

# 高功率单频氩离子激光器\*

光学全息组

(中国科学院物理研究所)

## 一、前言

单频氩离子激光器输出的激光不但功率较高,更主要的是单色性非常好,即有很长的相干长度,因此,对于全息术研究和全息术应用来说,它是比较理想的一个光源,人们使用它,可以顺利地制作大体积、大景深目标的全息图。例如,在全息干涉计量中,被测试的物体尺寸甚至可大到几米,这就扩大了全息干涉计量方法的应用范围。

通常的氩离子激光器运转在多谱线、多模和多频状态,要获得单频输出,必须对激光器进行模式选择。选模的方法很多<sup>[1]</sup>,谱线选择通常是在激光腔内加色散元件(如色散棱镜、布儒斯特棱镜),横模选择一般是在激光腔内加小孔光阑以抑制高次模增益,纵模选择方法很多,其中以激光腔内斜插入标准具构成复式腔的结构选模效果好,它具有性能稳定、效率较高和设备较简单等优点<sup>[2-4]</sup>。采用此法,我们研制了一台单频氩离子激光器,输出功率在200毫瓦以上,相干长度5米,光强稳定度优于2%,标准具选模效率50%,用此激光源拍摄得景深1米以上的清晰全息图。

## 二、原理

器件结构原理如图1,布儒斯特棱镜作为色散元件,只能使氩离子激光器的一条谱线得以谐振输出,圆孔光阑3选择横模。因级数越高的横模沿激光腔轴集中的能量越少,随着横模级数增高,一定大小的光阑产生的损耗也逐渐增大。原则上必须选用使二级模的损耗大于激光器增益的最大光阑孔径<sup>[1]</sup>。事实上,由于

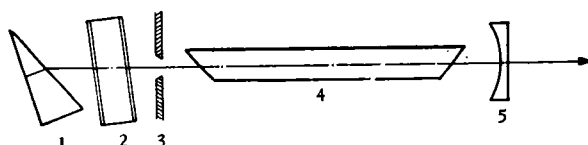


图1 高功率单频氩离子激光器结构原理  
1——布儒斯特棱镜; 2——标准具; 3——光阑;  
4——氩离子管; 5——输出反射镜

氩离子激光器横模竞争,光阑孔径可选取稍大些。实验上,很易确定光阑孔径,激光腔内斜插入的 Fabry-Perot (法布里-珀罗)标准具2与激光器谐振腔组成复式腔是纵模选择器,其环程损耗作为光频的函数如图2,损耗周期为  $c/2nd$  ( $c$ ——光速,  $n$ ——标准具折射率,  $d$ ——标准具厚度)。若使  $d$  足够小,可令在激光工作物质具有显著增益的频带内只有一个低损耗区,即令  $c/2nd \geq P$  ( $P$  为激光器增益带宽)。同时,低损耗区带宽依赖于标准具反射系数  $R$ 。若使  $R$  足够大,致使复式腔的带宽  $\Delta\nu_i$  小于激光器两相邻纵模的间隔,  $\Delta\nu_i \leq c/2L$  ( $L$ ——激光器腔长),则只有一纵模的增益得以超过激光振荡输出(见图2)。事实上,氩离子激光器模式竞争显著,比理论值小一些的  $R$  值即

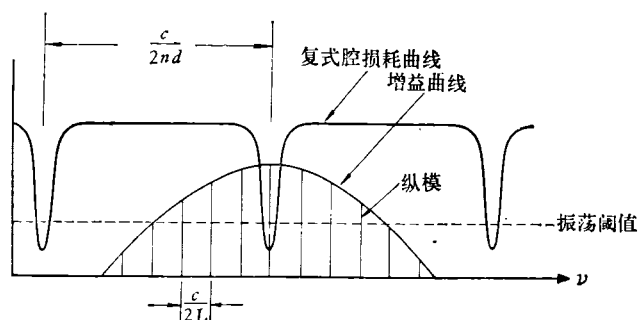


图2 激光器损耗与光频的关系

可产生单频运转。

$R$  值可由下述讨论估计: 设复式腔谐振频率为  $\nu$ , 在此频率下激光器临界增益为  $G_0$ , 频偏  $\Delta\nu = \pm c/2L$  时激光器临界增益为  $G_c$ , 若激光器运转时的增益为  $G$ , 则  $G_0 < G < G_c$  时, 激光输出为单频。

令  $A^2$  表示标准具基片的透过率,  $R_1$ 、 $R_2$  分别为激光器谐振腔两反射镜反射率,  $H$  为激光器腔内总损耗(不包含标准具的反射和吸收损耗),  $L$  为激光器腔长度,由文献[5]可导出:

$$G_c = \frac{(1 - RA^2)^2 + 4RA^2 \sin^2\left(\frac{\pi nd}{L}\right)}{(1 - R)^2 \sqrt{R_1 R_2} A^2 (1 - H)}$$

单频工作时,  $G < G_c$ , 于是  $R$  必须满足:

\* 1977年2月10日收到。

$$R > \frac{(2B+E-2A^2) - [(2B+E-2A^2)^2 - 4(B-A^4)(B-1)]^{1/2}}{2(B-A^4)} \quad (1)$$

式中  $B = GA^2(1-H)\sqrt{R_1R_2}$ ,  $E = 4A^2 \sin^2\left(\frac{\pi nd}{L}\right)$ .

由文献[2]可得插入腔内标准具的反射损耗  $S$  为

$$S = 4d\phi R/nD. \quad (2)$$

式中  $D$  为入射到标准具上光束的直径。由(2)式可知,为减少选模损耗,必须选择(1)式所允许的最小  $R$  值,并将标准具倾角  $\phi$  调到最小。另外标准具两个面的反射率必须相等,否则将导致额外插入损耗<sup>[3]</sup>。

### 三、实 验

实验装置如图1所示,图中1为顶角约34°的石英布儒斯特棱镜,斜边为入射面,镀增透膜,长边镀全反射膜。入射面与激光器光轴约成布儒斯特角以减少反射损失。在腔内不具有选模标准具的情况下,旋转此棱镜,氩离子激光器能分别输出8条谱线。

图中5为输出反射镜,反射率75—85%,半径3—6米。3是横模选择圆孔径光阑,孔径约1毫米,放置在腔内尽量靠近光束束腰处,一般均能获得良好的单横模输出。4为氩离子激光管,为我所工厂研制,其离子放电区长为80厘米,石墨放电管孔径为3.5毫米,带有充气阀,寿命达1000小时以上。激光管一般工作气压约为0.25托,放电电流约28安培,轴向磁场约300高斯。为防止布儒斯特窗污染,布儒斯特窗与阳极、阴极之间分别加反向电场,以产生小辉光放电。激光器腔长约1.87米。

氩离子激光器的增益带宽约6千兆周,我们选择厚度  $d = 1.2$  厘米的石英平行平晶作纵模选择标准具(此平晶平行度约3—5秒,平面度约二十分之一波长),组成复式腔后的损耗周期(即标准具的自由光谱程)  $c/2nd \approx 8.3$  千兆周,大于氩离子的增益带宽。标准具放在接近光束束腰处以减小由于标准具平面度和平行度较低造成的损耗。

氩离子激光器工作物质增益约为3分贝/米<sup>[4]</sup>,我们的离子管长80厘米,所以  $G \approx 1.74$ 。注意到  $R_1 = 99\%$ ,  $R_2 = 75\%$ ,  $A^2 = 0.99$ ,  $L = 187$  厘米,  $H = 32\%$ ,  $d = 1.2$  厘米,  $n = 1.5$ ,由(1)式求出单频输出所要求的标准具反射率约为27%以上。由于氩离子激光器的增益随工作电压、电流和磁场强度等而变,总损耗  $H$  也难于精确测定,因此上述27%反射系数只能作为估计值。另外由于氩离子激光器有较强的模式竞争,使得  $R$  的实际需要比计算值低些。我们实验时使用  $R = 25\%$  的标准具就足以获得良好的单频输出。

为获得最大输出,复式腔损耗曲线,激光器增益曲

线和激光器纵横位置应有图2所示关系。实验时可将标准具置于微调支架上,调整标准具倾角  $\phi$  (标准具入射面与激光器光轴的夹角),即可移动复式腔损耗曲线的位置。因为我们采用的激光器腔长较长,纵模间距远小于激光器增益带宽,故总会有一纵模处于激光器增益曲线顶部,即纵模位置不用调整。标准具位置可按如下步骤调试:先令  $\phi = 0$ ,此时由于标准具与激光腔间的寄生振荡,输出是多纵模,光强也强;再令  $\phi$  角逐渐加大,输出由多纵模变为单纵模;继续增大  $\phi$  角,单频输出由弱变强并有一最强位置,此位置即是最佳状态。

为稳定输出频率和光强,标准具必须恒温,我们将标准具置于恒温盒内恒温至  $\pm 0.05^\circ\text{C}$  以上,获得了稳定的单频运转。恒温盒是一绝热的容器。恒温控制器由探测元件、电桥、运算放大器、功率放大单元及加热镍铬丝等组成。探测元件为热敏电阻 RRC7B (武汉无线电元件厂生产,室温阻值约50千欧),它和镍铬丝一同放置于恒温盒中。此热敏电阻又可作为直流电桥的一臂。当恒温盒中的温度偏离恒定温度时,电桥的不平衡信号输至运算放大器放大,控制功率放大单元,改变流经镍铬丝的加热电流,从而使得恒温盒恒温。改变电桥的平衡点,即可调到所需的恒温温度(必须高于室温)。为了保护标准具上的介质膜,恒温温度也不宜过高,我们一般选择在  $35^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C}$  之间。

为了进一步稳定输出光强,我们用光电反馈电路将输出光强对激光管放电电流进行负反馈控制,获得单频输出强度优于2%的稳定度。

横模检测,我们是使用转镜扫描激光束,通过小孔光阑,光电倍增管接收,通用示波器显示的方法来进行的。若小孔光阑从各个方向扫过光束横截面中心,示波器显示波形均为高斯曲线,则可断定输出光束为 TEM<sub>00</sub> 模。图3为示波器波形照片。

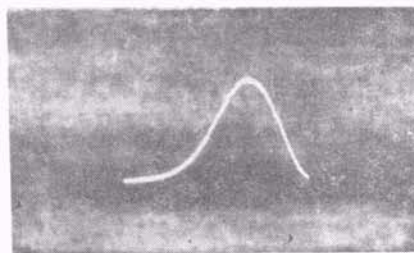


图3 转镜扫描激光波形

纵模检测是用扫描球面-平面干涉仪进行<sup>[5]</sup>。图4为无标准具时激光器多纵模输出。图5为有标准具时激光器的单纵模(单频)输出。从图可知,光强峰值半高度之频宽  $\Delta\nu_l$  约为30兆周。由  $\frac{c}{2\Delta\nu_l}$  可求出此光源的相干长度约为5米。



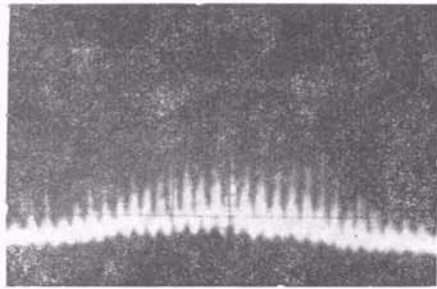


图4 无标准具时激光器多纵模输出

我们使用的标准具介质反射膜是窄带的,故只能获得 4880 埃和 5145 埃两波长的单频运转,若改用宽带介质反射膜,可在氩离子激光器较强的几条谱线处均得到单频输出。

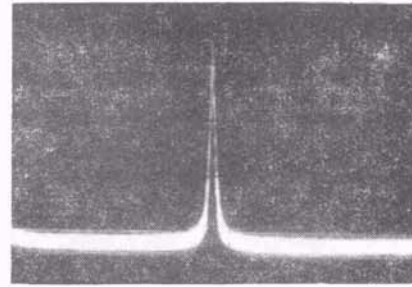


图5 有标准具时激光器单频输出  
(图中每格为 285 兆周)

#### 参 考 文 献

- [1] Smith, P. W., *Proc. IEEE*, 60-4 (1972), 422.  
[2] Hercher, M., *Appl. Opt.*, 8-6 (1969), 1103.  
(下转第 145 页)

(上接第 192 页)  
为:

$$\sum m_i + \int \rho d\tau = \text{const.} \quad (22)$$

其中  $m_i$  是第  $i$  个物体的质量,  $\rho$  是连续分布质量的密度,  $d\tau$  是空间的体积元,式中的质量是一个与速度有关的量,而质量密度的积分应包括计算场的质量。

由于质量和能量的深刻联系以及发现了静止质量和运动质量的转化,不少人建议把质量守恒定律改称为质量守恒及转化定律,可是亦有人觉得,惯性质量和引力质量就不能相互转化,在质量的定义没有明确统一之前,为慎重起见,暂时不必急于把质量守恒定律改称为质量守恒及转化定律。

对于赞成质能可以转化的一些同志,则主张把两个独立的定律改成质量加能量守恒定律。

### 三、结 语

围绕着与质量有关的一些问题的争论,经历了相当长的岁月。我们感到至今各种意见尚未取得一致的原因,主要来自三个方面:

1. 物理学对质量的若干问题离开解决还相差很远,无论从理论上还是实验上都有许多问题需要探讨。例如  $E = mc^2$  中质上不同的能量形态是否只与具有一种形态的质量相联系? 机械质量和电磁质量具有相同变化规律的更深刻的原因是什么? 场的质量应该如何用实验来进行测量? 等等。

2. 在争论中涉及的名词、术语(诸如“量”、“物质”、“物质之量”、“惯性”、“转化”等等)表示什么意思? 它们包含什么内容? 各人理解不尽相同,甚至有明显的分歧。因而使讨论不够集中,在一定程度上造成了误解和混乱。

3. 对革命导师的许多教导学习不够,领会不深,而且没有很好发动群众参加讨论。

质量、能量问题不仅仅是个物理问题。我们必须从辩证唯物主义的立场出发,进行调查研究,把握和研究它的一切方面,一切联系和‘媒介’,深入事物里面精细地研究矛盾特点,才能把讨论逐步引向深入。我们相信,通过深入的讨论,对现有水平能够搞清楚的问题可以逐步取得一致的意见,对不清楚的问题也能使大家明确起来,为今后物理学的理论和实验的进一步研究指出方向。更重要的是,通过群众性的讨论,不仅对物理学知识是一个大普及,而且促进了我们更好地学习马列和毛主席著作,提高分析问题的能力,更好地对渗透在物理学中的唯心主义和形而上学进行革命的大批判。

#### 参 考 文 献

- [1] Newton, Isaac. *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (1687), 中译本《自然哲学之数学原理》商务印书馆(1962), 1.  
[2] Бралинский, В. Б. Панов, В. И., *ЖЭТФ*, 61 (1971), 875.  
[3] Иваненко Д., *Новейшие Проблемы Гравитации* (1961) 5-56.  
[4] 胡宁,《广义相对论》油印讲义(1967年春), 3.  
[5] Roll, P. G. Krofkov, R. and Dicke, R. H., *Annals of physics*, 25 (1964), 442-517.  
[6] 《郎之万选集》(1949), 83.  
[7] Иваненко Д. и Соколов, А., *Классическая теория поля*, (1951),  
[8] Einstein, A., *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*, *Ann. der physik* 17 (1905), 891.  
[9] Galdhaber, A. S. and Nieto M. M., *Terrestrial and Extraterrestrial Limits on the photon Mass*, *Rev. Mod. Phys.*, 43-3 (1971), 277-296.  
[10] Fischer, F. A. *Fundamentals of Electroacoustics*, (1955).  
[11] 《苏联关于质量和能量问题的讨论》, 科学出版社(1959).