

高功率脉冲染料激光振荡-放大器

刘达伟 孙树兰 蒋崇德

(中国科学院力学研究所)

王德民

(四机部七〇六厂)

提要: 报道一种用倍频 Nd:YAG 激光纵向泵浦、双棱镜一维扩束的染料激光系统, 经过二级放大, 输出总效率达 31%。当泵浦光为 40 mJ 时, 得到 12.2 mJ、2 MW, 线宽为 0.18 Å 的可调谐染料激光输出, 重复率可达 10 次/秒。

High power pulsed dye laser oscillator-amplifiers

Liu Dawei, Sun Shulan, Jiang Chongde

(Institute of Mechanics, Academia Sinica)

*Wang Demin*¹

(No. 706 Factory, The Fourth Ministry of Machine Building)

Abstract: A dye laser with a double-prism of one dimensional beam-expander, which is longitudinally pumped by a frequency doubled Nd:YAG laser, is reported. The total efficiency of the dye laser after two stages of amplification is 31% for Rh6G. Then the energy of pumping beam was 40 mJ, tunable dye laser output of 12.2mJ (2MW) with a line width of 0.12Å was obtained. The quality of laser output beam was good. The repetition was 10Hz when a circulating system was used.

一、引言

自 1972 年 Hänsch^[1] 发表了用扩束望远镜扩展腔内光束的脉冲染料激光器以来, 又出现了反射镜扩束、光栅大入射角以及棱镜扩束系统^[2~4]。后两种方法使用了简单的一维扩束技术, 明显地缩短了腔长, 减少了谐

振腔内元件数目, 因而使成本降低, 调整十分方便。如果从光栅或棱镜直接抽取激光输出, 尽管可达到较高的效率, 但由于反射镜的反馈而有强的超辐射背景。并且由于是开腔结构, 与腔外光学元件易于耦合, 使放大、调整都增加困难。如果采用从耦合镜输出的闭腔结构, 上述问题就大大减轻, 但是为满足窄线

收稿日期: 1984 年 5 月 8 日。

宽要求,则需要使光束掠入射到光栅或棱镜上,这造成很大的腔内损耗,使效率变低,通常有1~2%。Duarte^[5]用棱镜预扩束的光栅大入射角装置较好地解决了这一问题。在保证好的光学质量情况下使转换效率增加到7~10%。该法的缺点是对不同线宽要求出不同组合的最佳输出耦合角,使用棱镜又造成了色差。Duarte还采用双棱镜扩束的横向泵浦办法使得较易调节激光输出线宽,但由于采用两块棱镜而增加了色差^[6]。

仅仅使用振荡器,效率较低。在较窄线宽时,很难超过10%。为此有必要采用染料放大器,以明显提高转换效率。如果再使染料循环流动,就可以提高染料激光器的重复频率。

二、实验装置

图1是实验装置简图。Nd:YAG振荡-放大器产生的1.06 μm激光,通过KD*PII倍频晶体得到每个脉冲40 mJ的多模输出,通过全反射镜M₁、M₂和分束镜S₁、S₂泵浦染料振荡器、第一级和第二级放大器的光强比例为15:30:55, D₁、D₂、D₃分别为该三级的染料盒, F₁、F₂、F₃分别为焦距460 mm、460 mm和600 mm的聚焦透镜; P₁、P₂、P₃是光束转向棱镜。输出镜T和光栅G构成谐振腔,棱镜P_I、P_{II}组成一维扩束器, F-P标准具用于进一步压缩线宽。整个振荡器长度可缩短到20 cm以内,这有利于实现单纵模运转。对双棱镜扩束系统,单

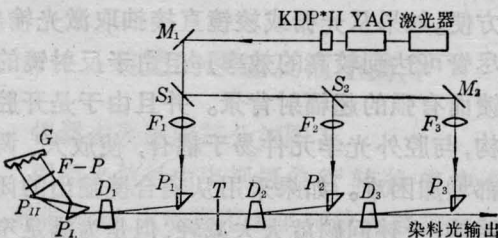


图1 实验装置简图

程线宽为^[6]

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda}{M\pi\omega_0} \left[\left(\frac{d\theta}{d\lambda} \right)_G + \left(\frac{d\phi}{d\lambda} \right)_{P_I+P_{II}} \right]^{-1} \quad (1)$$

其中M为双棱镜扩束比, ω₀为光束束腰, θ和φ分别是扩束光对光栅和两块棱镜的入射角。对Littrow装置,光栅角色散为

$$\left(\frac{d\theta}{d\lambda} \right)_G = \frac{2 \tan \theta}{\lambda} \quad (2)$$

本试验使用1200条/mm的一级复制光栅。

[7]给出双棱镜角色散为

$$\begin{aligned} \left(\frac{d\phi}{d\lambda} \right)_{P_I+P_{II}} &= \frac{2 \sin \phi}{(n^2 - \sin^2 \phi)^{\frac{1}{2}}} \\ &\times \left[\frac{n \cos \phi}{(n^2 - \sin^2 \phi)^{\frac{1}{2}}} + 1 \right] \\ &\times \frac{dn}{d\lambda} \end{aligned} \quad (3)$$

n是棱镜材料折射系数。当使用n=1.53的K₉光学玻璃棱镜时,棱镜顶角41.5°,选择入射角φ使扩束光出射角为0。尽管使用双棱镜代替单棱镜扩束,大大降低了棱镜的反射损耗,但是振荡器中的棱镜和光栅等色散元件仍有80%以上的损耗,因而仅用振荡器很难得到较高的染料激光转换效率。我们使用了二级放大器, Nd:YAG倍频光束形状更适合于纵向泵浦方式。近轴向纵向泵浦的优点是可以有效利用激励体积,提高染料激光器的转换效率;减小染料激光束的发散角和获得良好的横模特性。调整泵浦光能量比例和选择染料盒长度,使振荡和放大器的染料盒采用同一套染料闭循环流动系统。纵向泵浦方式也使流动染料盒的设计大为简化。为了减少扰动和气泡的影响,把循环齿轮泵及染料桶放在高于染料盒的位置上。

三、实验结果

对染料振荡器(用若丹明6G染料),腔内不用标准具,泵浦光功率为2.4 MW时,可以

得到线宽 0.2 \AA 、 200 kW 的输出功率。当棱镜扩束比 $M=40$ ，腔内加入细度为 10，厚度 3 mm 的标准具，得到线宽 0.025 \AA 的单纵模，图 2 是拍得的干涉照片。

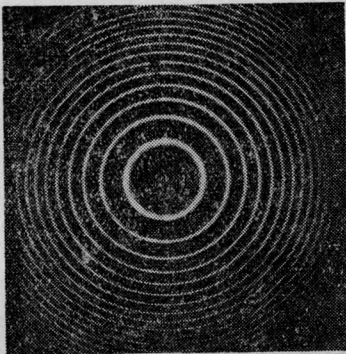


图 2 振荡器染料激光输出的干涉照片

表 1 染料激光输出与泵浦能量关系

振 荡 器			一级放大器		
泵浦能 (mJ)	输出能 (mJ)	效 率 (%)	泵浦能 (mJ)	输出能 (mJ)	效 率 (%)
5.3	0.4	7.5	10.5	2.6	21
二级放大器			总 计		
泵浦能 (mJ)	输出能 (mJ)	效 率 (%)	泵浦能 (mJ)	输出能 (mJ)	效 率 (%)
24	12.2	40	39.8	12.2	31

(若丹明 6G 5600 \AA 处)

表 1 为在 5600 \AA 时，对若丹明 6G 染料所得的激光输出与泵浦能量的关系。每个数据是由 5 个测量数平均的结果。测量是用 NJ-J1 型微量计进行的。结果表明，二级放大以后的总转换效率达到 31%。当使用棱镜扩束比 10，插入细度为 8， 3 mm 厚的腔内标准具后，在泵浦光功率为 40 mJ 时，得到线宽 0.18 \AA 、 2 MW 的染料激光输出。图 3 扫描曲线是用自由光谱范围 0.37 \AA ，细度 15 的法布里-珀罗标准具得到的。由于受到总泵浦光功率较小的限制，在保证低超辐射背景、较高转换效率时为了得到更窄的线宽是相当困难的。

采用纵向泵浦方式，获得了良好的横模

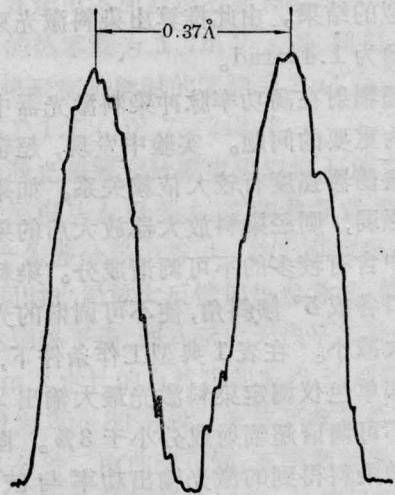


图 3 放大器染料激光输出纵模扫描曲线

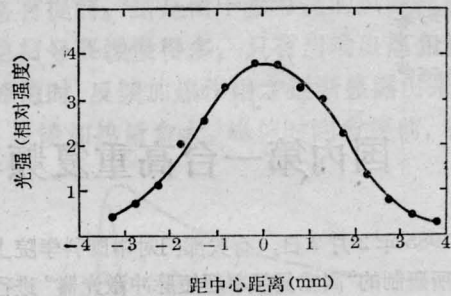


图 4 染料激光输出横模特性

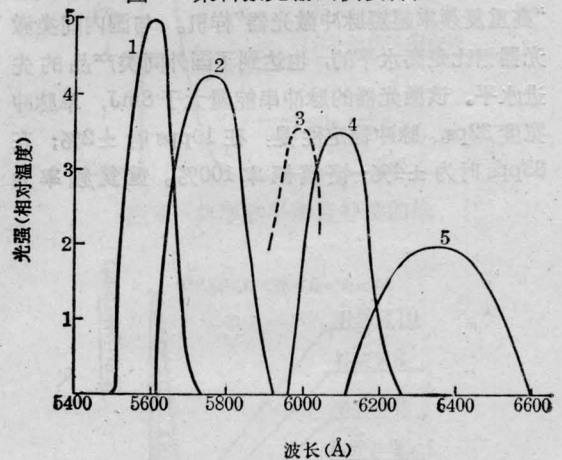


图 5 激光输出与波长的关系

所用染料为 1—若丹明 6G；2—若丹明 B；3—若丹明 B+若丹明 101；4—若丹明 101；5—DCM

特性，在微能量计前加一孔径为 1 mm 的光阑，逐点测量了横模的空间分布。图 4 是在染料光输出 0.5 m 处测得的结果，显示了良好的单横模特性。在染料光输出 1.5 m 处测

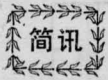
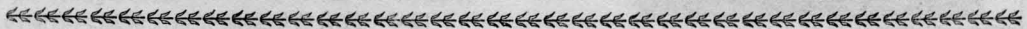
到相似的结果。由此推算出染料激光束的全发散角为 1.4 mrad。

超辐射在高功率脉冲染料激光器中是一个较为重要的问题。实验中发现,超辐射成分与振荡器强度有较大依赖关系。如果振荡级光强弱,则经染料放大器放大后的染料光输出中含有较多的不可调谐成分。染料池两端窗口各成 5° 倾斜角,使不可调谐的光谱背景大大减小。在表 1 典型工作条件下,用光谱仪和单色仪测定染料激光最大输出 2 MW 时,不可调谐超辐射成分小于 3%。图 5 是对几种染料得到的激光输出功率与波长的

关系。在较高输出功率水平下得到 5500~6500 Å 的连续可调范围。

参 考 文 献

- [1] T. W. Hansch; *Appl. Opt.*, 1972, **11**, 895.
- [2] E. J. Beiting; *Opt. Commun.*, 1979, **28**, 3.
- [3] M. G. Littman, H. J. Metcalf; *Appl. Opt.*, 1978, **17**, 2224.
- [4] G. Nair; *Opt. Commun.*, 1978, **26**, 9.
- [5] F. J. Duarte, J. A. Piper; *Appl. Opt.*, 1981, **20**, 2113.
- [6] F. J. Duarte; *Opt. Commun.*, 1980, **35**, 100.
- [7] T. Kasuya; *Appl. Phys.*, 1978, **17**, 131.



国内第一台高重复频率超短脉冲激光器通过鉴定

1985年2月7日,有关部门对中国科学院上海光机所研制的“高重复频率超短脉冲激光器”进行了测试、鉴定。与会专家认为,该激光器是我国第一台“高重复频率超短脉冲激光器”样机。与国内同类激光器相比是高水平的,也达到了国外同类产品的先进水平。该激光器的脉冲串能量大于 8mJ,单脉冲宽度 32ps,脉冲稳定性是:在 10pps 时 $\pm 2\%$;在 33pps 时为 $\pm 4\%$;锁模概率 100%。重复频率为

10pps、20pps 33 和 pps。激光脉冲波形光滑,工作稳定可靠。

高重复频率超短脉冲激光器在测距、光谱技术等方面的研究有重要价值,用于第三代人卫测距仪,可提高其测量精度,用于激光光谱研究可以提高时间分辨率。

(广 率)