

# 脉冲氙离子激光器泵浦的可调谐染料激光器

**Abstract:** An inexpensive pulsed xenon ion laser with peak output power of about 10kW, pulse duration of 300 ns has been constructed and used as a pumping source for a tunable rhodamine 6G dye laser. 3-mirrors with astigmatism compensated cavity and grating-grazing incidence are used as the dye laser resonator and linewidth of less than 0.1 Å is obtained. The dye laser is tunable from 5450~6200Å with an total output of 1 kW.

脉冲氙离子激光器具有高功率输出和较长的激光脉冲宽度,而且结构简单,用它来泵浦可调谐染料激光器,引起了人们的兴趣<sup>[1~3]</sup>。Hänsch等<sup>[2]</sup>首先用氙离子激光器泵浦若丹明6G染料,获得了染料激光输出,以后 Laird. D. Schearer 等作了进一步的研究<sup>[4]</sup>。采用染料快速流动可获得高达40%的转换效率<sup>[5]</sup>,利用氙离子的紫外输出谱线,还可将染料激光器的输出扩展到紫外波段<sup>[7]</sup>。

我们研究了一台高功率氙离子激光器的工作特性,并用它泵浦若丹明6G染料,采用了掠入射与三镜腔结合的复合谐振腔,进行了初步研究。下面分别给予介绍。

## 氙离子激光器

氙离子激光器的结构和放电电路如图1所示。激光器由GG17玻璃管制成半外腔式,腔长160厘米,放电管内径为4.5毫米,长度为125厘米,用钢作电极。反射镜一端是 $R=3$ 米全反介质膜,另一端是反射率为80%的平面镜作为输出镜。放电电源是一个普通直流高压电源,四只0.01微法电容并联组成储能电容;用火花隙触发放电。当放电电压为16.5千伏,工作气压 $6 \times 10^{-3}$ 托时,测得放电电流为

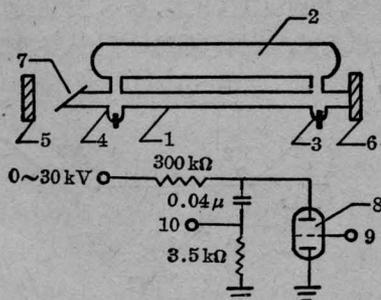


图1 氙离子激光器和放电回路

1—放电管; 2—贮气泡; 3—阳极; 4—阴极;  
5—输出镜; 6—全反镜; 7—布氏窗; 8—火花  
隙; 9—接触器; 10—接阴极

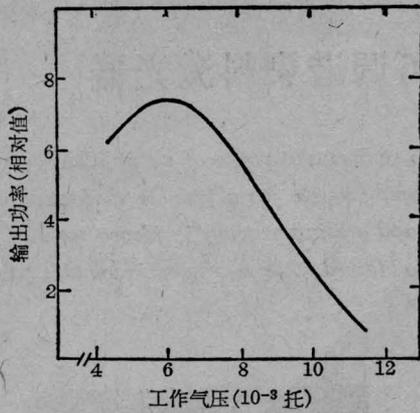


图2 放电电流(上)及激光输出波形  
(扫描时间为0.5微秒/格; 放电电压为16.5千伏)

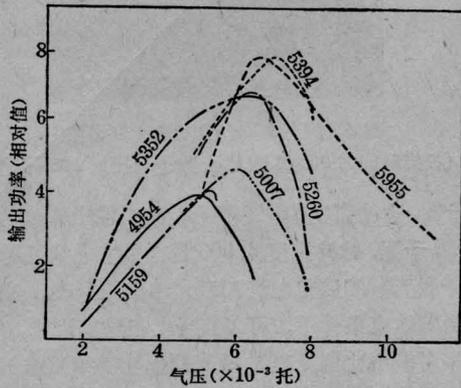
3千安,脉冲宽度750毫微秒;激光输出峰值功率大于10千瓦,脉冲宽度为300毫微秒。图2是脉冲氙离子激光器的放电电流和激光输出波形图。在选择适当的放电条件下,可以获得七条输出谱线。它们的相对输出比例见表1。激光输出功率随工作气压的变化是极灵敏的。图3(a)是相同放电电压下的总的输出与气压变化关系。各条输出谱线的输出也随气压变化而显著地变化。图3(b)描述了这一变化关系。氙离子的激光输出随放电电压变化是不明显的,如图4所示。但输出的脉冲宽度随电压升高而变窄,如图5所示。这样有可能选择合适的放电条件,使激光输出功率最佳而又使输出谱线中蓝绿光相对输出足够大,以有利于泵浦染料激光器。对于我们的放电结构,最佳的放电条件是气压 $6 \times 10^{-3}$ 托,放电电压在16.5千伏左右。激光的输出功率在几次/秒的重复频率下,稳定性达2%。氙离子激光器的重复频率在我们的实验中仅受到触发电源的限制。

表1 氙离子激光输出各条谱线相对比例  
(工作气压:  $5 \times 10^{-3}$ 托; 放电电压: 15千伏)

波长 (Å)	4954	5007	5159	5260	5352	5394	5955
相对 比例 (%)	12.5	12.3	11.8	16.2	18.8	11.3	12.1



(a) 氙离子激光输出功率与气压变化关系  
(放电电压 16.5 千伏)



(b) 各条谱线输出功率与气压变化关系  
(放电电压 16.5 千伏)

图 3

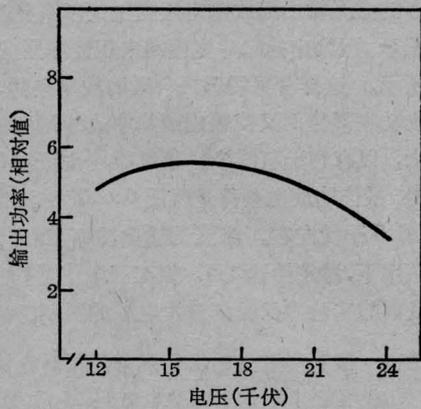
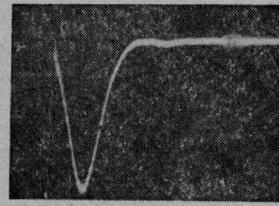


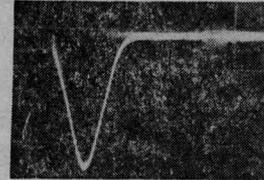
图 4 氙离子激光输出功率与放电电压变化关系  
(气压  $6.5 \times 10^{-3}$  托)

### 可调谐染料激光器

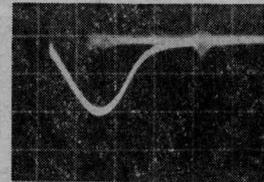
可调谐染料激光器的谐振腔采用了掠入射<sup>[11]</sup>与三镜腔<sup>[10]</sup>结合的复合结构。克服了调谐光栅转动所



(a) 25 千伏



(b) 18 千伏



(c) 12 千伏

图 5 氙离子激光输出脉冲宽度与放电电压变化关系  
(扫描时间: 0.2 微秒/格)

引起的输出光束方向和谱线宽度的变化, 并且不需加扩束望远镜。染料激光器的结构如图 6 所示。染料盒厚度为 3.6 毫米(包括二块窗片的厚度),  $M_1$ 、 $M_2$  之间相距 10 厘米,  $M_2$  与光栅  $G$  的距离为 34 厘米。染料盒与激光束光轴放成布氏角, 并置于谐振腔腰部, 离  $M_1$  为 5 厘米。光栅  $G$  和  $M_3$  共同组成三镜腔的输出镜。透镜  $L$  将氙离子激光聚焦到染料盒泵浦染料。

在三镜腔结构中, 由于反射镜  $M_2$  和染料盒插入成布氏角, 因而引进了象差, 影响谐振腔的稳定性和输出光束质量。根据[10]的计算, 只要满足

$$2Nt = R_2 \sin \theta \operatorname{tg} \theta \quad (1)$$

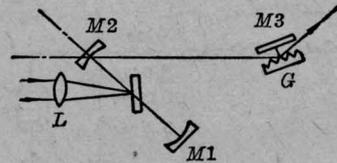


图 6 染料激光器结构图

$M_1$ 、 $M_2$ 、 $M_3$ —全反射镜,  $R_1=5$  厘米,  $R_2=10$  厘米,  $R_3=\infty$ ;  $G$ —光栅, 1200 条/毫米;  $C$ —染料盒;  $L$ —透镜,  $f=10$  厘米

便可达到象差补偿。其中  $t$  为染料盒厚度;  $R_2$  是  $M_2$  的曲率半径;  $\theta$  为  $M_1, M_2$  之间光轴与  $M_2, G$  之间光轴的夹角的一半;  $N$  是染料折射率  $n$  的函数

$$N = (n^2 - 1) \sqrt{n^2 + 1} / n^4.$$

在染料盒厚度和染料的折射率确定后, 只要选择  $\theta$  的大小, 便可达到象差补偿条件。我们的实验中  $t = 3.6$  毫米,  $n = 1.445$ , 计算得  $\theta = 9.2^\circ$ , 实验测得  $\theta \approx 9^\circ$ , 与理论值相符。改变  $\theta$  角, 对输出光束的质量影响是很明显的。

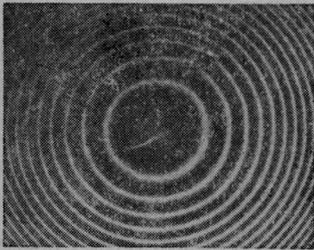
波长调谐采用了掠入射式结构, 光束在光栅上的入射角很大, 光栅仅有一级衍射。将零级作为输出, 衍射光束通过  $M_3$  反射回光栅, 再次衍射, 调节  $M_3$  使这部分衍射光束与入射方向重合, 形成激光振荡。经过二次衍射, 光束中只有一小部分波长沿这一方向反射回去, 反射回去的波长依赖于  $M_3$  的转动。这种结构的角色散率为:

$$\frac{d\varphi}{d\lambda} = \frac{2m}{a \cos \varphi} \quad (2)$$

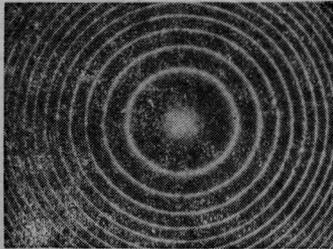
这里  $a$  为光栅常数;  $m$  为衍射级数。角色散率由于经过二次衍射而增加了一倍。当入射角  $\varphi$  足够大时, 整个光栅被掠入射, 可以获得较高的分辨率。光束经过谐振腔一次来回的谱线宽度为

$$\delta\lambda = \frac{2\delta\alpha}{d\varphi/d\lambda} \quad (3)$$

式中  $\delta\alpha$  是染料超辐射荧光入射到光栅的 发散角的



(a) 染料激光在 5600 Å



(b) He-Ne 激光在 6328 Å

图7 2毫米 F-P 干涉仪形成的干涉图

一半。由此得:

$$\delta\lambda = \frac{a \cos \varphi}{m} \delta\alpha \quad (4)$$

实际上由于光束在腔内多次来回振荡, 谱线宽度远小于由上式给出的数值。因此这一结构可获得较窄的谱线宽度。我们用  $80.2^\circ$  掠入射, 不加其他压缩元件, 在波长 5600 Å 处获得谱线宽度小于 0.1 Å。图7是用 2 毫米 F-P 标准具拍摄的干涉图及在同样条件下拍摄的 He-Ne 激光的干涉图。

染料激光的输出波长从 5450~6200 Å 连续可调, 输出的峰值在 5750 Å 处。总的输出功率达 1 千瓦。图8描述了输出功率随波长变化的关系。染料激光输出的脉冲宽度为 100 毫微秒, 图9是示波器记录下的波形图。在相当一段波长范围内输出稳定性达 3%, 只是在接近调谐到极限波长时稳定性才变差。

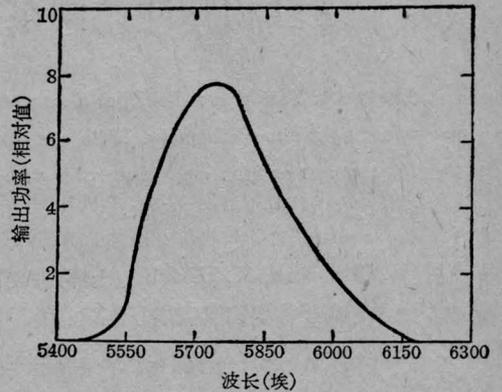


图8 染料激光输出功率与波长变化关系

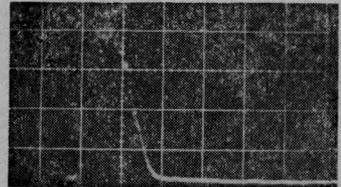


图9 染料激光波形图(扫描时间 0.1 微秒/格)

### 讨论

用氩离子激光泵浦染料激光器, 由于较高的峰值功率和较长的脉宽, 引起染料光学畸变而影响输出功率, 采用染料循环可改善这一畸变。氩离子激光的输出谱线大多处于若丹明 6G 的吸收峰, 较强的共振吸收使输出的峰值波长与  $\text{Ar}^+$  激光、 $\text{N}_2$  激光泵浦的相比, 向短波方向移动了 100 多埃, 与倍频的 YAG 泵浦的染料激光相同。

实验表明,用氩离子激光泵浦的染料激光器,具有较高的输出功率和较好的稳定性,可以获得较窄的谱线宽度,在激光光谱学和其他研究领域也是一个有用的手段。

### 参 考 文 献

[1] V. Haffman, P. Toschek; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1970, **QE-6**, 757.  
 [2] W. W. Simmons, Witte; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1970, **QE-6**, 466~469.  
 [3] T. W. Hänsch *et al.*; *IEEE J. Quant. Electr.*, (Corresp.) 1973, **QE-9**, 553~554.  
 [4] M. Qundesen, C. D. Harper; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1973, **QE-10**, 1160. *Rev. Sci Instrum.*, 1974, **45**, 400~402.

[5] Laird, Schearer; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1975, **QE-11**, 935~937.  
 [6] M. Gallardo *et al.*; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1979, **15**, 541~542.  
 [7] D. W. Fahey, L. D. Schearer; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1978, **14**, 220~221.  
 [8] Watarn Sasak, Shojo Saito; *Appl. Opt.*, 1980, **19**, 5.  
 [9] M. D. Lavenso, G. L. Easley; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1976, **QE-12**, 259~260.  
 [10] H. W. Kogelnik *et al.*; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1973, **QE-8**, 373~379.  
 [11] T. Shoskan *et al.*; *J. of Appl. Phys.*, 1977, **48**, 4495~4497.

(复旦大学物理系 杨远龙 孙选麓  
李富铭 1980年7月19日收稿)

## 连续和脉冲共同泵浦的 Nd<sup>3+</sup>:YAG 激光器

**Abstract:** This paper describes a new technique in which a Nd<sup>3+</sup>:YAG laser is pumped by CW and pulsed light simultaneously. With compensation of thermal lensing effect, the laser can deliver laser light at low or high repetition rates with desirable stability and lifetime and the advantage of pumping by CW and pulsed light.

我们(H. Salzmann, K. Hirsch 博士等)在西德 Stuttgart 大学等离子体研究所完成了连续和脉冲同时泵浦的新型 YAG 激光器,现从技术方面对这种激光器作一介绍。

该激光器用双椭圆聚光器中串联的高压氩灯,泵浦百分之一掺钕的 YAG 棒。为补偿输入功率 5 千瓦时的热透镜效应,棒端研磨了曲率半径为 1 米的凹面。谐振腔采用平面和全反曲率半径为 1 米的介质反射镜。为了避免器件产生过热和“疲劳”效应,采用了起伏不超过正负 1 度的冷却系统,自来水冷却液整体流入聚光器,再分别冷却灯和棒。用 GG17 玻璃滤去紫外光。水泵的流量为每分钟 35 升,为了过滤水中的杂质,冷却系统还用了由聚氯乙烯制成的微孔泡沫过滤器。

激光器工作顺序为:首先利用连续电源点燃灯,再输入 20 安培的维持电流(输入功率约 4.4 千瓦)。这里连续电源最大的输入电流为 23 安培(功率约为 5 千瓦),然后用另外的脉冲供电系统进行泵浦,成为一脉冲输出的激光器。输入连续功率是为了补偿热透镜效应,而激光的输出主要靠脉冲泵浦。该激光

器的关键是选择半反射镜的透射率,对于脉冲激光器,  $T$  应选取大一些,否则将导致连续激光输出;对于连续输出激光器,  $T$  选择小一些,并不再进行脉冲泵浦。脉冲能量的输入用 400 微法的电容器组供给,通过闸流管、机械开关直接输入到灯(电路如图 1 所示)。经过实验确定 2.3 欧姆的灯弧电阻与 200 微亨的电感和 2 欧姆的电阻串连,可以保证持续时间为 1.5 毫秒的非周期电流脉冲。二极管对连续泵浦

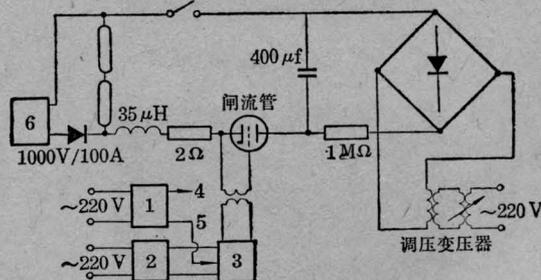


图 1 脉冲输入能量示意图

1—触发信号产生器(信号 5 比 4 延时  $\Delta T$ );  
 2—3.2 千伏供电器; 3—触发器(由信号 5 触发开启闸流管); 4—触发示波器; 6—连续激光电源