

利用 F-P 标准具实时测量激光波长的研究

陆 宏 姜铃珍 耿完楨 洪 晶

(哈尔滨工业大学应用物理系, 哈尔滨, 150001)

摘要: 本文详尽分析了利用 F-P 标准具实时测量激光波长的理论依据和误差, 初步实现了利用 F-P 标准具实时测量激光波长, 并探讨了该方法的发展前景及潜在的困难。

关键词: F-P 标准具 实时测量

Real-time measurement of laser wavelength using F-P

Lu Hong, Jiang Lingzhen, Geng Wanzhen, Hong Jing

(Department of Applied Physics, HIT)

Abstract: The purpose of this paper is to introduce the theoretical basis and the error for laser wavelength measurement, and point out that using a F-P and CCD sensor to measure the laser wavelength is a better method because the method has higher resolution of wavelength and can be used in real-time.

Key words: F-P measurement in real-time

四、小 结

由本文分析可得如下结论:

1. 正负轴棱锥组合可进行实心光束变换为空心光束, 空心光束换为实心光束, 旋转对称的斜光束及其逆过程。
2. 利用正锥透镜、负锥透镜与聚焦透镜的组合可实现由实心光束变为半径可调的聚焦环及其逆过程。
3. 所设计的轴棱锥均匀线聚焦系统即使在入射光场不均匀的情况下也能得到沿焦线方向光强分布均匀的具有理想线宽的聚焦焦线, 且光传输效率高。
4. 所设计的均匀环状光束照明光学系统可实现大入射角度小聚焦点进洞从而实现靶洞内壁环状光束的均匀照明。

参 考 文 献

- 1 McLeod J H. J O S A, 1954; 44: 592 ~ 598
- 2 蔡邦维, 吕百达, 张 彬 *et al.* 中国激光, 1994; A21(1): 21 ~ 25.



作者简介: 冯国英, 女, 1970年11月生。硕士, 博士研究生。主要研究方向为新型和高功率固体激光器, 光束传输变换和光学设计等。

收稿日期: 1995-05-02

一、引言 <http://www.jgjs.net.cn>

自60年代世界上第一台红宝石激光器问世以来,激光技术在各领域中的应用日益广泛,激光测距、激光制导、激光探伤、激光致眩等一系列应用相继出台,这就引发了如何探测激光信号的课题。作为激光信号最重要的参数,激光波长的测量更是吸引了国内外许多专家的兴趣。目前,测量激光波长用的最多的是F-P标准具,其优点是测量精度极高,约为 10^{-7} 量级^[1];而且当采用不同板间距、不同镀膜的F-P标准具以点阵方式排列成F-P组时,用同一组装置便可探测较宽频带内的任一谱线的波长^[2]。但上述工作多是在脱机情况下完成的,而本文要讲述的工作是在不脱机的情况下实时测量激光波长,即激光信号经光学探头接收后,直接传给计算机系统自动处理出结果。

二、利用F-P标准具实时测量激光波长的理论依据

1. 理论依据

根据物理光学光程的计算方法,并进行适当的近似处理,不难得出图1中FM间实线所示光路的光程:

$$L \approx [2en_2 + (d + f)n_1] + \frac{D^2}{8\left(\frac{2e}{n_2} + \frac{d+f}{n_1}\right)}$$

FM间虚线所示光路的光程为:

$$L' = [2en_2 + (3d + f)n_1] + \frac{D^2}{8\left(\frac{2e}{n_2} + \frac{3d+f}{n_1}\right)}$$

则图1中FM间实线所示光路和虚线所示光路的光程差为:

$$\Delta L = |L' - L| \approx 2dn_1 + \frac{D^2\left(-\frac{2d}{n_1}\right)}{8\left(\frac{2e}{n_2} + \frac{3d+f}{n_1}\right)\left(\frac{2e}{n_2} + \frac{d+f}{n_1}\right)} \quad (1)$$

如果激光束经过F-P标准具后在M点能形成等倾干涉条纹,则上述光程差必须是激光波长 λ 的整数倍,即

$$\Delta L = k\lambda \quad (2)$$

把 $k+1$ 级条纹和 k 级条纹对应的方程相减,则有

$$\lambda = \frac{d/n_1 \cdot [\Delta(D^2)]}{8\left(\frac{2e}{n_2} + \frac{3d+f}{n_1}\right)\left(\frac{2e}{n_2} + \frac{d+f}{n_1}\right)} \quad (3)$$

式中, $\Delta(D^2) = D_{k+1}^2 - D_k^2$

我们看到方程(3)虽然可以作为激光波长的计算公式,但其中涉及的物理量多,难免会引起不必要的测量误差。出于对测量精度的考虑,同时也看到了方程(3)中的 e, d, f, n_1, n_2 几个物理量均是实验系统所固有的物理量,不随入射激光所改变,这样就可以用一束已知波长 λ_0 的激光作为参考光,从而简化方程(3)为:

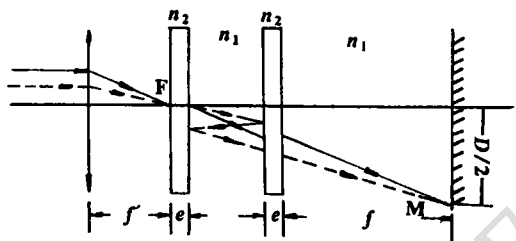


Fig. 1 A F-P interferometer parameters

$$\lambda = \lambda_0 [\Delta(D^2)] / [\Delta(D_0^2)] \quad (4)$$

式中, $\Delta(D_0^2) = D_{0,k+1}^2 - D_{0,k}^2$, 是参考光经过测量系统后形成的第 $k+1$ 级等倾干涉圆环直径 $D_{0,k+1}$ 和第 k 级干涉圆环直径 $D_{0,k}$ 的平方差。

方程(4)简单明了, 参考光波长 λ_0 已知, 只需测出 $\Delta(D^2)$ 和 $\Delta(D_0^2)$, 即可测出待测激光的波长 λ , 是我们采用的激光波长的测量公式。

2. 误差分析

对方程(4)左右两端同时取变分, 则有:

$$\begin{aligned} \delta\lambda &= \delta\lambda_0 \frac{\Delta(D^2)}{\Delta(D_0^2)} + \lambda_0 \delta \left[\frac{D_{k+1}^2 - D_k^2}{D_{0,k+1}^2 - D_{0,k}^2} \right] \\ &\leq \delta\lambda_0 \cdot \frac{\Delta(D^2)}{\Delta(D_0^2)} + \lambda_0 \frac{2D_{k+1} + \delta D_{k+1} - 2D_k \delta D_k}{D_{0,k+1}^2 - D_{0,k}^2} \\ &\quad + \lambda_0 (D_{k+1}^2 - D_k^2) \frac{2D_{0,k+1} \delta D_{0,k+1} - 2D_{0,k} \delta D_{0,k}}{(D_{0,k+1}^2 - D_{0,k}^2)^2} \\ &= \delta\lambda_0 \frac{\Delta(D^2)}{\Delta(D_0^2)} + \lambda_0 \frac{(2D_{k+1} \delta D_{k+1} - 2D_k \delta D_k)}{\Delta(D_0^2)} \\ &\quad + \lambda_0 \Delta(D^2) \cdot \frac{2D_{0,k+1} \delta D_{0,k+1} - 2D_{0,k} \delta D_{0,k}}{[\Delta(D_0^2)]^2} \end{aligned}$$

由于 $\Delta(D^2) \sim \Delta(D_0^2)$, $\delta D_k = \delta D_{k+1} = \delta D_{0,k} = \delta D_{0,k+1}$, 故

$$\begin{aligned} \delta\lambda &\sim \delta\lambda_0 + \lambda_0 \frac{2(D_{k+1} - D_k) \delta D_k}{\Delta(D_0^2)} + \lambda_0 \frac{2(D_{0,k+1} - D_{0,k}) \delta D_k}{\Delta(D_0^2)} \\ &= \delta\lambda_0 + \lambda_0 \frac{2\delta D_k}{D_{k+1} + D_k} + \lambda_0 \frac{2\delta D_k}{D_{0,k+1} + D_{0,k}} \end{aligned}$$

一般地, $\delta\lambda_0 \sim 10\text{\AA}$, $\delta D_k \sim 1$ 个像素, $\lambda_0 = 6328\text{\AA}$, $D_{k+1} + D_k \sim D_{0,k+1} + D_{0,k} \sim 10^2$ 个像素, 则激光波长的测量误差约为: $\delta\lambda \sim 10\text{\AA}$ 量级。

三、利用 F-P 标准具实时测量激光波长实验

1. 实验光路图及其简介

无论是作为参考光的 He-Ne 激光器所发出的谱线, 还是作为待测激光的 Ar^+ 激光器所发出的谱线, 均经全反射镜反射后进入 F-P 标准具, 所形成的等倾干涉图样被 CCD 摄像机接收, 经图象采集板后图象由模拟量转化为数字量, 并进入计算机进行图象处理和数字处理。

2. 图象处理

我们实验中所采集到的每一幅原始图象

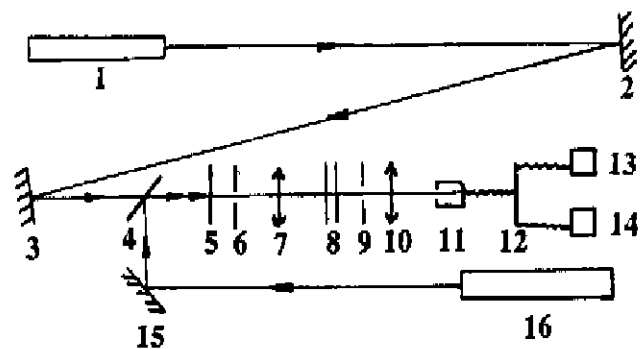


Fig. 2 Experimental setup of F-P system
1 - Ar^+ laser 2, 3 - total reflector 4 - half reflector
5 - attenuator 6 - diaphragm 7 - lens 8 - F-P etalon
9 - diaphragm 10 - zoom lens 11 - CCD camera
12 - A-D converter board 13 - monitor 14 - computer
15 - total reflector 16 - He-Ne laser

均含有大量噪声,在这种情况下是不能直接进行数据处理的,必须先进行图象处理,消除噪声。我们把含激光信号的图象与不含激光信号的图象相减,最大限度地消除背景光产生的噪声,然后把我们需要**的强线条变为最大灰度值,把不感兴趣的弱线条变为最小灰度值,即二值化;二值化后的图象已十分清晰了,因为我们所需要的只是等倾干涉圆环的直径,所以只截取圆环直径处的一维圆象,获得一系列线段,每个线段代表干涉圆环的粗细,为了确定圆环直径两端的确切位置,我们取每一线段的中点,进而把图象处理成一维的一系列点,这就是一维细化。至此,我们才能读取等倾干涉圆环的直径,进行数据处理。**



a - original image b - noise reducing image c - slendérized image
Fig. 3 Interferogram photograms and processing

3. 数据处理

经图象处理后读出 F-P 标准具等倾干涉圆环的直径,即可代入方程(4)进行数据处理,处理结果列在附表中,不难看出激光波长的测量结果是正确的,且误差仅为几十埃,与前面的理论分析相吻合。

Table Result of data process 512 picture elements = 0.795cm

the laser to be measured	D_i (picture elements)	$\Delta(D_i^2) = D_{i+1}^2 - D_i^2$	$\Delta(D^2) = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta(D_i^2)}{n}$	$\lambda(A)$
He-Ne	125, 187, 234, 272	19344, 19787, 19228	19453	6328
Ar ⁺ - 1(4765A)	150, 192	14364	14364	4673
Ar ⁺ - 2(4880A)	121, 172, 211	14943, 14937	14940	4860
Ar ⁺ - 3(4965A)	132, 181	15337	15337	4989
Ar ⁺ - 4(5145A)	144, 191	15745	15745	5122
He-Ne	124, 186, 235, 271	19220, 20629, 18216	19355	6328
Ar ⁺ - 1(4765A)	149, 192	14663	14663	4794
Ar ⁺ - 2(4880A)	121, 172, 211	14943, 14937	14940	4884
Ar ⁺ - 3(4965A)	130, 179	15141	15141	4950
Ar ⁺ - 4(5145A)	141, 189	15840	15840	5179

四、结 论

利用 F-P 标准具实时测量激光波长过程中,图象处理较为复杂,处理时间较长,这是 F-P 标准具实时测量激光波长的一个困难点;而此法的优点是, F-P 标准具形成的等倾干涉圆环条纹较细,如能提高 CCD 探测元件的探

测精度,将可以大幅度提高激光波长的测量精度。总之, F-P 标准具将是一个有前途的激光波长的测量工具。

参 考 文 献

1 Cothor L. J. Laser Focus World, 1989;25(4):109~120
2 Salimbeni R, Pole R V. Opt Lett, 1980;5(2):39~41



作者简介:陆 宏,男,1967年2月出生。讲师,博士研究生。主要从事非线性光学、激光技术、CAI 技术的研究工作。

收稿日期:1995-05-07