

闪光灯激励的染料激光振荡-放大系统

许祖彦 邓道群 郭东升 李秀芳 邓鲁 蔡妙全

(中国科学院物理所)

提要: 我们研制了一台闪光灯激励的染料激光器, 由一具窄带振荡器和一级行波放大器组成。采用了气压调谐, 使用 R6G 染料, 脉冲功率超过 30 千瓦, 线宽 $0.01 \sim 0.05$ 埃, 调谐精度优于 0.004 埃。

A flashlamp pumped dye laser system with oscillator and amplifier

Xu Zuyan, Deng Daoqun, Guo Dongsheng, Li Xiufang, Deng Lu, Cai Miaoquan

(Institute of Physics, Academia Sinica)

Abstract: A flashlamp pumped dye laser with an oscillator and an amplifier is described. In this system, a nondispersive Brewster prism expander, a pressure tuning device and travelling wave amplifier are used. The overvoltage synchronously triggered spark gap is used in the travelling wave amplifier. By using Rh6G, we obtained: peak power over 30 kW, linewidths $0.01 \sim 0.05 \text{ \AA}$ and tuning accuracy better than 0.004 \AA .

激光系统光路如图 1, 振荡器原理和基本特性已在文献[1]中描述, 为调整方便使用稳定起见, 将高衍射效率光栅改用普通复制光栅, 腔长加长到 1 米以上, 以提高单横模输出的稳定性。波长粗调使用消回差光栅转台调节光栅转角来完成, 精度约为 $1.95 \text{ \AA}/\text{格}$ 。频率微调使用工业纯氮, 用针阀控制气压室内氮气气压 $0 \sim 760$ 托, 可调频约 1.5 \AA , 精度约为 $0.0034 \text{ \AA}/\text{格}$ 。

放大器激光头和振荡器相同, 仅长度由 100 毫米加长到 150 毫米。因振荡器窄带运转每脉冲能输出约 10 毫焦耳, 故放大器选用行波放大方式, 以求获得宽的可调谐宽度。

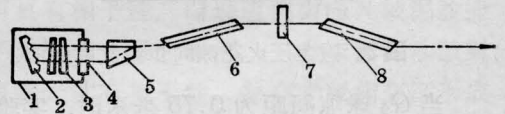


图 1 激光系统光路图

1—气压室, 2—光栅, 3—标准具, 4—窗口,
5—扩束器, 6—振荡器激光头, 7—振荡器
输出镜, 8—放大器激光头

为获得高而稳定的放大系数, 并尽量降低荧光和超辐射噪声, 脉冲激光放大器和振荡器之间有较高的同步要求, 闪光灯激励的染料激光脉宽是微秒级, 其同步精度应在 100 毫微秒以上。欲达此同步精度, 振荡器

收稿日期: 1983 年 2 月 1 日。

和放大器通常都用大型氢闸流管作放电开关,但系统的体积大,造价高,寿命有限。由于火花隙同步性能差,不可能直接代替氢闸流管,有的作者^[2]将振荡器和放大器闪光灯通过一个火花隙放电,用引线长度控制延时。此种方法虽然能解决同步和延时问题,但是闪光灯不能施加预电离,原因是两组闪光灯起燃电压不可能完全相同,一组闪光灯起燃时产生的反极性脉冲电压将导致另一组闪光灯熄灭,这种互相干扰使闪光灯不能建立稳定的直流预电离。图2是我们发展的过电压火花隙同步激发电源, FL_1 和 FL_2 分别为振荡器和放大器的闪光灯, C_1 和 C_2 是主放电电感电容器, 电容量分别是 0.2 微法和 0.3 微法, 耐压均为 30 千伏。 G_1 是主放电火花隙, G_2 是隔离延时火花隙, 调节 G_2 的球隙间距即可控制 FL_2 相对 FL_1 起燃延时。 $D_1 \sim D_6$ 为高压硅堆, 闪光灯直流预电离电流通过 D_3 和 D_4 施加。

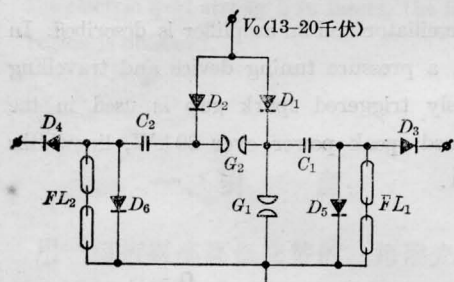


图2 过电压火花隙同步激发电路

当 G_2 球隙间距为 0.75 毫米时, 实验测得足以隔离 FL_1 、 FL_2 预燃时刻产生的反极性脉冲电压 (不大于 10 千伏)。使用宽带双踪示波器测量 FL_1 、 FL_2 主放电流脉冲, 当运转电压 $V_0 > 14$ 千伏时, 两个电流脉冲稳定地同步在 100 毫微秒以内。激光实验表明, G_2 对激光效率的影响不大于 6%。

我们用国产 R6G 激光染料乙醇溶液 (浓度 $2.5 \times 10^{-4} M$) 试验激光系统行波放大运转特性。图3为放大器的输入输出关系。激光线宽与泵强有关, 当运转电压 V_0 从 13

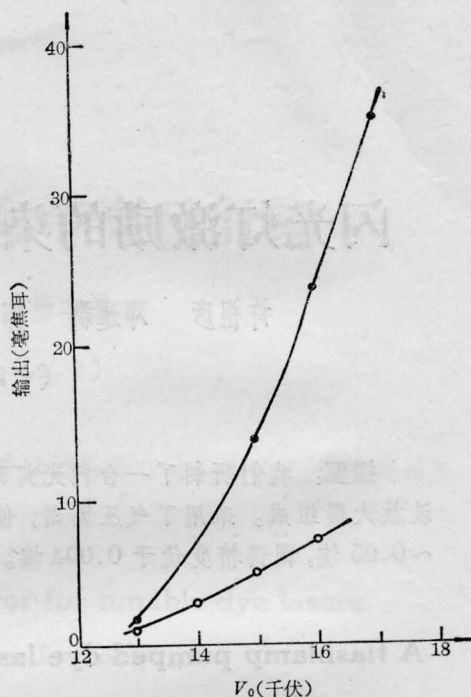


图3 放大器输入输出关系

●—放大器输出, ○—振荡器输出

千伏增至 18 千伏时, 测得激光线宽约为 $0.01 \sim 0.05 \text{ \AA}$ 。在强泵浦条件下, 测得放大器输出脉冲半宽度约 1 微秒。因此本激光系统在 R6G 激光染料 (峰值波长约为 5900 \AA 处) 可达到 $7 \times 10^5 \text{ 瓦/\AA}$ 以上的光谱亮度。

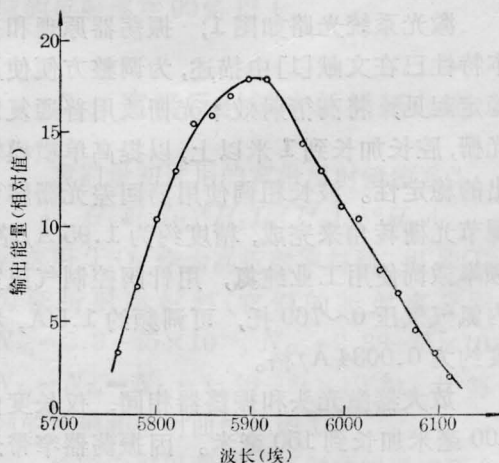


图4 R6G 的可调谐范围

(下转第3页)

如果(16)式被满足, 则解 $u(r, \theta) = R(r)e^{jN\theta}$ 中与 θ 有关的部分将在(13)式中消去。下面定义几个物理量:

$$\text{带宽: } \Omega = kr_0/b \quad (17)$$

$$\text{空间带宽乘积: } c = r_0\Omega = kr_0^2/b \quad (18)$$

$$\text{新变量: } w = kr_2/b \quad (19)$$

整理后(16)式成为:

$$\int_0^{r_0} r_1 J_N(wr_1) R(r_1) dr_1 = (r_0/\Omega) j^{-(N+1)} e^{jkb} \sigma R(wr_0/\Omega) \quad (20)$$

比较(20)式和圆扁长函数的定义式^[1]有下列对应关系:

$$R(r) = \phi_{N,n}(r) \quad (21)$$

$$\text{和 } \sigma \equiv j^{2n+N+1} e^{-jkb} \lambda \frac{1}{\lambda_{N,n}} \quad (22)$$

则模式的解为: $u_{N,n}(r, \theta) = \phi_{N,n}(r) e^{jN\theta}$

从(22)式可看出, 每次反射的衍射损耗恰是 $\lambda_{N,n}^{\frac{1}{2}}$, 是空间带宽乘积 c 的函数。最小衍射损耗对应着 $\lambda_{00}^{\frac{1}{2}}$ 的模式 $u_{00}(r, \theta)$ 。对于

$c \geq 10$ 的值, $\phi_{N,n}(r)$ 的表达式表明激光模式是拉盖尔多项式修正的高斯函数。最低阶模式 $u_{00}(r, \theta)$ 的光斑大小是(定义在衰减为 $\frac{1}{e}$ 的基础上):

$$2(b\lambda/\pi)^{\frac{1}{2}} \quad (23)$$

推导时使用了(17)式。总之, 由上面的处理可以看出, 空间带宽乘积 c 所起的作用是很重要的, 各种不同几何形状的激光器的空间带宽乘积 c 总是唯一地确定各种不同的几何形状的衍射损耗, 即光学效率。通常 c 的带宽部分恰好是相干辐射的光学截止频率。

通过对方形镜和圆形镜共焦腔的分析, 扁长函数较为理想的表征了腔内模式。

参 考 文 献

- [1] E. Wolf; "Progress in Optics", 1971, IX.
- [2] C. Flammer; "Spheroidal Wave Functions", Stanford University Pres, Stanford, 1957.

(上接第12页)

行波放大运转, 激光系统的可调谐宽度主要取决于振荡器, 运转电压15千伏时, R6G乙醇溶液的可调谐宽度约350 Å (图4)。

综上所述, 图1所示振荡-放大激光系统是匹配的, 行波放大系数可达到4, 说明已接近强讯号放大的增益饱和。若放大级再大, 欲获更高功率的输出, 就需采用注入放大技术, 但可调谐宽度将受限于注入光强^[3], 一

般比行波放大运转小得多。我们发展的过电压火花隙同步放电电源是经济可靠的, 由于它简单而体积小, 可使主放电路安装在激光系统主机里, 和电源箱分开, 供电用电缆联接。

参 考 文 献

- [1] 许祖彦等;《物理》, 1982, 11, No.1, 49.
- [2] 汤晓等;《激光》, 1979, 6, No. 9, 29.
- [3] 邓道群等;《光学学报》, 1981, 1, No. 6, 531.