

HND-120 型可见光 He-Ne 多谱线激光器的研制

游大江 赵绥堂

(北京大学)

提要: 研制了一种用色散棱镜调谐的多谱线 He-Ne 激光器。已获得可见区内 8 种不同波长的输出, 在 6328 埃与 6118 埃处的输出功率分别为 30 毫瓦和 10 毫瓦。讨论了有关这类多谱线激光器的设计问题及其性能。

Study of model HND-120 visible multi-wavelength He-Ne laser

You Dajiang, Zhao Suitang

(Department of Physics, Beijing University)

Abstract: A multi-wavelength He-Ne laser tuned by a dispersion prism has been developed. Laser lines of eight different wavelengths in visible region have been obtained with 30 mW output power at 6328 Å and 10 mW at 6118 Å. Some problems on the design of this laser are discussed and its performances are described.

一、引言

HND-120 型可见光氦-氖多谱线激光器, 是在研制 6118 Å He-Ne 激光器的基础上^[1], 对 HND-120 型 He-Ne 激光器作了一些重要改进后研制成功的。这种多谱线激光器可输出 7305、6401、6352、6328、6294、6118、6046 和 5939 Å 等波长的偏振激光。在换了输出镜片后, 还能使 6328 Å 的激光输出功率在 30 毫瓦以上, 6118 Å 的激光输出功率在 10 毫瓦以上。因而它可作为校准单色仪等光学仪器的光源, 测量光学器件的

频率特性, 如测定光电管的量子产额与频率的关系等; 它还可用于激光测长、光测弹性、光全息照相及光信息处理等研究工作中。

我们所研制的 HND-120 型氦-氖激光器, 它输出的是可见激光, 这些波长的激光分别属于 Ne 原子 $3s_2 \rightarrow 2p_i$ 的受激跃迁^[2~4]。激光器采用外腔式, 在腔内附加色散棱镜(图 1)来获得调谐波长, 选择不同波长的激光输出。



图 1 HND-120 型氦-氖多谱线激光器原理示意图

收稿日期: 1982 年 12 月 20 日。

由于 6118 \AA 等波长的激光增益远低于 6328 \AA , 因此整个系统的设计必须使损耗尽可能地小。这就要求我们对腔结构的选取、棱镜和窗片材料的选用及设计加工、反射镜片的选取及波长调谐结构的机械设计和加工等作深入细致的考虑。

二、HND-120 型激光器的设计

1. 腔结构的选择

为减少系统的损耗, 合理地选择腔结构是十分重要的。对 TEM_{00} 模, 共焦腔具有最小的衍射损耗。此外因选波长时需要转动放置有棱镜和反射镜组合部件的平台, 故希望腔对可能引起的竖直方向上的角度失调灵敏度要低(即允许的校准容限较大)。共焦腔和半球腔有着较大的校准容限^[5], 所以我们选近共焦腔结构, 其参数如下:

毛细管直径 $d=2.4$ 毫米
增益管长 $l_0=1000$ 毫米
腔长 $l=1200$ 毫米
反射镜曲率半径

R_1, R_2 取 $2000 \sim 3000$ 毫米

2. 对布鲁斯特窗片和反射镜片的考虑

在 HND-120 型激光器中的激光管, 其两端布氏窗片是用透明度较高损耗较小的石英材料加工而成的。腔的反射镜我们选用对波长 6328 \AA 的反射率 $r_2=99.9\%$ 的膜片。 R_1 是输出镜片, 由于对不同波长的激光有着不同的最佳输出, 因此我们选用了以下几种膜片: 反射率 $r_1=98.8\%$, 透过率 $t_1=1.00\%$, $R_1=\infty$; 反射率 $r_1=99.8\%$, 透过率 $t_1=0.05\%$, $R_1=2$ 米; 反射率 $r_1=99.0\%$, 透过率 $t_1=0.5\%$, $R_1=3$ 米。

3. 色散棱镜

色散棱镜的顶角

$$\alpha = 2 \operatorname{tg}^{-1} \frac{1}{n} = 2 \psi_i,$$

ψ_i 为棱镜的内布氏角。棱镜的材料是用石英

玻璃和 ZF_2 玻璃, 表面加工光洁度要求较高 ($\text{I} \sim \text{II}$ 级)。

在研制过程中, 我们发现对于近共焦腔结构, 强激光谱线出光时, 当棱镜和反射镜的组合部件左右偏调 $1'$ 时, 仍可出该谱线激光, 偏调到 $1'$ 多才被抑制。所以, 如果想要分开两条不同波长的激光, 就必须选择适当的玻璃材料做色散棱镜, 使色散角满足:

$$d\delta > 1.5' = 4 \times 10^{-4} (\text{弧度}).$$

石英玻璃虽然吸收系数较小, 但色散不够大, 若只用一个石英色散棱镜, 就无法使 6328 \AA 与 6352 \AA 两谱线间的色散角 $d\delta > 1.5'$, 故无法选出 6352 \AA 激光。 ZF_2 玻璃具有色散较大的优点, 但吸收系数也较大。因此在研制时, 我们分别使用石英和 ZF_2 玻璃两种材料来制造布氏角棱镜, 前者可使腔内损耗小、输出功率大, 而后者可使 6352 \AA 与 6328 \AA 等较近的激光谱线分开, 达到选波长的目的。表 1 给出了各类棱镜和不同波长所对应的色散角 $d\delta$ (均以 6328 \AA 为基准计量)。

棱镜除要求表面光洁度外, 还要求底部与顶角棱垂直, 偏离垂直量应小于 $10'$ 。这样便于安装调整, 使棱镜顶角棱和平台转轴平行。

此外, 对放电管的布氏角及二布氏窗片之间的扭角也都有较高的要求, 计算结果表明为了使整个系统损耗小于 0.1% , 应使扭角 $< 24'$, 布氏角的偏离量也应 $< 25'^{[4]}$ 。

4. 波长调节机构

波长调节机构的设计要求是: (a) 在旋转棱镜和反射镜组合部件的过程中, 入射面始终应垂直于棱镜顶角棱; (b) 水平方向(或竖直方向)转动的微调机构能微调至 $10''$ 的量级; (c) 转台的旋转轴应和色散棱镜的顶角棱平行。此外反射镜应和棱镜同固定在平台上, 反射镜本身还应有二维调节能力, 以便校准谐振腔的光轴与放电毛细管的轴线重合。

5. 增益管配气比和总气压

由于这几条谱线都具有共同的上能级

表 1 $d\delta$ 与棱镜材料及波长的关系

棱镜材料	顶角 α	$d\delta$								
		7305 Å	6401 Å	6352 Å	6328 Å	6294 Å	6118 Å	6046 Å	5939 Å	5433 Å
ZF ₂	61°49'±2'	-1°02'40''	-4'41''	-1'35''	0	2'	14'02''	18'49''	25'57''	
熔融石英	68°54'±2'	-16'14''	-1'31''	-29''	0	45''	4'24''	5'55''	8'07''	10'42''

$3s_2$, 从荧光测试又可看到下能级 $2p_i$ 的粒子布居数随放电电流增加而增加的情况, 虽然各有差别, 但上下能级间最大的粒子布居数之差值 $(N_{3s_2} - N_{2p_i} \frac{g_{3s_2}}{g_{2p_i}})_{\max}$ 对这几条谱线差别都不太大, 只是 $3s_2 \rightarrow 2p_{10}$ (5433 Å) 的小一些, 它仅是其它谱线粒子布居数差平均值的 0.65 倍^[4], 所以我们仍采用与 HND-120 型管子相同的最佳配气条件:

$${}^3\text{He}:{}^{20}\text{Ne}=7:1; p_{\text{总}} \cdot d=3.6 \text{ 托} \cdot \text{毫米}.$$

三、工作条件和激光器性能

对 6118 Å 等弱增益谱线, 工作电流的选取是十分重要的。在研制中发现 6118 Å 和 6328 Å 波长激光的最佳工作电流相差甚大。而且最佳工作电流还随 pd 值而改变, pd 值高时, 最佳工作电流降低, pd 值低时, 最佳工作电流升高。

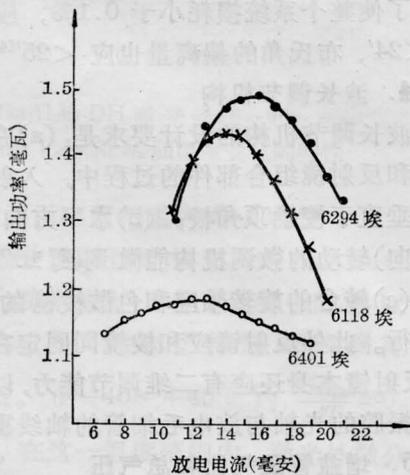


图 2

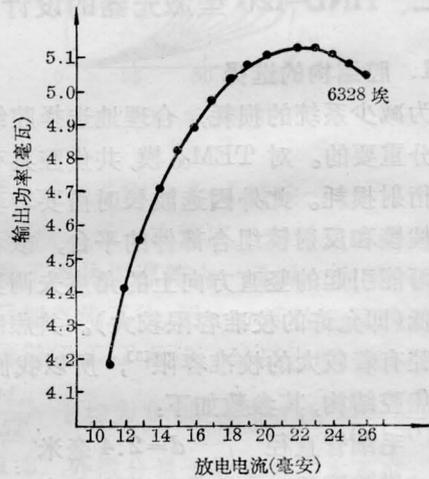


图 3

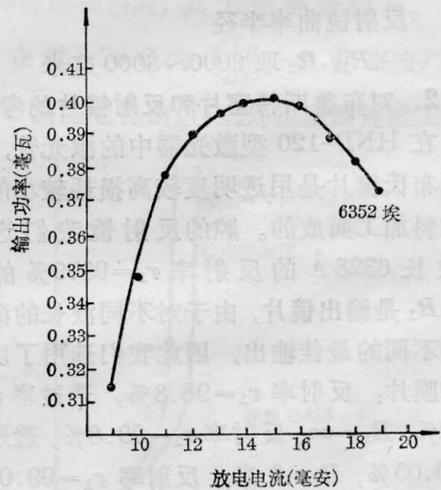


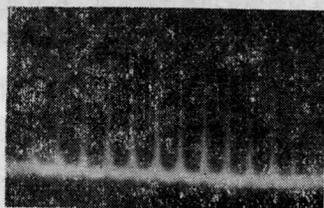
图 4

图 2~4, 分别给出了 5 个不同波长的激光谱线, 其输出功率随放电电流变化。

为满足各种不同的需要, 我们在两台激光器上分别配上两种不同的调节装置: A 型是平台式的, 可产生水平偏振光, 用 ZF₂ 玻

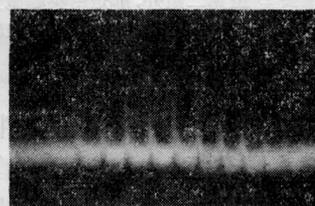
表2 HND-120 型激光器的部分特性参数测量值

项 目	波 长 (Å)							
	7305	6401	6352	6328	6294	6118	6046	5939
启辉电压(千伏)	<9.5							
工作电压(千伏)	3.9	3.8	3.8	3.6	3.8	3.8	3.9	3.9
工作电流(毫安)	11.0	12.0	15.0	23.0	16.0	15.5	12.5	11.0
激光模式	TEM ₀₀							
功率稳定性	优于 ±5%							
发散角	平凹 ($R_1=\infty$ $R_2=3$ 米) 0.8 毫弧度				凹凹 ($R_1=3$ 米 $R_2=3$ 米) 1.0 毫弧度			
偏振方向	A 型 水平 ±5°				B 型 垂直 ±5°			
偏振度	优于 3%。							



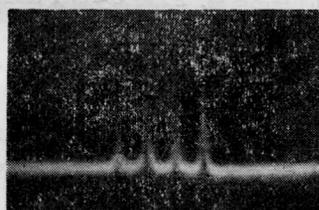
B 型 6328 Å, 输出 30 毫瓦

图 5



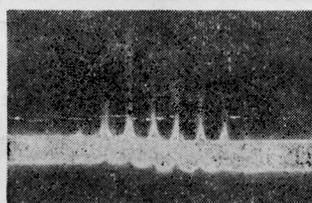
B 型 6118 Å

图 6



B 型 7305 Å

图 7



B 型 6046 Å

图 8

表3 A 型激光器参数测量值

ZF₂ 棱镜 $R_2=3$ 米 $r_2=99.9\%$ $R_1=3$ 米 $r_1=99.42\%$ $t_1=0.18\%$

项 目	波 长 (Å)							
	7305	6401	6352	6328	6294	6118	6046	5939
输出功率(毫瓦)		1.2	0.3	5.9	1.5	1.2		
最佳工作电流(毫安)		12.0	15.0	20.0	15.5	15.5		
多普勒线宽内纵模间隔个数		10	8	17	9	8		

表4 B型激光器参数测量值

石英棱镜 $R_2=3$ 米 $r_2=99.9\%$

输出镜片特性	测量项目	波 长 (\AA)							
		7305	6401	6352	6328	6294	6118	6046	5939
$R_1=\infty$ $r_1=98.8\%$ $t_1=1.0\%$	输出功率(毫瓦)				31		9.4		
	纵模间隔数(个)				14		10		
$R_1=3$ 米 $r_1=99.2\%$ $t_1=0.5\%$	输出功率(毫瓦)		7.9		23		7.9		
	纵模间隔数(个)								
$R_1=2$ 米 $r_1=99.88\%$ $t_1=0.05\%$	输出功率(毫瓦)	0.6	0.3		2.1	0.4	1.8	0.9	0.7
	纵模间隔数(个)	7	9		16	10	10	8	4
	最佳工作电流(毫安)	11.0	12.0		20.0	15	15.5	12.5	11.0

注: (1) 表上给的镜片特性都是用 6328 \AA 激光测定的。

(2) 功率读数除去 B 型第二组外, 都是用英国激光仪器公司 154 型热偶式功率计测定的。B 型第二组则是用 JGK-1 型激光功率计测定的, 未作光谱灵敏度的校正, 但与 154 型作过比较在以上频率范围内二者相差不超过 ± 0.1 毫瓦。

璃棱镜能将 6352 \AA 与 6328 \AA 谱线分辨开, 所以能产生 6352 \AA 的激光; B 型是插件式的转镜固定在竖直调节板上, 可产生垂直偏振光, 用石英玻璃棱镜可提供较高的输出功率。当配上全反镜后, 可输出 6352 \AA 及 5433 \AA 以外的其它七条谱线。

表 2 给出了 HND-120 型激光器的一般工作条件和部分参数测量值。

图 5~8 给出了其中几条谱线在多普勒线宽内的纵模图象, 它们都是在 TEM₀₀ 模运转。

表 3 及表 4 给出 A 和 B 两种类型的激光器配上不同输出镜片后各种波长的输出功率等参数测量值。

本研制工作曾得到中国计量科学研究院量子室、上海玻璃仪器一厂等单位的大力协助和热情帮助, 在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 郑乐民等; “中国电子学会第三届全国学术会议年会议论文集”, 1982, p. 119.
- [2] 北京大学物理系光学教研室编; “激光原理”, 1981, p. 64, 199.
- [3] C. L. Tang; “Methods of Experimental Physics”, 15, Part A, Quantum Electronics, New York, 1979, p. 101~113.
- [4] 郑乐民等; 《北京大学学报》(自然科学版), 待发表。
- [5] J. P. Goldsborough; Laser Handbook, 1972, 1, 599.