

激光全息光栅计算机自动测试系统

冯功和 韩德湘 陈涛

(华中理工大学激光技术国家重点实验室, 武汉, 430074)

摘要: 本文介绍了激光全息光栅计算机自动测试系统结构、光学测量原理及对航空膜盒的测试, 并对测试结果进行了讨论, 系统已通过技术鉴定。

关键词: 全息光栅 光学傅氏变换 二次衍射

A microcomputer automatic measurement system for laser holographic optical grating

Feng Gonghe, Han Dexiang, Chen Tao

(National Lab. of Laser Technology, HUST, Wuhan, 430074)

Abstract: Aviation slyphone is a high precise element and widely employed in air, oil, chemistry and coal industry. Based on grating diffraction principle, we developed a microcomputer automatic measurement system for checking the displacement of aviation slyphone. The system utilizes a He-Ne laser with 8mW power output as the light source to provide the 0.53 μ m resolution and \pm 0.8 μ m measurement accuracy.

Key words: holographic optical grating optical Fourier transformation secondary diffraction

件, 而且进一步提高荧光出纤功率的潜力很大。由于采用半导体激光器泵浦, 这一结构有利于制成紧凑、实用的可见光荧光光源。

作者感谢上海科大物理系顾炳生副教授的实验帮助。

参 考 文 献

- 1 Ainslie B J, Craig S R, Davey S T. J Lightwave Technol, 1988; 6(1): 287~ 292
- 2 Liu K, Digonnet M, Shaw H J et al. Electron Lett, 1987; 23(24): 1320~ 1321
- 3 Wysocki P F, Digonnet M J F, Kim B J et al. J Lightwave Technol, 1994; 12(3): 550~ 567
- 4 Chen S, Gratton K T V, Meggitt B T et al. Electron Lett, 1993; 29(4): 334~ 335
- 5 Wang D N, Ning Y N, Gratton K T V et al. J Lightwave Technol, 1994; 12(5): 909~ 916
- 6 Wang D N, Meggitt B T, Palmer A W et al. IEEE Photon Technol Lett, 1995; 7(6): 620~ 622
- 7 Fesler K A, Digonnet M J F, Kim B Y et al. Opt Lett, 1990; 15: 1321~ 1323
- 8 Laming R I, Poole S B, Tarbox E J. Opt Lett, 1988; 13(2): 1084~ 1086
- 9 华一敏, 李 劬, 陈英礼 et al. 光学学报, 1992; 12(3): 261~ 263
- 10 华一敏, 李 劬, 陈英礼 et al. 光学学报, 1992; 19(3): 219~ 221
- 11 Quimby R S, Miniscalco W J, Thompson B. Proc. Fiber laser sources and amplifiers ① Denver, 1992, Colorado, SPIE, 1992: 1789

作者简介: 韦春龙, 男, 1964 年出生。讲师。现从事激光非线性光学及光纤放大器的研究。

收稿日期: 1996-01-08 收到修改稿日期: 1996-10-14



一、引言

航空膜盒是一种高精度的弹性元件,它已经广泛应用于航空、航天、石油、化工、煤碳等部门。实际工作中提出了这样的问题,在一定的压力下膜盒形变有多大?目前采用的测量方法效率低、精度差,常造成产品报废。针对上述问题,我们根据光栅衍射原理^[1],研制了一种激光全息光栅计算机自动测试系统,该系统的主要技术指标如下:1. 氦氖激光器波长为 $0.6328\mu\text{m}$; 2. 激光输出功率为 8mW ; 3. 膜盒形变量程 $\leq 5\text{mm}$; 4. 位移检测采用 1184lp/mm 全息光栅(经国家建材研究技术测试所鉴定)并和电子细分线路配合,分辨率可达 $0.053\mu\text{m}$, 位移测量精度 $\leq \pm 0.8\mu\text{m}$; 5. 压力测量范围(用高度表示)为 $0\sim 30\text{km}$, 精度 $\leq \pm 240\text{m}$; 6. 测量力 $< 1.5\text{g}$ 。经用户使用表明,性能可靠。

二、系统结构及光学原理

图 1 为系统框图,图中 1 为数字高度测量仪; 2 是接口; 3 是计算机; 4 是真空室,内装有全息光栅和被测工件; 5 是光路系统; 6 是四相取样电路; 7 是电子细分及正反向脉冲形成; 8 是输出显示; 9 是输出打印; 10 是阀门控制与报警电路; 另外 AT 是通大气阀门; PP 是压力泵; VP 是真空泵。

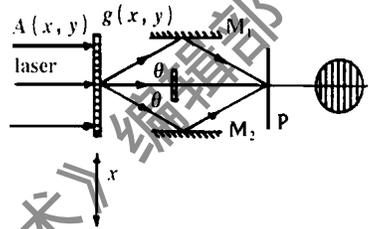


Fig. 1 Schematic diagram of the system

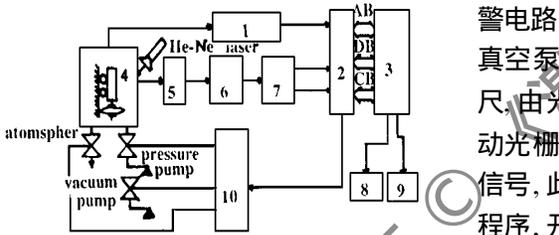


Fig. 2 Grating diffraction

系统以激光全息光栅作为精密位移计量标尺,由光栅的衍射光叠加产生干涉条纹,当膜盒形变推动光栅位移时,干涉条纹移动。由光电转换变成脉冲信号,此时将预置高度及所测点数送入指定单元,启动程序,开始测量每一高度下的位移,测试完毕后,进行数据处理显示,并以硬拷贝的形式打印测试结果。

图 2 为光学测量原理图。

$$\text{全息光栅透过率函数为: } g(x, y) = 1/2 + (1/2) \cos(2\pi f_x x) \quad (1)$$

当振幅为 A 的激光垂直入射时,光栅产生夫琅和费衍射,得到三束衍射光频谱,在光栅后的分布为:

$$g'(x, y) = F\{A(x, y) \cdot g(x, y)\} = A_0 + 2A_1 e^{i2\pi f_x x_1} + 2A_2 e^{-i2\pi f_x x_2} \quad (2)$$

式中,第一项为零级谱,第二、第三项为正负一级谱。滤去零级,将后两项叠加于 P 面得到功率谱分布:

$$I_P = |E_P(x, y)|^2 = 4A_1^2 + 4A_2^2 + 8A_1 A_2 \cos(2\pi f_x) \quad (3)$$

由(3)式知干涉场仍为一种功率谱的余弦分布,式中 $f_x = 2\sin\theta/\lambda$ 为空间频率。

当光栅沿 x 轴平移 a 时,即 $g(x - a)$, 根据傅里叶变换相移定理^[2],有

$$F\{g(x, y)\} = G\{f_x, f_y\}$$

$$\text{则 } F\{g(x - a)\} = G(f_x) e^{-i2\pi a f_x} \quad (4)$$

即物函数在输入平面平移时,傅里叶谱的模不变,仅产生一个相应的相移 $\Delta\varphi$

$$\Delta\varphi = 2\pi a f_x = 2\pi a (2\sin\theta/\lambda) = 4\pi a \sin\theta/\lambda \quad (5)$$

引入光栅方程

$$d \sin\theta = m\lambda \quad (6)$$

d 为光栅常数, m 为衍射级数,将(6)式代入(5)式得

$$\Delta \varphi = 4\pi am/d \tag{7}$$

当相移 2π 时, 干涉条纹变化一次, 即

$$\begin{aligned} \Delta \varphi &= 2\pi = 4\pi am/d \\ a &= 2\pi d / (4\pi m) = d / (2m) \end{aligned} \tag{8}$$

(8) 式表明, 条纹变化一次时所得到的光栅位移量, 即一个脉冲当量, 从(8) 式知, 光栅的位移仅与光栅常数 d 和衍射级次 m 有关, 而与入射波长无关。这比用波长为计量单位的常规干涉仪优越, 受环境影响较小。

系统采用反射式全息光栅(1184 lp/mm), 入射光经光栅衍射两次, 当 $m = 1$ 时有: $a = (d/2) \cdot (1/2) = d/4 = 0.21\mu\text{m}$ 。和电子四细分线路配合, 系统的脉冲当量为 $(d/4) \cdot (1/4) = d/16 = 0.053\mu\text{m}$ 。

三、测试结果及讨论

采用美国 HP5528A 的测量系统(分辨率为 $0.01\mu\text{m}$) 对本系统进行了标定, 在 4mm 位移范围内进行了三次测量, 每次间隔为 0.5mm , 共测 8 点。8 点中最大一点的误差为 $0.73\mu\text{m}$, 三次测量结果的 $\pm 3\sigma$ 误差带为 $2\mu\text{m}$, 不重复性为 $1.36\mu\text{m}$ (详见图 3 和附表)。测试结果满足要求且优于常规干涉方法。

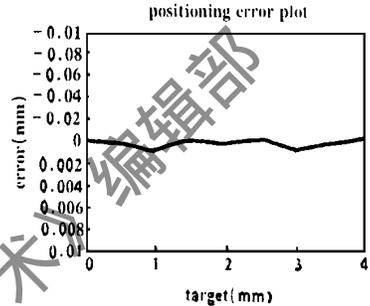


Fig. 3 Error curve

Table Error for each run

target (mm)	error-1 (mm)	error-2 (mm)	error-3 (mm)	acerrages (mm)
0.0	+ 0.000000	+ 0.000000	+ 0.000000	+ 0.000000
0.5	- 0.000280	- 0.000210	- 0.000380	- 0.000290
1.0	- 0.000690	- 0.000680	- 0.000810	- 0.000727
1.5	- 0.000040	+ 0.000170	+ 0.000000	+ 0.000043
2.0	- 0.000080	+ 0.000010	- 0.000220	- 0.000097
2.5	+ 0.000170	+ 0.000150	+ 0.000200	+ 0.000173
3.0	- 0.000350	- 0.000540	- 0.000800	- 0.000563
3.5	- 0.000200	- 0.000040	- 0.000260	- 0.000167
4.0	+ 0.000560	+ 0.000320	+ 0.000310	+ 0.000397

参 考 文 献

- 1 森山茂夫, 原田达男. 国外计量, 1984; 18(6): 11
- 2 J. W. 顾德门著. 傅里叶光学导论. 北京: 科学出版社, 1976

* * *

作者简介: 冯功和, 男, 1939 年出生。高级工程师。现从事新型激光器研究及激光应用方面的工作。

