

基于 F-P 腔的压电陶瓷直线驱动研究

傅海威^{1,2}, 平 凯¹, 乔学光^{1,2}, 刘颖刚¹

(1. 西安石油大学 光电传感测井教育部重点实验室, 陕西 西安 710065; 2. 西北大学 物理学系, 陕西 西安 710069)

摘 要:提出一种新的直线驱动压电陶瓷的方法。通过压电陶瓷对可调谐法布里-珀罗(F-P)腔进行驱动,从而改变 F-P 腔的透射光波长,使用光栅阵列对透射光波长进行定位,找出压电陶瓷的电压-位移特性曲线,并对此曲线取反函数作为新的驱动电压曲线,使压电陶瓷能得到直线驱动。最后使用了 F-P 腔对这种方法驱动的压电陶瓷运动曲线进行了测试,结果表明,使用这种驱动方法的压电陶瓷运动曲线与曲线起点到终点的直线方差的积分为 393.78,而使用三角波电压驱动的压电陶瓷运动曲线与曲线起点到终点的直线方差的积分为 44 554.65,可见这种方法使线性程度得到提高。

关键词:压电陶瓷; F-P 腔; 直线驱动器

中图分类号: TN763.1; TP319

文献标识码: A

Study on Piezoelectric Ceramic Linear Drive Based on F-P Cavity

FU Haiwei^{1,2}, PING Kai¹, QIAO Xueguang^{1,2}, LIU Yinggang¹

(1. Ministry of Education Key Lab. of Photoelectric Sensing Logging, Xi'an Petroleum University, Xi'an 710065, China;

2. Dept. of Physics, Northwest University, Xi'an 710069, China)

Abstract: A new piezoelectric ceramic linear driving method has been presented in this paper. The tunable Fabry-Perot (F-P) cavity is driven by piezoelectric ceramic, thus the wavelength of transmission light through the tunable F-P cavity can be changed. The transmission light wavelength is calibrated by a grating array, so the voltage-displacement characteristic curve of the piezoelectric ceramic can be obtained, fitting the inverse function of this curve as a new drive voltage curve, which can drive the piezoelectric ceramic move as a straight line. The movement curve of piezoelectric ceramic driven by this method has been tested by using the tunable F-P cavity, and the result shows that the use of this method to drive the piezoelectric ceramic, the variance of the movement curve and the straight line which shares the start and end point of the movement curve is 393.78, compared with the result of driving by triangular wave voltage which is 44 554.65, the linearity is greatly improved.

Key words: piezoelectric ceramic; F-P cavity; linear drive

0 引言

压电陶瓷是一种能将电能与机械能相互转换的功能陶瓷材料,属于无机非金属材料。压电陶瓷微驱动器的基本原理是利用材料的逆压电效应制作新型的固态执行器件,当处于逆压电工作状态时,组成压电陶瓷的晶体会发生变形,从而起到推动的作用^[1]。压电陶瓷以其体积小,微位移精度高,响应速度快,灵敏度高及易自动控制等优点,在电子技术、精密光学、微型机械和计算机应用等一些高新技术领域得到广泛应用^[2]。实际应用中,人们关注压

电陶瓷的驱动特性,希望它是线性或有规律可循。但因压电陶瓷本身的特性,外加电场强度与压电陶瓷的运动并非线性关系,存在迟滞和蠕变,且受环境因素的影响,这些特性给压电陶瓷的使用、建模及仿真带来了一定困难^[3]。因此,在使用压电陶瓷对精密仪器进行驱动前必须对其进行严格的标定,从而提高驱动器的位移精度。

本文利用可调谐法布里-珀罗(F-P)腔作为压电陶瓷运动的标定器件,通过光栅阵列对 F-P 腔的透射光波长进行定位,得到驱动 F-P 腔移动的压电陶

收稿日期:2012-04-12

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60727004);国家“八六三”计划基金资助项目(2009AA06Z203);教育部科技创新工程重大项目培育基金资助项目(708087);陕西省自然科学基金资助项目(2011JM8028)

作者简介:傅海威(1966-)男,陕西咸阳人,教授,博士,主要从事光电传感检测系统的研究。

瓷的电压-位移曲线。并拟合该曲线的反函数作为驱动电压函数,使压电陶瓷的位移-时间运动曲线为一条直线。这种光学的定位方法具有抗电磁干扰能力强,定位精度高和成本低等优点。与同属于光学定位方法的迈克尔逊相干检测标定方法^[4]相比,此法具有光路系统结构简单,解调方便等优点,且使用光栅阵列对光波长进行定位,可根据对定位精度需求增加或减少光栅阵列的数量,更灵活、有效地控制降低系统成本。实验使用 F-P 腔对压电陶瓷在 0~3 V 电压的情况下进行了测试,结果表明,这种光学标定方法测量精度高,得到的 F-P 腔中压电陶瓷的运动轨迹具有很高的线性度。

1 原理描述

1.1 可调谐 F-P 腔工作原理

图 1 为可调谐 F-P 腔的工作原理。F-P 腔中的 2 个平行反射镜,一个位置固定,另一个则可利用背面贴有压电陶瓷驱动装置移动,达到改变腔长的目的。入射光经透镜 L_1 准直成为平行光后进入 F-P 腔, F-P 腔由两块精密的平行反射镜构成。入射光在反射镜间产生多光束干涉,实现对波长的过滤,只有特定波长的光能得到透射;然后经透镜 L_2 , 出射光聚焦探测器上^[5]。



图 1 F-P 腔的内部结构

设 R 为入射光在 F-P 腔内端面的反射比,则 F-P 腔的透射光强为

$$I_{\text{透}}(\lambda) = \frac{2R[1 - \cos(4\pi d/\lambda)]}{1 + R^2 - 2R\cos(4\pi d/\lambda)} I_{\lambda}(\lambda) \quad (1)$$

式中: $I_{\text{透}}$, I_{λ} 分别为 F-P 腔透射光和入射光的光强; λ 为光波波长; d 为 F-P 腔腔长。由此可知,当 $4d/\lambda$ 为奇数时,该波长透射光强度达到极大值;当 $4d/\lambda$ 为偶数时,该波长透射光强度达到极小值^[6]。因此,透射光峰值的改变量 Δd 与 d 的关系为

$$\Delta d = n\Delta\lambda/4 \quad (2)$$

式中: $n = 4d/\lambda$; $\Delta\lambda$ 为波长变化量。因此可通过对 F-P 腔透射光波长的探测,推算出压电陶瓷驱动 F-P 腔腔长变化量,达到对压电陶瓷运动特性的研究。

1.2 压电陶瓷直线驱动原理

压电陶瓷随着电场强度的变化而运动的轨迹并非非线性。图 2 为压电陶瓷在三角波驱动下的运动轨迹,曲线下凹程度虽不严重,但对于在精密仪器中使

用,这种误差则可能会造成很大的精度损失。

如果要达到使压电陶瓷直线移动的目的,即要达到压电陶瓷可在同样时间差中移动相同的位移^[6]。如图 2 中的上升曲线可拟合压电陶瓷位移 s 随着电压 V 变化的运动曲线 $s = f(V)$,假设 V 随时间 t 的变化函数为 $V = g(t)$,可得到位移与时间的关系为

$$s = f(g(t)) \quad (3)$$

当 V 变化函数为压电陶瓷位移随电压变化函数的反函数时,即

$$f^{-1}(s) = g(t) \quad (4)$$

则 s 与 t 为线性关系,即

$$s = kt \quad (5)$$

式中 k 为正整数。

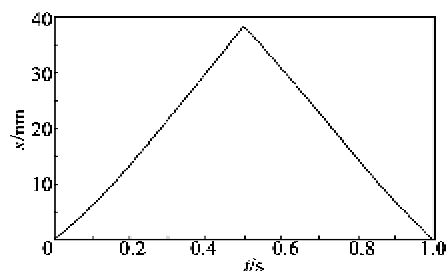


图 2 压电陶瓷三角波电压下的运动轨迹

2 压电陶瓷驱动系统组成

图 3 为设计的压电陶瓷直线驱动系统。数模转换器首先使用三角波对可调谐 F-P 腔进行驱动,宽带光源发出的光经 F-P 腔过滤后,进入光栅阵列,不同中心波长光栅对相对波长的光进行反射。经耦合器后光栅反射光进入光电探测器,对光强进行探测,并将探测到的数据传输到计算机,计算机记录光电探测器探测到的每个光栅反射峰值时对应的输出电压值,并由这些探测到的点拟合 F-P 腔中压电陶瓷的位移-电压曲线,因此光栅阵列中不同中心波长的光栅数量越多,拟合出的曲线精度就会越高。最后计算机对拟合出的位移-电压曲线求反函数,并作为压电陶瓷驱动电压随时间的变化函数,对压电陶瓷进行驱动,使压电陶瓷的位移为一条直线。

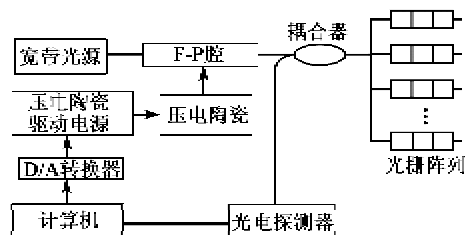


图 3 压电陶瓷直线驱动系统框架图

3 压电陶瓷直线驱动实验

图4为实验所用的装置结构。图5为实验所用的可调谐F-P腔实物图。由于FFP-TF型F-P腔的工作最大电压仅为12 V,且电压改变速度太快,易造成损坏,所以我们选用0~3 V的三角波对F-P腔进行驱动。本实验使用频谱扫描仪SM130对F-P腔进行定位扫描,代替了图3中所提到的光栅阵列。SM130频谱扫描仪对扫描范围内整个光谱扫描达1 000次/s,记录扫描的光谱峰值波长信息,从而达到记录F-P腔动态的目的。选择可编程的DAC7512作为实验使用的数模转换器。

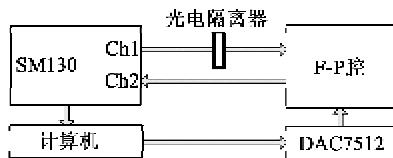


图4 压电陶瓷直线驱动实验结构图



图5 实验所用的可调谐F-P腔实物图

首先给F-P腔施加0~3 V电压,频率为1 Hz的三角波。这里仅对压电陶瓷驱动器的上升周期进行研究,图6(a)为0~3 V三角波扫描F-P腔的上升沿。该曲线由Matlab工具进行拟合后,可得到曲线的三阶拟合函数为

$$f(V) = -0.3358V^3 + 2.255V^2 + 9.038V + 1556 \quad (6)$$

为计算压电陶瓷运动轨迹与电压的关系。首先对波长数据进行处理,将每一个波长值都与最小波长值相减(本试验为1 556.148 nm),得到透射波长变化曲线。由式(2)可知,透射波长的变化量与压电陶瓷的移动量成正比例关系。如图6(b)所示。再对曲线进行拟合,求得了电压值变化时对应波长变换量的反函数为

$$f^{-1}(\Delta\lambda) = 0.0000149\Delta\lambda^3 - 0.001175\Delta\lambda^2 + 0.1012\Delta\lambda \quad (7)$$

F-P腔透射波长为1 556.148~1 594.441 nm,共38.293 nm。由式(4)可知,如果要将 $\Delta\lambda$ 转换为 t ,可由式(5)得到, $\Delta\lambda = 38.293t$ (这里设置波长变化38.293 nm的上升时间为1 s,所以需将式(5)中的 k

设为38.293)。将 $\Delta\lambda = 38.293t$ 代入式(7),可得直线驱动压电陶瓷所要的输出电压与时间的关系为

$$V(t) = 0.83665t^3 - 1.723t^2 + 3.875t \quad (8)$$

按照式(8)向F-P腔输入电压,验证压电陶瓷驱动器的运动轨迹。所得压电陶瓷随时间的运动曲线如图6(c)所示。可见,F-P的运动轨迹为一条直线,用Matlab工具对曲线进行拟合,可得曲线的拟合函数为

$$h(t) = 0.482t^3 - 0.9288t^2 + 38.84t + 1556 \quad (9)$$

验证式(9)的线性度可通过计算 $h(t)$ 与直线的方差 $\sigma(t)$ 求得,即

$$h'(t) = 1556.088 + 38.535t \quad (10)$$

$$\sigma(t) = \int_0^1 [h^2(t) - h'^2(t)] dt \quad (11)$$

将式(9)、(10)代入式(11)计算可得 $\sigma(t) = 393.78$ 。使用同样方法对式(6)进行线性度的验证,得到 $\sigma(t) = 44554.65$ 。可见,这种方法驱动的压电陶瓷移动曲线的线性度明显高于直接对压电陶瓷施加三角波的移动曲线的线性度。

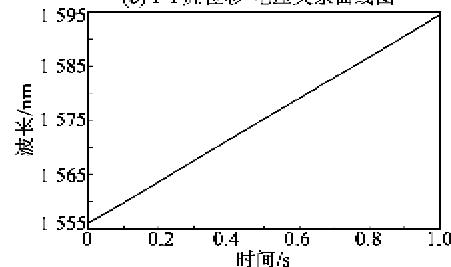
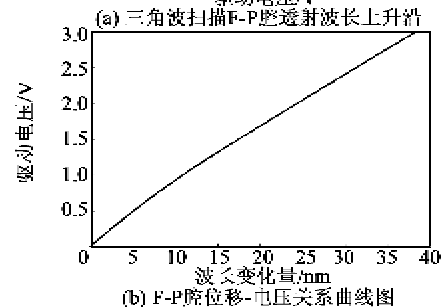
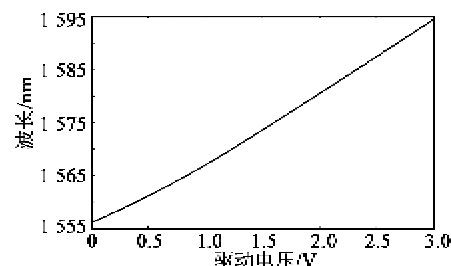


图6 实验所测可调谐F-P腔运动轨迹

(下转第233页)