

使用色散型布儒斯特棱镜扩束的 宽调谐染料激光器

许祖彦 邓道群 郭东升 李秀芳 蔡妙全

(中国科学院物理研究所)

周力 韩晓峰

(哈尔滨工业大学)

提要: 本文报道一台光谱实验用闪光灯泵浦的染料激光器,它使用色散型布儒斯特棱镜扩束器,具有宽阔的连续调谐范围和较窄的线宽,采用复合腔调频可获得高的激光效率。

A flashlamp pumped wide-band tunable dye laser with a dispersive Brewster prism expander

Xu Zuyan, Deng Daoqun, Guo Dongsheng, Li Xiufang, Cai Miaoqian

(Institute of Physics, Academia Sinica)

Zhou Li, Han Xiaofeng

(Harbin Polytechnic University)

Abstract: A flashlamp pumped dye laser used for spectroscopy is described. Wide tunable region and narrow line width were obtained for a dispersive Brewster prism expander. Tuning with a compound cavity the efficiency of the laser can be increased. This laser system has the advantages of small size, low price and reliable operation.

闪光灯激励的染料激光器输出脉冲能量较大,结构简单而电光转换效率高,常应用于原子、分子光谱研究及非线性光学实验。我们研制了一台直管闪光灯泵浦的重复率染料激光器,采用色散型布儒斯特棱镜扩束器和复合腔调频等新技术,就国产 Rh 6G 染料试验,线宽 $0.2\sim 0.5\text{ \AA}$, 输出能量可达 40 毫焦

耳/脉冲以上。由于使用火花隙强脉冲电源供电,使器件体积小,电源与激光器主机为分离式,使用方便,造价亦低。

激光器光路如图 1, M_1 、 M_2 均为反射率 0.5 的平面镜,垂直于光轴; D 是染料池,由

收稿日期: 1983 年 1 月 14 日; 修改稿收到日期: 1984 年 3 月 22 日。

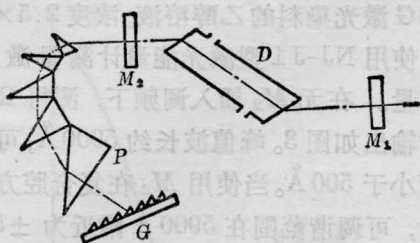


图1 光路原理图

内径3毫米玻璃管两端密封布氏窗构成,内通以循环染料液,流量约15毫升/秒。染料池置于双椭圆聚光器的共焦线上,两支直管闪光灯(电极间距100毫米,内径3毫米)置于双椭圆另二焦线上。 G 为平面光栅,它和 M_1 以自准直方式组成谐振腔。 P 是色散型布儒斯特棱镜组,它兼有扩束和色散作用,性能可由图2导出。

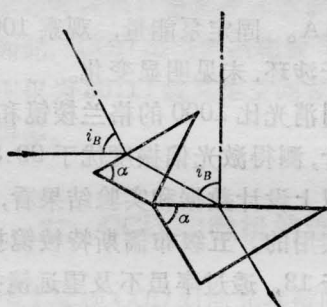


图2 扩束器原理

棱镜组的每块棱镜均为直角棱镜,底角 $\alpha = i_B$ 为材料折射率 n 所决定的布儒斯特角(设周围介质为空气,折射率为1)。令入射角均为 i_B ,则出射光束垂直于棱镜出射面。扩束比 M_k 与棱镜个数 k 有关^[1]:

$$M_k = n^k \quad (1)$$

棱镜角色散率为^[2]:

$$\left(\frac{d\theta}{d\lambda}\right)_p = \frac{1}{n} \operatorname{tg} i_B \left(\frac{dn}{d\lambda}\right) = \frac{dn}{d\lambda} \quad (2)$$

光栅自准直角 ϕ 由光栅方程 $2d \sin \phi = m\lambda$ 决定,光栅色散方向与棱镜相同,其角色散是^[3]:

$$\left(\frac{d\phi}{d\lambda}\right)_G = \frac{\operatorname{tg} \phi}{\lambda} \quad (3)$$

设腔内激光发散角为 $\Delta\theta$,考虑到扩束后

光束发散度成比例逐级降低,则单程线宽可由下式给出:

$$\delta\lambda \approx \left[M_k \frac{\operatorname{tg} \phi}{\lambda} + \left| \frac{dn}{d\lambda} \right| \sum_{j=1}^k M_j \right]^{-1} \Delta\theta \quad (4)$$

实验使用光栅常数 $d = (1/1264)$ 毫米的复制光栅,衍射级次 m 取为1。棱镜组用5个棱镜组成,选用 ZF_2 玻璃制作,出射面镀增透介质膜。设 $\Delta\theta \approx 3$ 毫弧度,对Rh6G染料的峰值波长 5900 \AA ,由(1)~(4)式可估计器件的单程线宽 $\delta\lambda \approx 1.9 \text{ \AA}$ 。激光器的腔长小于1米,激光脉宽约1微秒,因此光子在激光腔内可往返振荡 10^2 次以上。由于非线性模式竞争效应,实际激光线宽比估算的单程线宽 $\delta\lambda$ 窄得多,按经验^[5]可望获得小于 1 \AA 线宽的激光输出。

由文献[1]估算棱镜组的透过率约80%。光栅衍射效率的标称值是70%,考虑到其他损耗,估计激光腔内的总损耗约50%,此损耗值不很大,因此调谐效率达30%似为可能。对于Rh6G染料,调谐宽度大于 300 \AA 亦是可能的。

因腔内插入损耗主要来自调频元件光栅和棱镜组,为此我们在激光头和棱镜组之间加入一半反镜 M_2 (如图1),将部分宽带激光反馈回激光头(M_1 和 M_2 组成另一激光谐振腔,因此称复合腔调频,无 M_2 时称插入调频),此种复合腔调频技术可成倍地提高窄带激光输出功率^[4],但降低了激光的可调谐宽度。

闪光灯使用火花隙强脉冲电流源供电。染料液用不锈钢离心泵驱动循环,冷却闪光灯的软化自来水亦用于冷却染料液,此作用是通过浸在染料液储存器中的不锈钢管热交换器完成的。冷却水和染料液的温差用热敏电阻温差电桥监视,控制自来水水压,可保证温差在 0.5°C 以内,致使激光器有高的激光效率和良好的稳定性。

光栅转台为千分尺头调节的正切型,臂

长 450 毫米,有良好的消回差结构,转台读数由 He-Ne 激光 6328 \AA 为标准谱线定标,线性良好,精度为 $\pm 0.07 \text{ \AA}$ 。

实验选用天津染料工业研究所产的

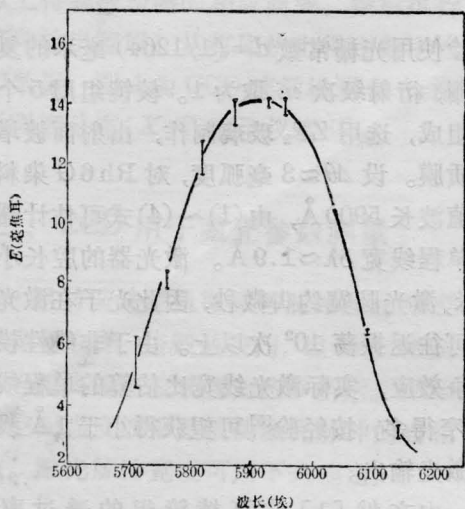


图 3 Rh6G 的调谐特性(输入 19.6 焦耳)

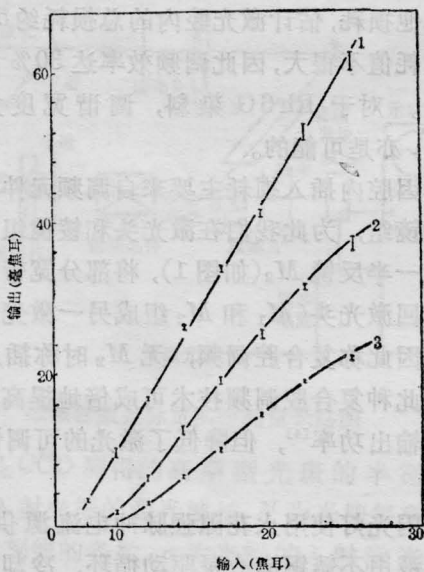


图 4 Rh6G 输入输出特性

1—宽带运转; 2—复合腔调频; 3—插入调频

Rh 6G 激光染料的乙醇溶液,浓度 $2.5 \times 10^{-4} M$ 。使用 NJ-J1 型激光能量计测量激光脉冲能量。在无 M_2 插入调频下,测得 Rh 6G 调谐输出如图 3。峰值波长约 5900 \AA ,可调谐宽度小于 500 \AA 。当使用 M_2 在复合腔方式运转时,可调谐范围在 5900 \AA 附近为 $\pm 50 \text{ \AA}$,其强度几乎与波长无关。

在 5900 \AA 附近测量激光器的输入输出特性如图 4,由上至下三条曲线分别对应:宽带运转、复合腔调频和插入调频。

使用强流光电二极管和 100 兆赫示波器测得激光脉冲半宽度不大于 1 微秒。因此,激光窄带运转峰值功率大于 40 千瓦。

使用间隔(空气)1 毫米、精细度约 100 的标准具测量激光线宽。当泵浦能量由 12 焦耳提高到 29 焦耳时,激光线宽由 0.1 \AA 加宽到 0.5 \AA 。固定泵能量,观察 100 个激光脉冲的干涉环,未见明显变化。

利用消光比 1000 的格兰棱镜和微焦耳级能量计,测得激光偏振度优于 99.8%。

就以上设计数据和实验结果看,图 1 的方案是实用的。五级布儒斯特棱镜扩束器扩束比大于 13,透过率虽不及望远镜扩束器,但它要求的调整自由度少,从而使用方便且稳定性好。由于具备扩束和色散双重效果,使用它可获得较窄的激光线宽和宽阔的连续调谐范围(对一种染料),更换多种染料即可达到可见区复盖。

参 考 文 献

- [1] 许祖彦,邓道群;《光学学报》,1981, 1, 575.
- [2] L. G. Nair; *Opt. Commun.*, 1977, 23, 273.
- [3] R. Wyatt; *Opt. Commun.*, 1978, 26, 9.
- [4] 许祖彦等;《物理学报》,1981, 30, 820.
- [5] 许祖彦等;《物理》,1982, 11, 49.