

SRJ-II 闪光灯泵浦染料激光器

汤星里 赵梅村 乔福堂 冯政新 许世忠*

(中国科学院上海光机所)

提要: 本文介绍了 SRJ-II 型闪光灯泵浦染料激光器的装置和性能。给出激光输出特性、调谐特性及器件使用寿命。

A SRJ-II flashlamp-pumped dye laser

Tang Xingli, Zhao Meicun, Qiao Futang, Feng Zhengxin, Xu Shizong

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

Abstract: The design and performances of a SRJ-II flashlamp-pumped dye laser is described, properties of laser output, tuning, and lifetime are given.

激光器装置

SRJ-II 型闪光灯泵浦染料激光器, 由激光器主体箱和电源控制箱两大部分组成。其中激光器主体箱又由激光头、循环系统和氙灯充放电主回路三部分构成。

图 1 示出的激光头位于主体箱的上部。1 是双椭圆全腔水冷聚光腔, 两只 DMXD- $\phi 3.5 \times 100$ 毫米短脉冲氙灯作泵浦光源位于双椭圆柱的两根焦线上, 一个外径 10 毫米、内径 3.5 毫米、长 100 毫米的石英制染料管位于双椭圆柱的公共焦线上。石英管内壁用金刚砂打毛以减少寄生振荡。染料管、聚光腔与不锈钢端板之间采用硅橡胶 O 形圈密封。端板上带有布儒斯特窗口, 石英窗片和端板也用硅橡胶 O 形圈密封。染料溶液循环的进出口与染料管端面中心间距小于 5 毫米, 是为了避免流动死区, 同时也减小了染料自吸收损耗。冷却水入口有四个, 位于聚光腔同侧

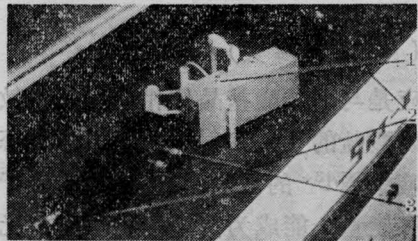


图 1 激光头装置

的两端, 而出口只有一个, 位于聚光腔的顶部。可确保聚光腔内不出现空泡和死区, 并使腔内水温分布比较均匀。2 是激光谐振腔, 右边是凹面全反射镜, 有 1 米、6 米和 10 米三种曲率半径, 可根据对激光方向性的要求予以选择。左边是透过率为 50% 或 60% 的平板输出反射镜。所涂介质膜的中心波长均为若丹明 6G 的增益峰值波长 5900 \AA 。3 是激光调谐单元。它包括双折射滤光片、实心 F-P 标准具和偏转板(见图 2)。双折射滤光片由

收稿日期: 1982 年 2 月 1 日。

* 参加本实验工作的还有江有禄、解永漠以及浙江大学程晓明等同志。

厚度比为 1:2:9 的三片石英晶片组成, 最薄片 0.6 毫米厚。石英晶体光轴平行于滤光片的通光面。通光口径约 $\phi 10$ 毫米。滤光片调整架可灵活平稳地在通光面内旋转滤光片组来调谐激光波长, 对各种染料一个调谐周期相应的滤光片组转角均小于 20 度。此外调整架还有微调机构, 在激光调谐过程中能够单独转动任一单片精确调整三片的相对位置, 使它们的晶轴方向一致。双折射滤光片在腔内和激光振荡方向成布儒斯特角, 借以提高激光偏振度和降低反射损失; 为了进一步压缩激光谱线宽度, 设有 0.2 毫米或 0.3 毫米厚的石英制 F-P 实心标准具, 改变它与激光倾角使主极大透射峰和双折射滤光片组透射主峰重合实现压窄线宽的目的; 7 毫米厚石英偏转板的加入是用来补偿由双折射滤光片组引入的激光偏折。放置位置和双折射滤光片组面对称。

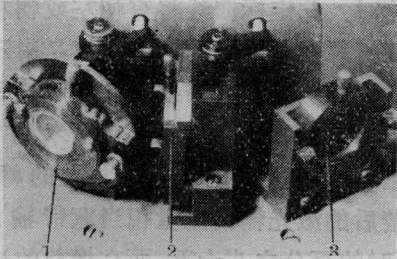


图 2 调谐单元

1—双折射滤光片组; 2—F-P 标准具; 3—偏转片

染料溶液和冷却蒸馏水的循环系统由贮液罐(图 3 中 1)、PC50/11 型电磁泵(图 3 中 2)、热交换器(图 3 中 3)组成。热交换器是一充满流动自来水的大桶, 内有两根 8 米长螺旋不锈钢管, 染料和蒸馏水分别流经它们使在进入激光头时两者温差不大于 0.5°C , 保证激光管染料溶液的光学均匀性和长期工作的稳定性。另外为了滤除微小气泡, 染料溶液进激光管前先经过一球形滤器(图 3 中 4)。

为提高光效和使氙灯点燃稳定, 采用双跟进两路预电离, 预电离电流可变范围 100~500 毫安, 为保证充电电压精度采用恒流

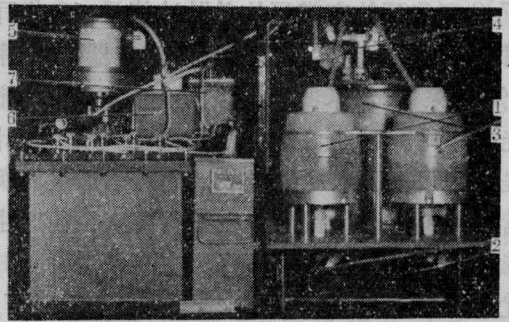


图 3 循环系统和充电回路

充电。并用拨盘自动充电至所需电压。电源最大储能 50 焦耳; 工作频率有 1 次/秒、5 次/秒、10 次/秒、20 次/秒和 40 次/秒五挡; 电压可变范围 0~25 千伏。

激光输出特性

用纯制若丹明 6G 配成 2×10^{-4} 克分子/升浓度的无水乙醇溶液作激光工作物质, 得到了如下的激光输出特性:

1. 激光效率和输出能量

固定腔长为 800 毫米, 对平凹稳腔测量了激光效率曲线(图 4)。平面输出镜在 5900 \AA 的透过率是 60%, 全反射镜曲率半径是 1 米。当泵浦能量等于 26 焦耳时, 获得了

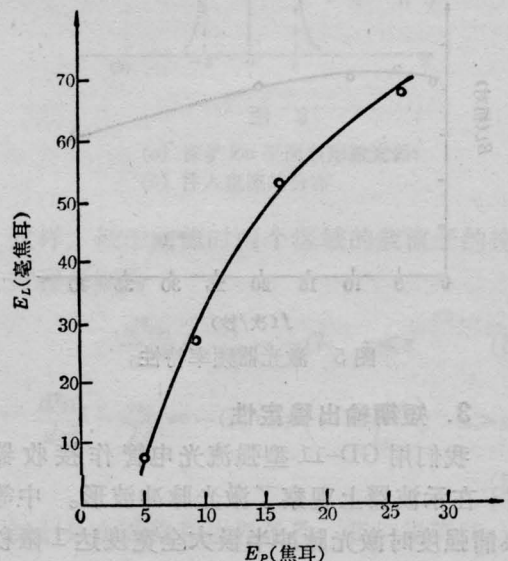


图 4 激光效率曲线

67.8 毫焦耳的宽带平均单脉冲能量; 16 焦耳时, 获得 53 毫焦耳的输出。对应器件效率 3%。采用 10 米曲率半径的全反射镜时, 激光效率略有下降。效率曲线向下弯曲估计是采用了全腔水冷的缘故, 此时水通过石英管与染料溶液热接触将在染料溶液径向产生温度梯度而引起效率下降。在高泵浦能量时尤为明显。然而在分别冷却聚光腔的情况下, 泵浦能量直至 50 焦耳, 输出能量依旧是线性增长。

2. 频率特性和平均功率

图 5 给出了器件工作在不同重复频率时激光输出的变化, 每秒四十次工作时比每秒一次工作时激光输出幅度下跌百分之二十。原因可能是染料溶液在激光工作区的交替速率还不够快。我们实测的染料流量为 100 毫升/秒, 交替速率仅有 110 次/秒, 来不及把染料管内由上次灯点燃所产生的余热全部带走。因此要想继续改善器件的频率特性必须加大染料流量或改变染料的流动方式^[3]。

于是, 在泵浦能量等于 26 焦耳、器件重复效率等于 20 次/秒时, 我们得到了 1.4 瓦的激光平均功率。在 40 次/秒时得到了 2.2 瓦的激光平均功率。

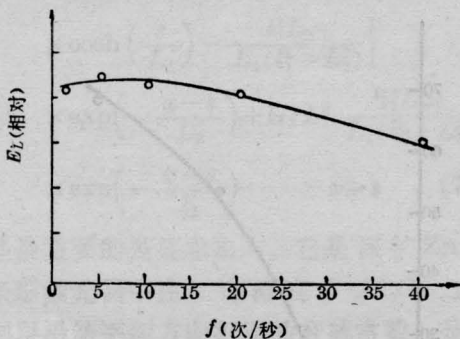


图 5 激光器频率特性

3. 短期输出稳定性

我们用 GD-11 型强流光电管作接收器件, 在示波器上观察了激光脉冲波形。中等泵浦强度时激光脉冲半极大全宽度达 1 微秒左右。激光脉冲幅度抖动小于 $\pm 10\%$ 。激光

短期输出的不稳定主要是由染料溶液流动的不均匀造成的。

调谐特性及激光线宽

调谐方法有两种: 其一是用三片组合式双折射滤光片, 它是以透射双折射晶体的偏振光的干涉为依据来实现对激光波长的调谐的。其二是再在腔内加入 F-P 标准具, 在双折射滤光片调谐的基础上进一步压缩激光的谱线宽度。前者是连续地调谐, 后者是断续逐波长地调谐。

有关双折射滤光片组调谐激光的理论、装置和实验已有详细的报导^[3, 4]。SRJ-II 已实现的若丹明 6G 的激光调谐波长范围是 360 \AA 。激光波长与双折射滤光片调整架的手轮读数的对应关系由图 6 给出, 仪器调整精度约 0.1 \AA 。当器件环境温度或染料浓度有变化时, 此定标曲线将有朝左或朝右的平移; 双折射滤光片组的调谐线宽是由三片中最厚的片所决定的, 谱线宽度和厚片厚度近似成反比。对厚片厚度为 5.4 毫米的情况, 激光谱线宽度达 0.25 \AA 。在增益的峰值波长调谐后的激光输出能量相当宽带输出(不调谐)时的百分之八十五, 而在增益的边缘波长输出能量仅为宽带输出时的百分之五十

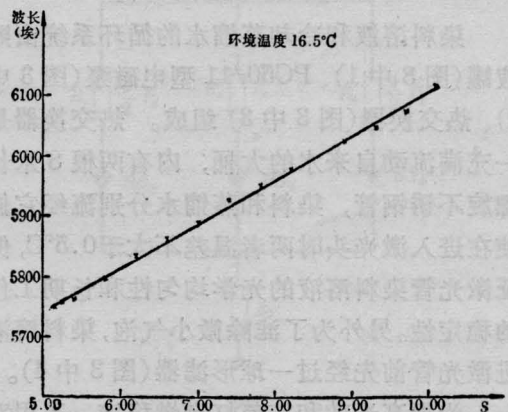


图 6 激光波长-双折射滤光片调谐手轮读数的定标曲线

激光器寿命

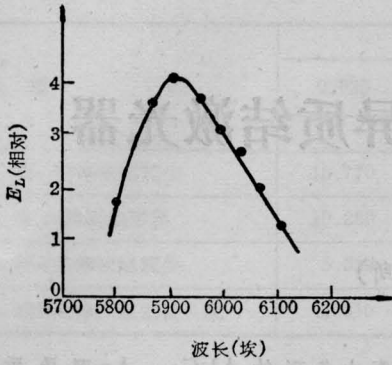
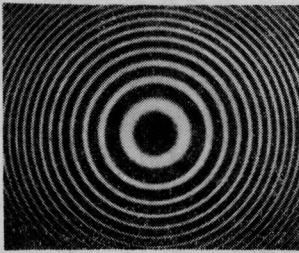


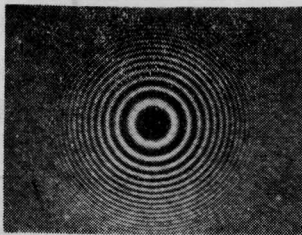
图7 若丹明6G的调谐曲线

(图7)。

为进一步压缩激光线宽，再在腔内加入0.2毫米或0.3毫米厚石英制F-P实心标准具。两通光面涂对5700~6200 Å波长反射率为80%的介质膜。用0.2毫米和0.3毫米标准具把激光线宽分别压到0.09 Å和0.07 Å。调谐后的激光光束经扩束射入一测量标准具(10毫米厚， $\Delta\lambda=0.18\text{Å}$)，然后用一物镜聚焦，在焦平面拍摄的干涉环示于图8。在1米焦距物镜的焦平面上目测，器件工作频率20次/秒，没有观察到干涉环直径发生变化。



(a) 调谐元件为双折射滤光片组
(标准具厚2毫米)



(b) 调谐元件为双折射滤光片组和0.2毫米厚F-P标准具(测量标准具厚10毫米)

图8 F-P测量标准具的干涉环

影响激光器使用寿命的是激光染料的工作寿命和氙灯的闪光寿命。前者指染料分子经多次光照特别经紫外光照后发生离解而逐渐失去原有的激光性能。其长短取决于累积泵浦光能，后者指由于多次放电导致灯阴极溅射和灯管透过率降低所引起的光效下降。其寿命长短取决于泵浦灯的累积电能。所以闪光灯泵浦染料激光器的使用寿命通常用单位体积染料溶液激光输出能量下降至初始值的一半时，已加给氙灯的泵浦电能的总和来度量。图9给出了SRJ-II器件的寿命曲线。在开始时出现输出能量跃变是因新灯在使用前未老化所致。我们得到大于一百万焦耳/升的器件使用寿命。这个结果是在较低泵浦能量时测试的，因而此寿命曲线只给出器件寿命，并未标明器件的最大输出能力。在不同泵浦能量下测试，器件使用寿命大致相同。对一百万焦耳/升的器件寿命可作如下具体理解：对SRJ-II器件允许的最大染料溶液体积5升而言，若器件2.3倍阈值每秒1次工作，则可连续运转一百四十五个小时后输出才下降至初始值的一半；若器件以3.5倍阈值，每秒1次工作，则可连续运转九十五个小时后输出才下降至初始值之半。高重复率工作使用时间将按比例缩短。假使对输出强度并不苛求，则器件运转的时间可以相当长。一般说来二、

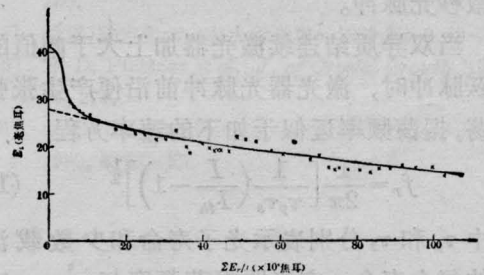


图9 激光器寿命曲线

测试条件： $C=2\times 10^{-4}$ 克分子/升； $E_p=16.13$ 焦耳； $E=1$ 米， $T_w=60\%$ ， $L=800$ 毫米

(下转第726页)

为 30 微米, 由于狭缝像的空间扩展造成的时间加宽为:

$$\Delta t_1 = W/V = \frac{3}{256} \times 580 = 6.8 \text{ 微微秒}$$

式中 W 为静态像宽(3ch); V 为扫描速度(580 微微秒)。因此, 条纹相机的本机加宽为:

A: 由于光阴极面发射电子初速分散造成时间扩展为: $\Delta t_2 = 4.7$ 微微秒。

B: 由于偏转电场造成的时间加宽为:

$$\Delta t_3 = 3.8 \text{ 微微秒}$$

所以半导体激光器光脉冲宽度应按式修正:

$$\Delta t = \sqrt{\Delta t_0^2 - (\Delta t_1^2 + \Delta t_2^2 + \Delta t_3^2)}$$

得到三次半导体激光器脉冲宽度为:

$$\Delta t' = 10.1 \text{ 微微秒}$$

$$\Delta t'' = 13.0 \text{ 微微秒}$$

$$\Delta t''' = 13.0 \text{ 微微秒}$$

三次平均宽度为 12 微微秒。这个宽度已经达到条纹相机极限。

半导体激光器在张弛振荡基础上产生微微秒光脉冲是一种比较简单的方法, 且光脉冲比外腔锁模的脉冲稳定和光滑。用这样的光脉冲来检测快速光电二极管的响应速率是最好的光源。测得的几种快速探测器的响应速率如图 7~10 所示。快速光电二极管测得的光脉冲尾部都有振荡, 这说明不是光脉冲本身问题, 而是由于二极管本身的剩余陷阱效应和阻抗不匹配引起的。

干福熹和杨姮彩同志对本工作的支持和启发, 周复正和张伟清同志帮助用条纹相机测量光脉冲, 在此表示感谢。

(上接第 723 页)

三个月更新一次氙灯和染料就行了。当然倘若需器件运转在较高输出水平的更长, 还可改用更大的染料容器。

参 考 文 献

[1] K. Nagashima *et al.*; *Opt. Commun.*, 1979, **28**,

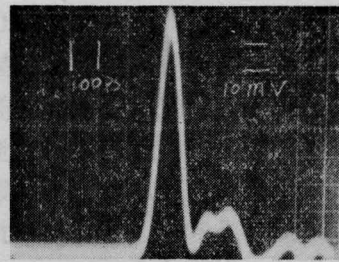


图 7 Si 快速 PIN 光电二极管测量的光脉冲, 半宽为 80 微微秒

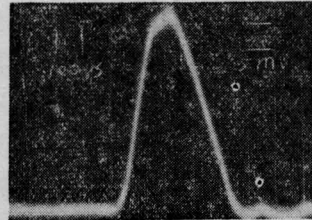


图 8 InGaAs 快速 PIN 光电二极管测量的光脉冲, 半宽为 200 微微秒

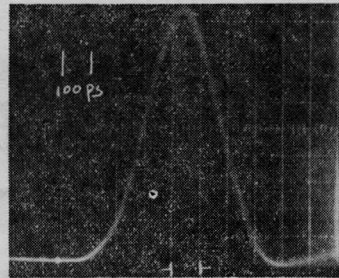


图 9 SiGe APD 光电二极管测量的光脉冲, 半宽为 300 微微秒

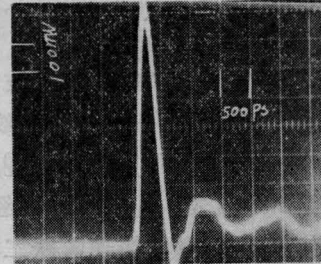


图 10 SiLi APD 光电二极管测量的光脉冲, 半宽为 300 微微秒

No. 2, 227.

[2] Herbert W. Friedman *et al.*; *Appl. Opt.*, 1976, **15**, No. 6, 1494.

[3] G. Holtom *et al.*; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1974 **10**, No. 8, 577.

[4] 汤星里等;《激光》, 1982, **9**, No. 3, 12.