

## 6328 埃氩氟激光器激光波长的绝对测量\*

中国计量科学研究院激光组

近年来, 氩氟激光器在计量学方面获得了日益广泛的应用。其中一类重要的用途是利用激光光束的高度相干性这一特点。例如将激光器作为干涉仪的光源目前广泛地用于线纹尺的自动检定, 刻线以及坐标镗床的定位等等。在这些应用中, 光波波长实际上是起了“光学尺”的作用。显然, 激光波长的不准确会直接影响测量结果的准确度。因此, 必须对所使用的激光器的波长进行准确的绝对测量。

### 一、测量装置

测量工作是在法卜利—珀罗标准具的联合装置上进行的。其光路见图1。标准具长100毫米, 由熔融石英制成, 并置于真空容器中。

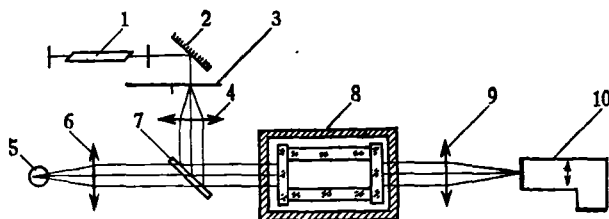


图1 测量装置光路图

1—激光器；2—反射镜；3—旋转毛玻璃屏；4、6、9—透镜；5—<sup>86</sup>Kr灯；7—半透玻璃板；8—带真空容器的标准具；10—光谱仪。

由激光器1出射的激光光束经反射镜2反射后, 射到旋转毛玻璃屏3上而被散射。透镜4将此散射光变成平行光并经平板7反射, 最后进入标准具。由标准光源<sup>86</sup>Kr灯5出射的光束经透镜6后变成平行光, 随后透过平板7与激光光束重合, 两者同时进入标准具。透镜9精确的调到使其焦平面与光谱仪的人射光缝重合。因此, 在光谱仪的人射光缝上形成了标准具的等倾干涉圈。通过光谱仪10对标准光束和被测光束的干涉图形同时进行照相。测量出照相底片上各干涉圈的直径之后, 应用罗尔脱和巴勒尔公式 (Rolt和Barrell)<sup>[1]</sup>

$$\varepsilon = \frac{\sigma \Sigma - S}{kS - s \Sigma}$$

即可求出干涉级次的小数。式中  $\varepsilon$  是干涉图形中心处干涉级次的小数,  $k$  是所测量的干涉圈数, 而

$$S = 1 + 2 + \cdots + (k - 1),$$

\* 1972年3月3日收到。

$$\begin{aligned}\sigma &= 1^2 + 2^2 + \cdots + (k-1)^2, \\ \Sigma &= D_1^2 + D_2^2 + \cdots + D_k^2, \\ S &= D_2^2 + 2D_3^2 + \cdots + (k-1)D_k^2,\end{aligned}$$

$D_k$ 是由中心算起第  $k$  个干涉圈的直径。得到  $\varepsilon$  后,再经过很简单的计算就可以求得激光波长。

所用的激光器是自己制造的氦氖激光管,放电毛细管长 150 毫米,充气比例 He:Ne = 5:1。为了消除较高序数的横模,谐振腔由一块平面镜和一块曲率半径大于 1 米的球面反射镜组成。采用小振幅调制的方法使激光频率稳定于输出功率曲线的兰姆下陷的中心。

光路中旋转毛玻璃屏的作用有两个:其一是防止由干涉仪返回的光进入谐振腔而影响稳频控制;另一方面,由于激光具有较好的空间相干性和时间相干性,因此在非工作面上的反射光也会在透镜 9 的焦平面上产生干涉条纹而影响测量的准确度。旋转毛玻璃屏的作用就是将这些寄生的干涉条纹变成均匀的背景而提高测量的准确度。

## 二、测量结果

我们测量了若干支  $^{20}\text{Ne}$  和  $^{22}\text{Ne}$  同位素激光器的输出波长。其中 Ne 的纯度是 99%,  $^{20}\text{Ne}$  的丰度是 99.77%,  $^{22}\text{Ne}$  的丰度是 99.8%。测量结果举例见表 1 和表 2<sup>1)</sup>。

表 1  $^{20}\text{Ne}$  激光波长测量结果

激光器编号	测得波长值(埃)	测量结果散发 $3\sigma$ ( $\times 10^{-4}$ 埃)
No. 21	6329.91418	$\pm 0.6$
No. 30	6329.91415	$\pm 0.9$
平均	6329.91416	

表 2  $^{22}\text{Ne}$  激光波长测量结果

激光器编号	测得波长值(埃)	测量结果散发 $3\sigma$ ( $\times 10^{-4}$ 埃)
No. 10	6329.90216	$\pm 0.6$
No. 12	6329.90223	$\pm 1.0$
No. 13	6329.90232	$\pm 0.8$
No. 20	6329.90223	$\pm 0.6$
No. 31	6329.90220	$\pm 1.2$
No. 34	6329.90224	$\pm 1.0$
平均	6329.90223	

1) 表 1, 表 2 中所列数据均为十次测量的平均值。

由上述结果可知,各激光管之间的波长差约在  $3 \times 10^{-8}$  范围内. 两种同位素的激光波长各为

$$\lambda_{20} = 6329.91416 \text{ 埃},$$

$$\lambda_{22} = 6329.90223 \text{ 埃}.$$

此结果与文献[4]所给的数据是一致的.

### 三、测量误差

测量误差可以分成偶然误差和系统误差两部分. 在我们的测量中,偶然误差包括激光光源本身的不稳定性和测量干涉级次小数时的误差,其中主要是后者. 两者最终都表现为测量结果的散发,因此可以用测量结果的散发来表示偶然误差的大小.

系统误差大致可包括:标准波长的误差;两种波长在反射时位相跃变的不一致而引入的误差;以及当标准具两平板不平行时,由于标准光束和被测光束的不重合而带来的误差等等.

我们将系统误差和偶然误差(以极限误差表示)的合成作为测量的总误差. 在我们的测量中,所得的总误差为:

$$\delta = \pm 1.9 \times 10^{-4} \text{ 埃}.$$

若以相对误差表示,则约为  $3 \times 10^{-8}$ .

### 四、测量结果讨论

#### 1. 同位素漂移

根据对  $^{20}\text{Ne}$ ,  $^{22}\text{Ne}$  激光波长的测量结果,可以验证两者对于 6328 埃谱线的同位素漂移. 经计算后得到同位素漂移  $\Delta\lambda$  为

$$\Delta\lambda = \lambda_{20} - \lambda_{22} = (119.3 \pm 2.1) \times 10^{-4} \text{ 埃},$$

或写成

$$\Delta\nu = \nu_{22} - \nu_{20} = 893 \pm 16 \text{ 兆赫}.$$

此结果与 Cordover, Taseja 和 Javan<sup>[2]</sup> 所给的  $875 \pm 12$  兆赫以及 Schweitzer<sup>[3]</sup> 所发表的  $901 \pm 20$  兆赫的结果都是符合的.

#### 2. 激光器波长的复现性

除了波长的绝对测量之外,各激光器之间的波长复现性的研究也是很重要的. 因为就目前情况而言,激光波长的复现性要低于激光波长的稳定性和波长测量的准确度. 因此还必须对复现性进行研究.

我们测得的  $^{20}\text{Ne}$  激光波长为 6329.9142 埃. 而过去曾对另一批  $^{20}\text{Ne}$  激光器作了测量,结果是 6329.9145 埃. 这两批激光器的制造工艺都是一样的,各种参数也基本相同,但两者的测量结果有明显的差别,相差达  $5 \times 10^{-8}$ . 而同一批激光器之间的差别则较小,约是

$3 \times 10^{-8}$ 。根据 NBS, NPL 和 PTB<sup>[4]</sup> 以及 ВНИИМ<sup>[5]</sup> 的报导, 稳定在兰姆下陷的氦氖激光器波长的复现性约在  $1 \times 10^{-7}$  左右, 其波长值在 6329.9147 埃到 6329.9134 埃之间, 这与我们的结果是符合的。

此外, 由于工作中的激光器内的气压和混合比是变化的, 因此也会产生波长的逐渐漂移。根据 PTB<sup>[4]</sup> 的测量结果, 在开始 1000 小时内约有  $2 \times 10^{-8}$  的变化, 并且随后波长降低得更快。这数值与波长的复现性相近了。为了使激光器的应用更正确和可靠, 这是必须注意的。

最后, 还必须强调一下, 由于激光器的复现性较差, 使用过程中又有波长漂移出现, 因此在较精密的测量中除了必须对激光的波长进行测量外, 还必须经常的进行周期检定或追加时间的修正量, 以保证测量结果的正确。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] Candler, C., *Modern Interferometers*, Hilger & Watts, London, 1951.
- [ 2 ] R. H. Cordover, T. S. Jaseja, A. Javan, *Appl. Phys. Letters*, 7 (1965), 322.
- [ 3 ] W. G. Schweitzer, Jr., *Appl. Phys. Letters*, 13 (1968), 367.
- [ 4 ] K. D. Mielenz, K. F. Nefflen, W. R. C. Rowley, D. C. Wilson and E. Engelhard, *Appl. Opt.*, 7 (1968), 289.
- [ 5 ] Н. А. Калинин, Ю. П. Ефремов и Е. И. Латышева, *Измерительная техника*, 9 (1967).