

基准电压采用电压稳定度 $S_v < 5 \times 10^{-7}$ 的 6 V 电压源。

射极跟随器与电压放大器均采用低零飘、高稳定性的运放组成。

功率放大器采用高反压的三极管对管组成。高压电源输出电压为 700 V, 长期稳定性优于 0.1%。

仪器经鉴定会测试组测试功率稳定度由表 1 所示。鉴定会测试组还对 LS-II 激光稳功率仪的动态控制能力及系统插入光损耗进行了实测, 结果是:

采用人为变动激光器工作电流, 使激光器输出光功率变化 $\pm 5\%$, 经稳功率仪稳定后变化为 $\pm 0.2\%$ 。

插入光损耗经测试约为 50%。

表 1

时 间	激光器自身稳定度	经稳功率仪后的功率稳定度
1:05~1:35	$\pm 2.8\%$	$\pm 0.11\%$
1:35~2:35	$\pm 5.4\%$	$\pm 0.10\%$

(上海市测试技术研究所 袁海林

金承谦 邱慧珠

上海硅酸盐研究所 刘建民

孙仁英 徐 力

1984 年 12 月 21 日收稿)

一台高准确度的激光波长计

Abstract: Model XCD-1 laser wavemeter is an interferometer with single corner-cube reflector. It can avoid cross-coupling between lasers. A calculator is used for calculation in the circuit. The influence of the lasing interruption of the dye laser can be eliminated by the phase-locked frequency multiplication technique and the envelope detection, automatic resetting. The wavemeter is calibrated with the saturated absorption of the spectral line of ^{23}Na atom. Its absolute accuracy is up to 2×10^{-7} .

染料激光器及高分辨激光光谱研究需要波长的绝对测量。为此, 研制了这台高准确度波长计。

一、基本原理和设计考虑

在图 1 中, 当参考和待测的激光光束同时射入干涉仪, 在它们彼此同轴条件下, 角锥反射镜沿导轨匀速移动一定距离, 分别记录下两激光干涉条纹数, 就可以求得待测激光的波长 λ_2 。

$$\lambda_2 = \frac{n_2}{n_1} \cdot \frac{N_1}{N_2} \lambda_1 \quad (1)$$

式中 λ_1 、 λ_2 分别为参考和待测激光真空波长; N_1 、

N_2 为相应的干涉条纹数; n_1 、 n_2 分别为波长 λ_1 、 λ_2 的空气折射率。在真空中 $\frac{n_2}{n_1} = 1$, 在一般实验室条件下必须算出 n_2/n_1 , 对待测波长加以修正。修正公式是:

$$R = \frac{n_2}{n_1} = 1 + [(0.4007\sigma_2^2 - 1) \times (25.63 - 1.339t + 0.00395P) \times 10^{-8}], \quad (2)$$

式中 σ_2 是待测波长 λ_2 在真空中的波数 (单位为 μm^{-1})*; t 为温度 ($^{\circ}\text{C}$), P 为气压 (kPa)。

波长计采用二倍乘单角锥反射镜, 结构形式如图 1 所示。它的特点是光学结构简单, 在干涉仪系统中只有一块角锥反射镜和两块分束器。光路设计要求使两激光束同轴, 但实际上很难做到完全共轴, 当两光束夹角为 θ 时, 两光束光程差将产生余弦误差,

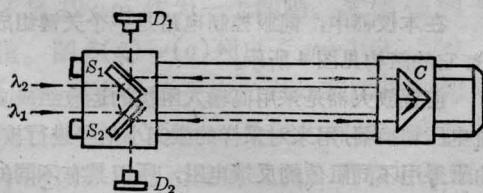


图 1 干涉仪光路图

S_1 、 S_2 —分束器; C —角锥反射镜;

D_1 、 D_2 —光电检测器

* 计算 R 值可将 λ_2 测试值的波数 (μm^{-1}) 代入公式 (2), 所引起的误差 $\Delta R/R \ll 1 \times 10^{-7}$ 。

$$\Delta L = L_0(1 - \cos \theta) \approx L_0 \theta^2,$$

式中 L_0 是干涉仪的最大光程差, θ 角可由两光束在相距 l 处两光斑之间距离 δl 来量度, 即 $\theta \approx \delta l/l$ 。测量时 $l = 2500 \text{ mm}$, $\delta l < 1 \text{ mm}$, 求得 $\theta \leq 1.5'$, $L_0 \approx 560 \text{ mm}$, 余弦误差 $\Delta L \leq 0.09 \mu\text{m}$ 。对参考光束, 光程差为 $0.633 \mu\text{m}$ 时产生一个干涉条纹, 锁相倍频(详情见下)后, 计数为 8, $0.09 \mu\text{m}$ 所对应的计数约为 1, 它所引起的波长误差为 1.6×10^{-7} 。上述光路, 从原理上会产生交叉耦合效应, 为避免此效应, 我们使待测激光的偏振方向与参考激光的偏振方向正交。最后, 我们说明一下, 单角锥二倍乘方案有简单、光路易调整的优点, 但与双角锥四倍乘方案相比, 行程增加, 测量时间相应地也要增加。

在电路设计中不考虑波长色散影响, 以

$$\lambda_2 = \frac{N_1 \lambda_1}{N_2} \quad (3)$$

作为出发点, 测得结果再依(2)式作修正。

公式(3)中有乘、除运算, 若用中小规模集成电路组成乘法器、除法器比较繁琐。为此, 选用 MOS 电路做干涉条纹信号计数器, 而运算则采用小型计算器。但这样一来就存在一个 MOS 电路与计算器接口问题。

在我们的设备中, 选用 conic EC-828 计算器, 接口采用光电耦合器, 并设计了时序脉冲发生器, 所产生的时序脉冲加在不同的光电耦合器上, 用来对计算器输入数据及进行运算。时序脉冲宽度为 40 ms , 间隔为 80 ms 。

在介绍运算程序以前, 先做一点说明。我们采用锁相倍频技术对干涉条纹进行细分, 细分后, 干涉条纹数分别变成 $N'_1 = mN_1$ 、 $N'_2 = mN_2$ 。上式中 m 为倍频系数。

则公式(3)变成

$$\lambda_2 = \frac{N'_1 \lambda_1}{N'_2} \quad (4)$$

参考信号计数经锁相倍频后为 7×10^6 , 参考光源用兰姆凹陷稳频 He-Ne 激光器, 其波长为 632.99142 nm , 公式(4)整理一下可得。

$$\lambda_2 = \frac{N'_1 \lambda_1}{N'_2} = \frac{63299142 \times 700}{N'_2} \quad (5)$$

按照公式(5), 我们设计了运算程序, 见表 1。

激光波长计在测量染料激光器波长时, 会遇到一些特殊问题。由于染料激光器谐振腔暴露在空气中, 空气中的灰尘可能使激光谐振腔停振。即使加上有机玻璃罩, 采取一些防尘措施, 仍避免不了细小

表 1 程序设计

名称		on	m_7	m_6	m_5	m_4	m_3	m_2	m_1	
时序脉冲	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	S_9	
说明	同步	清零	待测条纹脉冲计数							
名称	$\frac{1}{x}$	—	—	—	×	—	—	—	—	
时序脉冲	S_{10}	S_{11}	S_{12}	S_{13}	S_{14}	S_{15}	S_{16}			
说明	倒数	空			乘	空				
名称		6	3	2	9	9	1	4	2	
时序脉冲		S_{17}	S_{18}	S_{19}	S_{20}	S_{21}	S_{22}	S_{23}	S_{24}	
说明		参考激光波长值								乘
名称	—	—	1	0	0	—	—	—	—	
时序脉冲	S_{26}	S_{27}	S_{28}	S_{29}	S_{30}				S_{31}	
说明	空		数值			等号				

说明: 由于 $\frac{1}{x}$ 倒数运算键需 300 ms 间隙, 因此其后空闲三个时序脉冲。“ \times ”乘键后面空闲二个时序脉冲也是类似的道理。

灰尘颗粒的影响。在激光束腰之处(最小的腰仅十几 μm), 这种影响更为明显。同样的道理, 染料中杂质和气泡也会引起激光器停振, 我们对染料激光束干涉带用包络检波电路进行观测, 光束断振现象是明显的。这样, 波长计在测量染料激光波长时, 就存在大量丢失脉冲现象。可以采用锁相方案来克服这一难点。

用锁相方案还便于实现倍频, 倍频的目的是为了提高对条纹计数的分辨率, 从而提高测量精度。提高精度也可以从光路入手, 例如提高光程长度, 但这会延长测量时间; 也可多用几个角锥反射镜, 例如用三个角反射镜组成四倍乘光路, 但那会使光路复杂。相比之下, 电路采用倍频方案是一个简便可行的措施。我们采用八倍频方案, 也就是说压控振荡器信号经八分频后跟踪输入信号(干涉条纹信号), 当染料激光器停振时, 输入信号消失, 压控振荡器仍

以该瞬时信号送入计数器。

除此之外，锁相方案和直接条纹计数方案相比，还有提高信噪比的优点，而好的信噪比是保障高精度的重要条件。本电路信噪比优于 30:1。

当大颗粒灰尘引起染料激光器停振时，由于较长时间没有输入信号，会使待测系统锁相环失锁，压控振荡器会以其自由振荡信号输入计数器，从而引起测量误差。为此我们设计了失锁清零电路。当输入信号连续有两个波不来时，包络检波电路输出电平下跳，给出的失锁清零信号送入计算机接口电路，停止向计算机输入数据。图 2 给出了电路框图。

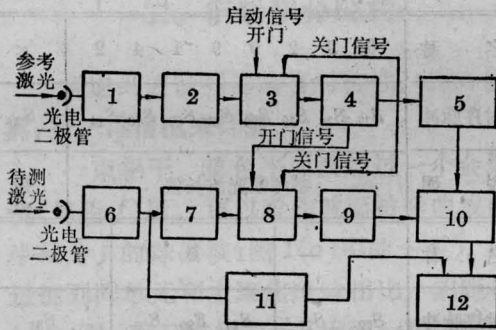


图 2 电路框图

- 1、6—放大与整形；2、7—锁相相倍频；3、8—计数控制门；4—参考信号计数器；5—时序脉冲发生器；9—待测信号计数器；10—集成电路与计算机接口；11—包络检波与失锁清零；12—计算机

二、结果及讨论

本仪器随机误差主要来自计数误差、染料激光器停振与动镜速度不稳。仪器精密度的 1.5×10^{-7} 。实测精密度的 7×10^{-8} 。系统误差主要来源是余弦误差，小于 1.6×10^{-7} 。本仪器准确度取决于精密度和系统误差，为 2×10^{-7} 。

对于波长准确度测量，必须找到已知波长作为基准线。为了克服多普勒增宽，我们做了 ^{23}Na 原子饱和吸收光谱实验，实验布局见图 3。

图 4 为 ^{23}Na 原子 D_1 线的饱和吸收光谱，除了 4 条谱线外，还有交叉共振线，选右端交叉共振线 ($\lambda_0 = 589.75661 \text{ nm}$) 作为基准线，其线宽约为 40 MHz，认为基准线中心准确度达 1×10^{-7} 。测试过程中，使用扫描干涉仪监测激光器的漂移和跳模。

对基准线多次测量后求得 $\bar{\lambda}' = 589.75635 \text{ nm}$ ， 10^{-7} 量级的准确度计算必须对不同波长的空气折射率进行修正。利用公式(2)算得 $R = 1.0000006$ ，经空气折射率修正，求得波长准确度为

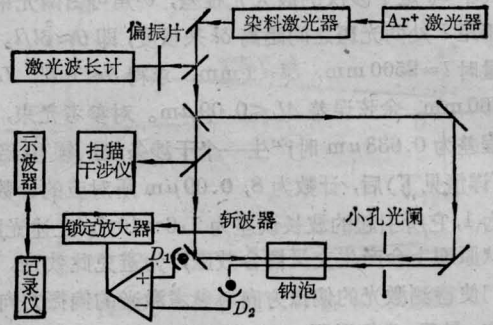


图 3 波长计准确度测试布局

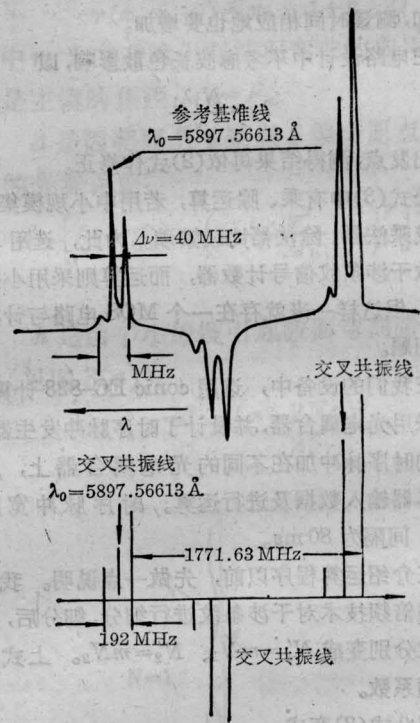


图 4 ^{23}Na 原子 D_1 线饱和吸收光谱

$$\frac{\bar{\lambda}' \times R - \lambda_0}{\lambda_0} \approx 2.0 \times 10^{-7}$$

本波长计可以对可见光及近红外 $1 \mu\text{m}$ 范围内的连续激光器测定波长。当激光功率达 $120 \mu\text{W}$ ，波长计即可正常工作。该波长计可以在无防震普通实验条件下使用。

(北京第二光学仪器厂 韦占凯

张涵才 黄明波 蒲海燕

北京大学无线电系 汤俊雄

王永达 傅济时 王庆吉

1984年10月20日收稿)