

# 中功率染料激光器

何木芝 张道中 许祖彦 邓道群

(中国科学院物理研究所)

本文报道一台供光谱研究用的染料激光装置。它使用倍频 Nd:YAG 激光激励, 输出功率大于 500 kW, 线宽为 0.03 Å, 光谱亮度达

$1.6 \times 10^7 \text{ W}/\text{Å}$ 。国内外作者均进行过研制<sup>[1,2]</sup>。

装置光路如图 1 所示, 它由振荡器和一级

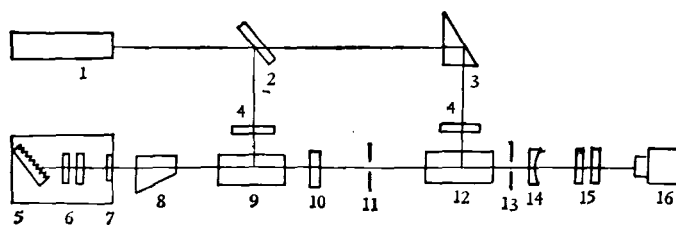


图 1

1. Nd:YAG 振荡器和一级放大及倍频系统; 2. 分光镜; 3. 直角棱镜; 4. 柱面聚焦透镜; 5. 自准直平面衍射光栅; 6. 空气间隙平面标准具; 7. 气压室窗口; 8. 6 级扩束器; 9. 振荡器染料池; 10. 输出平镜; 11. 光栏; 12. 放大级染料池; 13. 光栏; 14. 平凸透镜; 15. 空气间隙平面标准具; 16. 照相机

放大器组成, 泵光源使用北京无线电工具设备厂生产的 T-49-ZE 倍频 Nd:YAG 激光器。振荡器谐振腔由平面输出镜和自准直平面复制光栅组成。为提高分辨率, 在腔内插入一具 6 级布儒斯特棱镜扩束器<sup>[3]</sup>和一具空气间隙平面标准具, 此系统的调谐原理见图 2。使用螺旋千分尺调节光栅转角  $\phi$ , 可实现激光波长粗调。

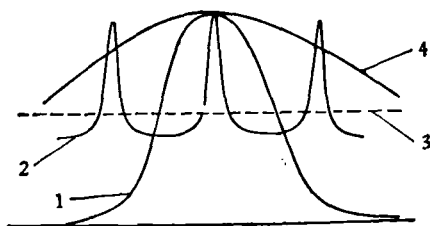


图 2

1. 光栅衍射线宽; 2. 标准具透过线宽; 3. 染料激光增益; 4. 染料激光增益

微调标准具偏角  $\beta$ , 使其透射波长与光栅衍射波长一致。标准具与光栅均置于气压室内, 用针阀调整室内气压即可实现激光的精细调谐输出。若激光腔内激光发散角为  $\Delta\theta$ , 则上述调谐系统的单程线宽可由下式估计<sup>[4]</sup>:

$$\delta\lambda = \frac{\Delta\theta}{M_K} \left[ \frac{\partial\phi}{\partial\lambda} \pm \frac{\partial\beta}{\partial\lambda} \right]^{-1}, \quad (1)$$

式中  $M_K$  为布氏扩束器扩束比,

$$M_K = \left( \frac{n}{n_0} \right)^{K(3)},$$

$n$  为棱镜材料折射率,  $n_0$  是周围介质(即空气)的折射率,  $K$  为扩束器棱镜个数。由光栅方程  $k\lambda = 2d \sin \phi$  可计算  $\phi$  及色散:

$$\frac{\partial\phi}{\partial\lambda} = -\frac{k}{2d \cos \phi}, \quad (2)$$

式中  $d$  为光栅常数。标准具色散为

$$\frac{\partial\beta}{\partial\lambda} = [\lambda \cdot \text{tg} \beta]^{-1}. \quad (3)$$

实验选择  $n=1.67$ ,  $n_0=1$ ,  $K=6$ ,  $k=1$ ,  $\beta \approx 2^\circ$ ,  $\lambda \approx 5600 \text{ Å}$ ,  $d = (1/2400) \text{ mm}$ ,  $\Delta\theta$  约为 3mrad, 估计  $\delta\lambda \approx 0.026 \text{ Å}$ 。若无腔内标准具, 单程线宽约为 0.84 Å。为保证激光单线输出, 标准具自由光谱程应大于此值。腔内标准具之间距约为 3—4mm。要达到上述的  $\delta\lambda$  值, 标准具应有足够的精细度, 标准具镀膜的反射率  $R = 50-90\%$ 。

振荡器和放大器染料池均采用横向激励,因此染料激光输出杂散光较大,故使用适当孔径的光阑以获得低阶模输出。为在使用一级放大的方案下获得中等功率输出,我们控制振荡器和放大级的抽运光强比例,以振荡器的输出能使放大级饱和为准,这样放大系数约在 10 左右。

实验采用天津染料工业研究所生产的若丹明 6G 乙醇溶液。使用 NJ-JI 型激光能量计测量抽运光源能量和染料激光输出能量。在泵光源输出能量为 15mJ 的条件下,对不同浓度的染料溶液研究了振荡器在宽带和窄带运转状态下的染料激光参数。在染料浓度为  $1 \times 10^{-3} M$  时得到的最大输出能量和效率见表 1。由于输出镜(反射率 50%)反馈过大,宽带效率不高。而由于腔内插入损耗很大,窄带效率也不能提高。因此,为了得到较高的功率和效率只能利用放大级做行波放大。

在抽运光束能量为 20 mJ 的条件下,研究

表 1

运转方式	能量 (mJ)	功率 (kW)	效率 (%)
宽带	1.7	277	11.6
窄带*	0.35	58.4	2.3

\* 标准具反射率为 50%。

了染料浓度、振荡器参数及放大器和振荡器抽运光强比例对一级放大后输出功率和总激光效率的影响,结果如表 2 和表 3 所示。合适的染料浓度为  $1 \times 10^{-3} M$ ,标准具反射率对激光效率的影响不大,但分光镜透过率(即放大器与振荡器抽运光强比例)对输出功率的影响是明显的。最佳运转条件是:振荡器使用 2400 线对/mm

表 2\*

分光镜透过率 (%)	能量 (mJ)	功率 (kW)	效率 (%)
50	0.84	127	4
70	3.3	500	16.5

\* 光栅为 1800 线对/mm 的平面复制光栅,标准具反射率为 50%。

的光栅,标准具反射率约 90%,分光镜透过率约 80%。

表 3

振荡器参数	$d=(1/1800)\text{mm}$ , $R=50\%$	$d=(1/2400)\text{mm}$ , $R=93\%$
分光镜透过率 (%)	70	80
输出能量 (mJ)	3.4	3.6
输出功率 (kW)	518	540
激光效率 (%)	17	17.8

在上述最佳运转条件下,使用同轴型强流光电二极管和 OK-19 示波器测得抽运光源脉冲宽度约为 10 ns,染料激光脉冲宽度为 7ns。

使用 DH-20 AUH 单色仪测得染料激光波长粗调范围约为  $5620 \text{ \AA} - 5950 \text{ \AA}$ ,即可调谐宽度约  $330 \text{ \AA}$ 。

使用机械泵对气压室抽气,用针阀控制气压,用自由光谱程 150 GHz 标准具观察激光波长变化。当气压从 760 Torr 改变到  $\sim 70 \text{ Torr}$  时,标准具干涉环约变化两个周期,即相当于波长改变  $3.3 \text{ \AA}$ ,大约相当于每托变化  $0.005 \text{ \AA}$ 。气压室附有精度 10 Torr 的真空表,即可控相对气压调谐精度约为  $0.05 \text{ \AA}$ 。

使用间距 10mm (空气)精细度优于 100 的标准具和焦距 500 mm 照相机拍摄染料激光放

大级输出的干涉环(图 3),得到激光线宽为  $0.03 \text{ \AA}$ ,这与估算值  $0.026 \text{ \AA}$  一致。调节光栅转角及气压使激光波长调谐在不同值,观察干涉环,没发现干涉环的直径与宽度有明显变化,即线宽在激光波长变化时是稳定的。

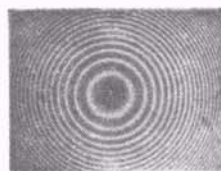


图 3

### 参 考 文 献

- [1] T. W. Hansch, *Appl. Opt.*, 11-4 (1972), 895; R. Wallenstein and H. Zacharias, *Optics Commun.*, 32-3 (1980), 429.
- [2] 可调谐激光研制组, *激光*, 9-5(1982), 51.
- [3] 许祖彦、邓道群, *光学学报*, 1-6 (1981), 575.
- [4] 许祖彦、邓道群、郭东升、李秀芳, *物理*, 11-1 (1982), 49.