

6328Å He-Ne 激光的真空波长和重复性

量子室激光组

(中国计量科学研究院)

一、为什么要测量激光波长和它的重复性

利用激光的高度相干性而制成的激光干涉仪,目前在计量和工业生产部门已经成了非常有效的实用工具,例如在激光比长仪中,1米长度的测量准确度可达±0.2微米,而几十米长度的测量误差也可达百万分之一左右。在激光器出现之前,要达到这样的测量准确度是完全不可能的。这种激光干涉仪通常都要使用频率稳定的单频 He-Ne 激光器作为测量的波长标准。随着激光干涉仪的应用日益普及,生产和使用这种稳频 He-Ne 激光器的单位越来越多。为了能正确使用这种稳频激光器,必须知道其输出激光的准确波长值和它们的重复性;同时也必须估计到使用过程中可能产生的波长漂移。为此,我们对若干支不同类型的单频 He-Ne 激光器作了波长的绝对测量,并且同时利用拍频技术对各激光器之间的差频作了测量,以确定所能得到的重复性。

二、激光波长的绝对测量

6328 Å He-Ne 稳频激光器可以产生单频的,其频率稳定在兰姆下陷中心的激光辐射。过去,我们曾对这种激光器的真空波长作了测量^[1]。由于目前已有不少单位生产这种激光器,因此我们进一步对各单位生产的不同类型的稳频激光器的输出波长作了测量。我们共测量了四支激光管的波长,其结果见表1。

其中三支是用文献[1]所介绍的方法与长度基准⁶⁶Kr 相对比而得到其波长值,它们分别是由中国计量科学研究院实验工厂、上海计量测试管理局以及上海海光玻璃制品厂生产的。第四支激光管(清华大学制造的 No. 752215 激光管)的波长值是通过下节所述的拍频技术测量它与 No.7539 激光管之间的差频而得到的。四支激光管都具有近似相同的参数,充气压力约

为 2.8—3 托,充气比例为 He:Ne = 7:1,放电电流约为 4—6 毫安,除中国计量科学研究院制造的是外腔型外,其余三支均为半内腔型。

表 1 测得的波长值

激光管编号	生产单位	波长值(Å)
No.7539	中国计量科学研究院 实验工厂	6329.9142±0.0001
No.2	上海海光玻璃制品厂	6329.9144±0.0001
No.7512	上海计量测试管理局	6329.9140±0.0001
No.752215	清华大学	6329.9142±0.0001
平均值		6329.9142

上表中的不确定度为测量结果平均值的极限误差。由表可知,各激光管的波长值与平均波长 6329.9142 Å 的最大偏差为 ±0.0002 Å,即相当于 3.2×10^{-8} 。

三、用拍频技术测量两激光管之间的差频

与无线电中的差拍技术一样,当两激光辐射的波前调整到相一致,并射到接收器(例如光电倍增管)上时,在光电倍增管上就能检测到其差拍信号,该信号的频率即是两激光辐射的频率之差。由于和波长测量相比,频率测量能得到高得多的相对准确度,因此用测量两激光管之间差频的方法来确定激光波长的重复性要准确得多。

用拍频技术测量两激光辐射之间差频的方法如图 1 所示。从两激光器出来的光经反射镜 R 和半反射镜

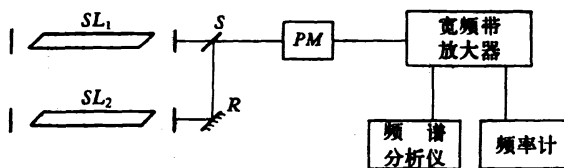


图 1

S 后,使它们的波前相重合。用光电倍增管 PM 接收差频信号,此信号经宽频带放大器后用频谱分析仪观察,同时用频率计测量差频的频率。为了减小拍频信号的频带宽度,必须使加在稳定激光器 SL_1 和 SL_2 上的调制信号同步,这样可以提高测量的准确度。

由于 No.7539 激光波长最接近于平均波长值,因此下文中所有激光器的拍频测量都是相对于 No.7539 激光器进行的,因此下面各表中的 $\Delta\nu$ 均表示相对于 No.7539 激光频率的偏差。

利用拍频方法作了下述三项工作:

1. 波长测量可靠性的验证

测量了 No.7539 与 No.2 激光管的差频,其结果为 $\Delta\nu = \nu_2 - \nu_{7539} = -11$ 兆赫,将其改写为波长差则得 $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_{7539} = +0.00014 \text{ \AA}$ 。在测量误差范围内,此结果与表 1 的结果相符。

2. 同型号激光器的重复性

取中国计量科学研究院 1975 年制造的四支激光管,测量它们与 No.7539 激光管的差频。测量结果列于表 2。结果表明,新制造的各激光器其最大差频约为 ± 6 兆赫,即相当于 $\pm 1.3 \times 10^{-8}$ 。

表 2 同型号激光器的重复性

激光管编号	制造日期	差频 $\Delta\nu$ (兆赫)
No.7539	75.4.9	—
No.7515	75.2.27	≈ 0
No.7526	75.3.26	-6
No.7543	75.4.17	+6
No.753*	75.9.11	≈ 0

* 该激光管结构与 No.7539 不同,是半内腔型的。

3. 长时间使用后波长的漂移

取经过长时间使用的外腔激光管五支,其中两支已使用了一年,其余三支已使用了长达两年,分别测量了它们与 No.7539 激光管的差频。其测量结果示于

表 3 长时间使用后激光管的频率(波长)漂移

激光管编号	制造日期	差频 $\Delta\nu$ (兆赫)
No.7309	1973 年 5 月 15 日	-17
No.7310	1973 年 5 月 15 日	-14
No.7324	1973 年 6 月 7 日	-8
No.7407	1974 年 4 月 25 日	-8
No.7405	1974 年 4 月 25 日	0

表 3。测量表明,经使用后的激光管频率变低,即波长变长。测得的最大变化为 -17 兆赫,即相当于 3.6×10^{-8} 。

四、结果分析

根据上述测量,氮氦比例为 7:1,充气压力在 2.8—3 兆范围内,测得各激光管的平均波长值为 6329.9142 \AA ,这与我们过去的测量结果是一致的^[1],与恩格尔哈德 (E. J. G. Engelhard), 阿布德尔-哈迪·穆罕默德 (K. Abdel-Hady Mohamed) 所测得的波长值与充气压力之间的关系^[2]也是符合的。

同时,由表 1 和表 2 两项测量可知,在不包括激光波长老化漂移时,充气压力在上述范围内的各激光管波长的重复性通常优于 5×10^{-8} 。

波长的老化漂移问题比较复杂一些,西德技术物理研究所曾得到了随工作时间的增加发射波长逐渐变短^[3]的结论,而我们测得的老化漂移方向是使波长变长(见表 3)。漂移方向不同的原因估计是由于引起漂移的机理不一样所致。如果我们测得的老化漂移是由于管内气体的损耗所引起的,则激光波长的压力位移是兰移,这与文献 [2], [4], [5] 的报道是一致的。同时,由表 3 可知,各激光管的漂移速率也不一样。因此要正确地估计长时间使用后波长的变化及其大小是很困难的。但根据我们对 No.7309 及 No.7310 两支激光管的测量,它们的波长变化约在 $3-4 \times 10^{-8}$ 左右,这时它们的输出光强与其它激光管相比已明显地变弱。文献 [3] 也曾报道了当波长变化了 6×10^{-8} 以后就不能再锁到兰姆下陷上了。因此,可以估计,当使用中激光器的输出光强无明显变弱时,其波长的老化漂移通常不会超过 5×10^{-8} 。

参 考 文 献

- [1] 中国计量科学研究院激光组,《物理》,2(1973),40.
- [2] Engelhard, E. J. G., Abdel-Hady Mohamed, K., J., *Opt. Soc. Amer.*, **61** (1971), 216.
- [3] Mielenz, K. D., Nefflen, K. F., Rowley, W. R. C., Wilson, D. C., and Engelhard, E., *Appl. Opt.*, **7** (1968), 289.
- [4] Helmcke, J., *PTB-Bericht, PTB-Me-5*, März (1974), S29-39.
- [5] Мехненко, Г. А., Проценко, Е. Д., Содой, Е. А., *ОПТ и Спектр*, **32** (1972), 809.