模振荡的超短腔染料激光器输出中, 其脉冲波形已不再是严格的高斯型, 另外, 通过 CuBr 介质长程放大也会引起脉冲很大畸变, 在这种情况下,  $\Delta t \cdot \Delta \nu$  乘积必定比严格的高斯型大, 因此, 可以说以上实验结果已经接近傅里叶变换极限。

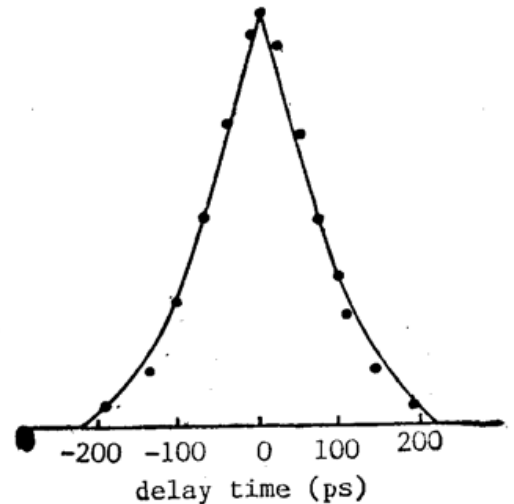


Fig. 5 Autocorrelation curve of the amplified 578 nm spectral line of the copper bromide laser. ( $P_{\text{out}}=50 \text{ mW}$ )

### 三、讨 论

在图 1 的实验方案中, 假定溴化亚铜振荡腔输出仅为基本模, 可以估计出现有条件下黄光放大的上限。溴化亚铜交叉振荡腔输出光斑直径为 7mm, 其模体积近似为:  $l \cdot \pi R^2 / \cos \frac{1}{2} \theta \approx 19 \text{ cm}^3$ , 其中  $l$  为激光增益区长度,  $R$  为光斑半径,  $\theta$  为振荡激光和放大染料激光之夹角; 这时黄光最大输出 127 mW, 则单位体积中输出为  $6.6 \text{ mW/cm}^3$ , 同样算出放大的黄光增益体积约为  $9.8 \text{ cm}^3$ , 于是最大输出应该有 65 mW, 这与图 3 实际测量情况相比是一致的。说明此增益介质粒子反转数已被充分利用。当然, 注入与放大脉冲在时间与空间上的进一步最佳匹配将会完善放大作用。一般来说, 铜蒸汽激光增益介质在功率密度为  $8.4 \mu\text{J/cm}^3 \cdot \text{pulse}$  下就处于饱和<sup>[11]</sup>, 在 4 kHz 重复率下平均功率为  $33.6 \text{ mW/cm}^3$ 。如果在此状态下注入短脉冲, 可望平均功率达 329 mW, 这将是很多领域中有实用价值的光源。

### 四、总 结

本文利用溴化亚铜激光交叉振荡泵浦超短腔染料激光的简单系统, 用注入放大方法将溴化亚铜激光 578 nm 黄光压缩至接近傅里叶变换极限脉宽, 并详细分析了其输出特性。

## 参 考 文 献

- [1] G. Reksten *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1981, **38**, No. 6 (Apr. 1), 513~515.  
[2] T. Varghese; *Appl. Phys. Lett.*, 1982, **41**, No. 8 (15 Oct), 684~686.  
[3] D. J. Knizenga *et al.* *Opt. Commun.*, 1973, **9**, No. 3 (Nov), 221~226.  
[4] 张桂燕等;《光学学报》,1986, **6**, No. 2 (Feb), 110~113.  
[5] T. S. Fahlen; *IEEE J. Quant. Electron.*, 1977, **QE-13**, No. 7 (Jul), 546~547.  
[6] 朱雷等;《光学学报》,1990, **10**, No 10 (Oct), 869~875.  
[7] D. N. Astadjov *et al.*; *Opt. Commun.*, 1985, **56**, No. 4 (15 Dec), 279~282.  
[8] M. A. Kazaryan *et al.*; *Soviet J. Quant. Electron.*, 1980, **10**, No. 3 (Mar), 328~333.  
[9] J. Tenebaum *et al.*; *Opt. Commun.*, 1980, **32**, No. 3 (Mar), 473~477.  
[10] K. I. Zemskov *et al.*; *Soviet J. Quant. Electron.*, 1979, **9**, No. 2 (Feb), 235~237.  
[11] I. Smilanski *et al.*; *Opt. Commun.*, 1978, **25**, No. 1 (Apr), 79~82.

### Investigation on the pulse compression of copper bromide laser

ZHU LEI, QIAN LIEJIA, ZHANG GUIYAN,

SONG XIUDONG AND LIN FUCHENG

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

(Received 8 January 1990; revised 24 April 1990)

#### Abstract

This paper reports for the first time that the pulsewidth of copper bromide laser has been compressed to be almost Fourier transform limit by injection amplification. The output characteristics are investigated in detail.

**Key words:** injection amplification; Fourier transform limit pulsewidth.