

# 重复率 YAG 激光脉冲同步泵浦染料激光器

赵庆春 董景元 钱林兴 何慧娟

(中国科学院上海光机所)

**提要:** 用热稳定腔主被动锁模重复率脉冲 YAG 激光器的倍频光, 同步泵浦 R6G 染料激光器。获得平均功率 14mW, 单脉冲峰值功率大于 5 MW, 单脉冲宽度 28 ps, 脉冲列重复率为 20 pps。可调范围为 555.0 至 586.5 nm, 谱线宽度约 0.1 nm, 最窄谱宽为 0.04 nm, 转换效率 11% 的可调谐激光。

## Dye laser synchronously pumped by repetitive pulse YAG laser with an average power of 1.4 mW

Zhao Qingchun, Dong Jingyuan, Qian Linxing, He Huijuan

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

**Abstract:** Frequency-doubled light from a repetitive pulse and mode-locked YAG laser of thermally stable cavity was used to synchronously pump a R-6G dye laser. Experimental results obtained are as follows: average power 14 mW, peak power of single pulse over 5 MW, single pulse width 28 ps, repetition rate of pulse train 20 pps, tunable range from 555.0 nm to 586.5 nm, spectral linewidth 0.1 nm, conversion efficiency 11%; when the linewidth is 0.04 nm, the conversion efficiency is 8%.

### 一、引言

在非线性光学, 特别是微微秒光谱研究中, 不仅需要波长可调的超短脉冲激光, 往往还要求较高的脉冲峰值功率。用脉冲锁模 Nd 激光(YAG 或玻璃激光)同步泵浦的染料激光器比连续同步泵浦的染料激光器更容易获得高功率的脉冲, 然而脉冲锁模 Nd 激光器泵浦的染料激光平均输出功率都比较低<sup>[1,2]</sup>。我们研究了高重复率脉冲锁模 YAG

激光器同步泵浦的染料激光器, 既得到高峰值功率, 又能提高平均功率。

### 二、激光器结构

图 1 上部为主被动锁模 YAG 激光器, 稳定输出 1.064 μm 激光, 在每秒 20 次的重复频率下, 锁模脉冲列能量起伏约 ±4%。经一级 YAG 放大后, 由一块第二类匹配的 KDP 晶体倍频成 0.532 μm 的绿光, 绿光每

收稿日期: 1985 年 7 月 6 日。

个脉冲列的能量为 6.5 mJ, 单脉冲宽度为 40 ps, 相互之间的时间间隔为 10 ns. 下部为染料激光器部分, 采用非共线纵向同步泵浦工作方式, 染料激光方向与泵浦光角度小于 2°. 间隔为  $\Delta t_P = 10$  ns 的一系列  $0.532 \mu\text{m}$  超短脉冲使 R6G 产生粒子数反转并发射荧光, 沿激光腔轴向的荧光在腔内往返一次的时间为  $\Delta t_D$ , 当  $\Delta t_D = \Delta t_P$  时, 这些荧光在腔内往返过程中就不断取得增益。为满足  $\Delta t_D = \Delta t_P$ , 要求  $L_D = L_P$ , 或者  $L_D = \frac{n}{m} L_P$ , 这里的  $m$ 、 $n$  为正整数,  $L_D$ 、 $L_P$  分别为染料激光腔和 YAG 激光腔的光学长度。我们实验中采用  $L_D = 1/2 L_P$ 。

$0.532 \mu\text{m}$  绿光经透镜  $L$  ( $f=2\text{m}$ ) 会聚在染料盒  $D_2$  上 (盒处在焦前)。 $D_2$  靠近输出腔镜并按布儒斯特角方向放置。R6G 的乙醇溶液由磁泵使其在盒内流动。在激光腔轴方向的 R6G 溶液厚度为 14 mm。

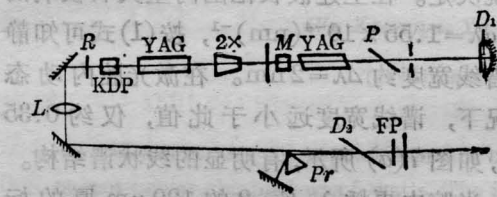


图 1 锁模 YAG 激光同步泵浦染料激光器

$D_1$ ——被动锁模的五甲川染料盒及后腔镜;  $P$ ——偏振膜板;  $M$ ——声光调制器;  $2X$ ——扩束器 (2 倍);  $R$ —— $0.532 \mu\text{m}$  的  $45^\circ$  旋光片;  $L$ ——会聚透镜 ( $f=2\text{m}$ );  $D_2$ ——R6G 流动染料盒;  $Pr$ ——重火石玻璃色散棱镜;  $FP$ —— $F=5$  的  $100 \mu\text{m}$  标准具

染料激光腔为平行平面腔, 全反射腔镜为宽带高反射膜<sup>[3]</sup>。输出平面腔镜的透过率曲线如图 2 所示。

腔内色散元件为一块重火石玻璃棱镜, 它产生的静态光谱宽度<sup>[4]</sup>为

$$\Delta\lambda = \frac{\Delta\alpha}{4dn/d\lambda} \quad (1)$$

其中  $\Delta\alpha$  为光束发散角,  $dn/d\lambda$  为棱镜的色散值。为了进一步压缩染料激光的输出谱线宽度, 又在腔内靠近输出腔镜处加一个  $120 \mu\text{m}$  厚的石英玻璃标准具, 细度为 2, 插入后激光

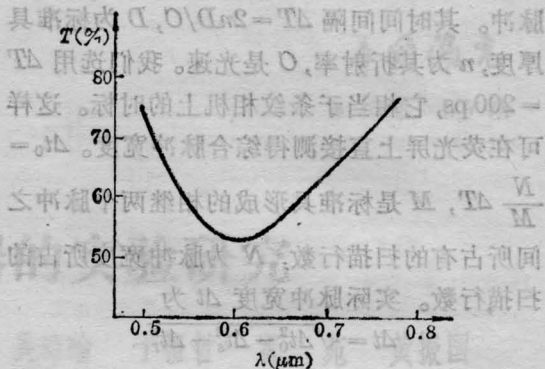


图 2 输出腔镜透过率曲线

输出并不减弱。若改用细度  $F=5$  的  $100 \mu\text{m}$  标准具, 激光输出约为  $F=2$  标准具时的 70%, 光谱宽度也进一步变窄。

### 三、激光特性

染料激光的输出特性, 如每个脉冲列的能量, 脉冲列中单脉冲的宽度, 光谱调谐范围等都依赖于腔长匹配状态, 下述测量都是在输出能量最大的腔长匹配状态下, 在输出为最强的波长上测量的。

#### 1. 激光脉冲宽度

激光脉冲宽度是用中国科学院西安光机所研制的 BWS-5K 型条纹相机测量的。测



图 3 BWS-5K 型条纹相机测量激光脉冲宽度光路图

$BS$ ——分束板;  $T$ ——光强衰减器;  $FP$ ——光学标准具;  $OE$ ——强流光电管

量时使用时间分辨率为 5 ps 一档。测量光路如图 3 所示。

标准具  $F=5$  是为了使脉冲列中每个脉冲都分成强度递减、时间间隔相等的一系列

脉冲。其时间间隔  $\Delta T = 2nD/C$ ,  $D$  为标准具厚度,  $n$  为其折射率,  $C$  是光速。我们选用  $\Delta T = 200$  ps, 它相当于条纹相机上的时标。这样可在荧光屏上直接测得综合脉冲宽度。  $\Delta t_0 = \frac{N}{M} \Delta T$ ,  $M$  是标准具形成的相继两个脉冲之间所占有的扫描行数,  $N$  为脉冲宽度所占的扫描行数。实际脉冲宽度  $\Delta t$  为

$$\Delta t = \sqrt{\Delta t_0^2 - \Delta t_s^2 - \Delta t_r^2}$$

式中,  $\Delta t_s$  为条纹相机狭缝所占时间,  $\Delta t_r$  为其分辨时间。

图 4 为绘图仪画出的染料激光脉冲波形, 相邻脉冲之间的间隔为 200 ps (由 F-P 形成), 单脉冲宽度为 28 ps。

### 2. 染料激光的方向性、能量、功率、效率

用测量远场光斑大小的方法, 测得激光输出全部集中在 1.3 mrad 的方向角内。

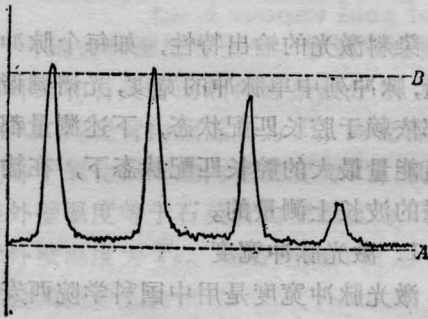


图 4 条纹相机测得的染料激光脉冲波形

随着腔长匹配状态的改变, 输出强度也随着改变。每个脉冲列的能量  $E$  随着腔长失配量  $\Delta l$  的变化如图 5 所示。可见, 在输出最强波长处, 腔长失配  $\pm 6$  mm 时仍有激光输出。输出最强处每个脉冲列的能量为 0.71 mJ。因为脉冲列重复率为每秒 20 次, 因此该器件的平均输出功率大于 14 mW。从脉冲列的能量及单脉冲的个数和幅度可估算出最大单脉冲峰值功率大于 5 MW。

0.532  $\mu\text{m}$  激光转换成 0.56  $\mu\text{m}$  染料激光的转换效率与激光腔的波长选择特性有关, 当染料激光谱线宽度为 0.1 nm 时, 转换效率 11%。线宽 0.04 nm 时, 转换效率 8%。

### 3. 光谱特性

用 31 WII 型 2 m 平面光栅摄谱仪测量, 用汞光谱灯的 546.1 nm、577.0 nm 和 579.0 nm 三条谱线标定波长。R6G 激光波长调谐曲线如图 6 所示, 范围 555.0 nm 至 586.5 nm, 峰值在 565.5 nm 处。

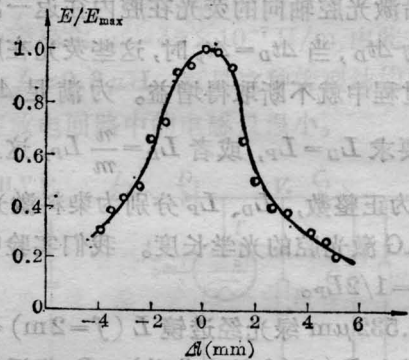


图 5 每个脉冲列的能量  $E$  随腔长失配量  $\Delta l$  的变化曲线

当不加标准具时, 谱线宽度主要由色散棱镜决定。在上述波长范围内重火石玻璃的  $dn/d\lambda = 1.55 \times 10^{-4} (\text{nm})^{-1}$ , 按 (1) 式可知静态谱线宽度约  $\Delta\lambda = 2$  nm。在激光腔内动态情况下, 谱线宽度远小于此值, 仅约 0.35 nm, 如图 7(a) 所示, 有明显的线状谱结构。

当腔内再插入  $F=2$  的 120  $\mu\text{m}$  厚的标准具后, 谱线被压窄到约 0.1 nm, 如图 7(b) 所示。若改用  $F=5$  的 100  $\mu\text{m}$  标准具时, 谱宽从 0.35 nm 压窄到 0.04 nm, 如图 7(c) 所

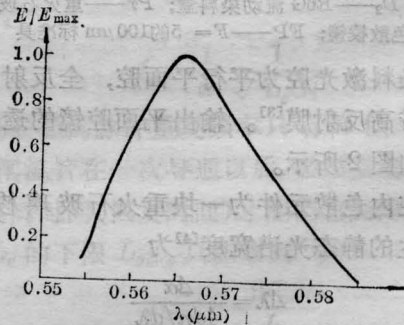


图 6 R6G 染料激光调谐曲线

示。对于波长为 0.56  $\mu\text{m}$  的 28 ps 脉冲, 其变换极限谱宽为 0.037 nm, 可见用一块  $F=$

(下转第 427 页)

太浅,可利用的价值不大。

为了能更具体地了解采用象散光学系统所摄制的象平面全息图的再现现象特性,我们在表中列出了 $D=1.20$ 时由数值计算得到的各项具体数据,同时以 $f$ 和 $\text{cm}$ 二种单位标出。实际上,在 $D=1.20$ 附近如 $D=1.10\sim 1.30$ 的范围内都能获得清晰的、视感无畸变的黑白色再现现象。图4是我们取参量 $f=9\text{cm}$ , $f_1=-27\text{cm}$ , $L=3.33(30\text{cm})$ , $D=1.33(12\text{cm})$ , $d_V=1.81(16.3\text{cm})$ 和 $d_H=1.61(14.5\text{cm})$ 时所摄象平面全息图的白光再现现象的照片。照明光源用 $6\text{V } 30\text{W}$ 灯泡,灯丝线度约 $2\text{mm}$ 。象的中心平面在全息图的后方约 $2\text{cm}$ 。

也对 $f=9\text{cm}$ , $f_1=-18\text{cm}$ 和 $f_1=-9\text{cm}$ 进行了计算。与上述情况相类似,最佳值也出现在 $D=1.20$ 左右,象深可达 $3\sim 6\text{cm}$ 。



图4 白光再现现象照片

### 参 考 文 献

- [1] L. Rosen; *Appl. Phys. Lett.*, 1966, **9**, No. 9, 337.
- [2] G. W. Stroke; *Phys. Lett.*, 1966, **23**, No. 5, 325.
- [3] F. B. Rotz, A. A. Friesem; *Appl. Phys. Lett.* 1966, **8**, No. 6, 146.
- [4] K. Bazargan, M. R. B. Forshow; *Opt. Commun.*, 1980, **32**, No. 1, 45.
- [5] E. B. Champagne; *J. Opt. Soc. Amer.*, 1967, **57**, No. 1, 51.
- [6] 徐镇初,刘守;《激光》,1981, **8**, No. 10, 8.

(上接第416页)

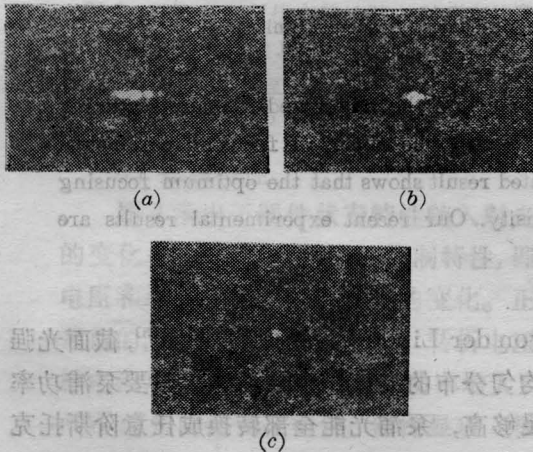


图7 染料激光光谱照片

(a) 腔内仅有棱镜时的光谱; (b) 附加 $F=2$ 的 $120\mu\text{m}$ 标准具时的光谱; (c) 改用 $F=5$ 的 $100\mu\text{m}$ 的标准具后的光谱

5的 $100\mu\text{m}$ 标准具与棱镜一起所得到的谱宽已接近变换极限带宽。

参加本工作的还有李永春、顾圣如和赵隆兴同志。

### 参 考 文 献

- [1] D. J. Bradley *et al.*; *Phys. Lett.*, 1969, **30A**, 535.
- [2] T. Sizer *et al.*; *Opt. Commun.*, 1981, **37**, 207.
- [3] Shunji Kishida, Tsuyoshi Yamane; *Opt. Commun.*, 1976, **18**, 19.
- [4] 何慧娟等;《中国激光》,1983, **10**, 765.
- [5] 金林法等;《中国激光》,1984, **11**, 54.
- [6] F. P. Schäfer; *Dye Laser*, New York, 1973.