

半导体激光 Fabry-Perot 干涉波长的微位移测量仪

杨秀芳¹ 王小明² 刘月明¹ 郭彦珍¹

(1 西安理工大学机械与精密仪器工程学院, 西安 710048)

(2 西安市政管理委员会, 西安 710068)

摘 要 设计了一种基于 Fabry-Perot 干涉波长测量仪. 这种测量仪使用两个 Fabry-Perot 干涉腔, 其中一个作为测量腔、另一个作为参考腔, 测量腔的一个反射面与被测对象安装在一起, 参考腔的一个反射面与压电陶瓷安装在一起. 根据透射光谱中心波长与其干涉腔长之间的关系, 当参考腔与测量腔的透射光谱中心波长完全重合时, 对纳米级微位移实现实时测量. 光源采用半导体激光器, 可获得所需要的波长值和波长变化范围. 实验结果表明, 这种测量仪测量误差不大于 1.5 nm, 该精度可以满足精密机械加工、光电子和微电子加工以及纳米级测量技术等领域的精度要求.

关键词 Fabry-Perot 干涉仪; 微位移测量仪; 半导体激光; 透射光谱

中图分类号 TP212 **文献标识码** A

0 引言

近年来, 随着微机械技术的迅速发展及应用, 常需要对机械部件微位移进行测量, 同时位移测量又是振动、力、压力、应变、加速度、流量等机械量测量的基础^[1~4]. F-P 干涉仪由于其极高的分辨本领, 常用做光谱分析仪, 然而在上世纪 80 年代开始的研究结果表明, 这种干涉仪对微位移的测量比其它干涉仪有更大的优点^[5]. 1983 年 A. Kersey 等人首先采用 F-P 干涉仪(FPI)实现了微位移测量^[6], 由于其结构简单, 并具有光纤传感器的一般特性, 从而得到了广泛的应用. 半导体激光器(LD)具有稳定的单模输出, 波长可调谐, 低电流损耗以及尺寸小, 价格低等优点, 在光学干涉仪中被广泛用作光源^[7]. 利用半导体激光波长可调谐性, 对它的输入电流进行直接调节, 可获得所需要的波长值及波长变化范围.

到目前为止, 大多数的光纤 F-P 传感器(FFP)通常是基于光强进行传感信号检测的, 其测量原理是: 当 F-P 腔长变化时, 透射光或反射光的强度会发生变化. F-P 腔长与光强之间的关系是非线性的, 为了实现高精度测量, 光强型的光纤传感器往往需要更复杂的结构^[8], 为了克服光强型 F-P 传感器测量结果受光源波动影响的缺点, 设计了一种光纤 F-P 透射光谱微位移测量的系统. 实验结果证明了它的可行性.

1 测量原理

1.1 F-P 干涉仪腔长与透射波长的关系

波长调谐过的半导体激光经 F-P 干涉仪后, 相

邻级次两透射光波长与腔长有如下关系

$$2L = (m+1)\lambda_1$$

$$2L = m\lambda_2$$

即

$$L = \frac{\lambda_1\lambda_2}{2(\lambda_2 - \lambda_1)} \quad (\lambda_2 > \lambda_1)$$

由式可知, 当透射光的波长不同时, 腔长 L 不同, 所以通过探测透射波长值, 就可以获得腔长的变化量, 从而实现微位移的测量. 运用这种方法测量微位移, 不仅避免了光强变化对测量结果的影响, 而且由于透射波长与腔长一一对应的关系, 可实现位移的绝对测量.

图 1 是 F-P 干涉仪示意图. L_1 、 L_2 是两块微透镜. L_1 起准直作用, L_2 起聚光作用, PD 是光电接收器, F-P 是 Fabry-Perot 干涉仪的干涉腔.

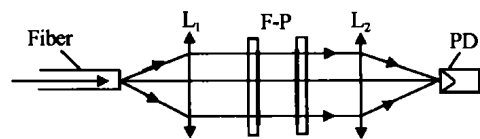


图 1 F-P 干涉仪
Fig. 1 F-P interferometer

1.2 半导体激光波长的调制

图 2 是半导体激光波长调制框图. 斜波信号发生器输出电压 $V_m = K_1 t$ 经半导体激光调制器 LM 后, 获得调制电流 $I_m(t)$.

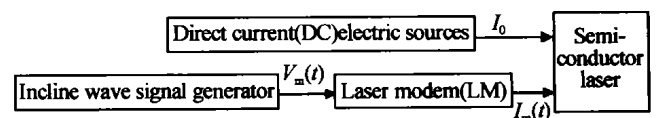


图 2 半导体激光波长调制框图
Fig. 2 Schematic diagram for modulation of laser diode wavelength

$$I_m(t) = K_{LM} V_m(t) = K_2 t$$

式中 K_{LM} 为调制器的转换系数, $K_2 = K_{LM} K_1$. 调制

电流 $I_m(t)$ 与直流电流 I_0 一起驱动半导体激光器, 半导体激光的波长变化为 $K_3 I_m(t)$, 其中 K_3 为半导体激光器的波长调制系数.

即

$$\Delta\lambda = K_2 K_3 t$$

1.3 测量系统原理

图 3 是测量系统原理框图. 参考 F-P 干涉仪与测量 F-P 干涉仪干涉腔在结构上完全一致, 只是参考 F-P 干涉仪干涉腔的一个反射面与压电陶瓷 (PZT) 安装在一起, 随压电陶瓷的伸缩可以微动, 测量 F-P 干涉仪干涉腔的一个反射面与被测对象安装在一起, 随被测对象移动. 在测量前, 根据我们选

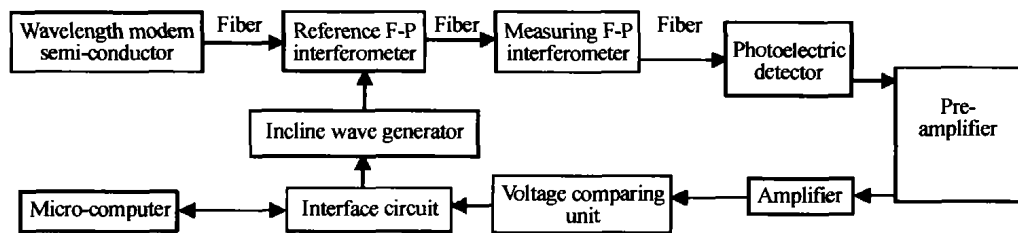


图 3 测量系统原理框图

Fig. 3 Principle diagram for measurement system

斜波电压发生器产生的斜波电压是由微机产生的数字信号经 D/A 转换器后变成模拟电压信号, 这一信号经电压放大器后加给压电陶瓷, 控制压电陶瓷伸缩.

2 实验与结果

实验中选用的半导体激光器的中心波长 λ_0 、输

用的光源和光电探测器 (PD) 的中心波长, 选择传感器静态时相邻光谱波长 λ_1 、 λ_2 . 当测量光路中参考 F-P 和测量 F-P 透射光谱中心波长重合时, 在光电探测器 PD 上可获得最大的信号输出. 在位移测量时, 斜波电压发生器产生的电压加在压电陶瓷上, 改变参考 F-P 干涉仪的腔长, 当 PD 上有最大信号输出时, 说明参考 F-P 干涉仪和测量 F-P 干涉仪透射的中心波长重合, 即两干涉仪的腔长相等. 这一信号经一系列电路处理通过接口送入微机, 微机检测到这一信号后, 记录此时加在压电陶瓷上的电压值, 通过计算获得压电陶瓷的伸缩量, 压电陶瓷的伸缩量就是被测量位移.

输出功率和波长调制系数分别为 815 nm, 8 mW 和 1.56×10^{-2} nm/mA. D/A 转换器采用 AD 公司的 12 位 DAC1210 转换器, 它可以给出 4096 个电压值. 表 1 给出了 7 个测量结果, 每个测量值是该电压下 5 次测量值的平均值.

表 1 实验数据

PZT 电压/V	6	7	8	9	10	11	12
理论值/nm	0	421.875	843.750	1265.625	1687.500	2109.375	2531.250
测量值/nm	0.3	421.924	844.820	1264.257	1687.299	2108.512	2530.510
测量误差/nm	-0.3	0.049	1.070	-1.368	-0.201	-0.863	-0.74

3 结论

从测量结果看, 测量误差不大于 1.5 nm, 这样一个精度可以满足精密机械加工、光电子和微电子加工以及纳米级测量技术等领域的精度要求, 但从我们记录的单次测量结果来看最大误差为 3.5 nm, 估计误差主要来源于控制参考 FFP 斜波电压中的噪声; 安装在参考和测量干涉仪中的压电陶瓷性能的差异; 安装误差等.

参考文献

- 朱永, 张洁, 陈伟民, 等. 提高光纤传感器输出信号质量的方法研究. 光子学报, 2004, 33(5): 544~548
Zhu Y, Zhang J, Chen W M, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2004, 33(5): 544~548
- Tsai W H, Lin C J. A Novel Structure for the Intrinsic Fabry-Perot Fiber-optic temperature sensor. *Journal of*

Lightwave Technology, 2001, 19(5): 682~686

- 江毅, 刘莉. 光纤 Fabry-Perot 腔振动传感器. 光子学报, 2003, 32(9): 1059~1062
Jiang Y, Liu L. *Acta Photonica Sinica*, 2003, 32(9): 1059~1062
- Norbert Furstenu, Horack H, Walter Schmidt. Extrinsic Fabry-Perot interferometer Fiber-Optic microphone. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 1998, 47(1): 138~142
- Wang D, Ning Y, Palmer A, et al. An optical scanning technique in a white light interometric system. *IEEE Photonics Tech Lett*, 1994, 6(7): 855~857
- Kersey A D, Jackson D A, Corkon M. A simple fibre Fabry-Perot sensor. *Optics Communication*, 1983, 45(2): 71~74
- 宋松, 王向朝, 王学锋, 等. 半导体激光微小振动实时干涉测量仪. 光学学报, 2001, 21(5): 578~580

- Song S, Wang X C, Wang X F, *et al.* *Acta Optica Sinica*, 2001, **21**(5):578~580
- 8 王晓东. 反射式光纤位移传感器数学模型的优化. *光子学报*, 2002, **31**(10):1266~1269
- Wang X D. *Acta Photonica Sinica*, 2002, **31**(10):1266~1269

Micro-displacement Measuring Instrument with Semi-conductor Laser Fabry-Perot Interference Wave Length

Yang Xiufang¹ Wang Xiaoming², Liu Yueming¹, Guo Yanzhen¹

¹ College of Machinery and Precision Instrument, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048

² Xi'an Municipal Government Administration Committee, Xi'an 710068

Received date: 2004-08-05

Abstract A kind of measuring instrument based on F-P interference wave length is designed. The measuring instrument use double interference cavities. One of interference cavities is reference cavity, the other is measuring cavity. One reflect surface of reference cavity is installed with piezoelectric ceramics, One reflect surface of measuring cavity is erected with an object to be measured. When the central wavelengths in reference Fabry-Perot interference and in measuring Fabry-Perot interference are overlapped, there are the maximum light signal outputs. Based on the relationship between the transmission spectrum central wave length and its interference cavity length, this measuring instrument can be used to realize the real time measurement of Nano-grade micro-displacement. Using semi-conductor laser as the light resource can obtain the required wavelength values and its variation scopes. It can be seen from the measured results that the measured error is not over 1.5 nm. Such a precision can satisfy the precision requirements as in the fields of precision mechanical processing, photoelectric processing and Nano-grade measuring technology.

Keywords Fabry-Perot interferometer; Micro-distance measuring instrument; Laser diode; Transmission spectrum



Yang Xiufang was born in Shaanxi Province, China. She received her B. S. degree from Shanghai University of Technology in 1989, and received her M. S. degree form College of Machinery and Precision Instrument, Xi'an University of Technology in 1996. She has worked in Xi'an University of Technology since 1996. Several research papers have been published. Her research interests include optical instrument, photoelectric detection and optical fiber sensors.