

激光干涉法测量微小振动

刘合伟, 钱梦^{马录}

(同济大学声学研究所, 上海 200092)

摘要: 文章介绍用激光干涉法测量新型压电微驱动器动态位移响应的实验原理及方法。实验结果表明, 这类 PZN-PZT 微驱动器不仅具有高的电压位移灵敏度, 而且其频响可高达 1kHz, 是一种很好的微驱动器。

关键词: 激光干涉; 测振; 微驱动器

中图分类号: TB52⁺ 3 文献标识码: A

Measurement of small vibration by laser interferometer

LIU He-wei, QIAN Meng-lu

(Institute of Acoustics, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: The theory and experimental method of measuring a small vibrating displacement by laser interferometer are introduced in the paper. And the experimental results of dynamic response displacement of a new kind of tiny piezoelectric driver are obtained. The results show that the kind of PZN-PZT tiny driver not only has high voltage displacement sensitivity, but also it is frequency response approaches 1kHz, so it's one very good kind of tiny driver.

Key words: laser interferometer; measurement of vibration; tiny driver

利用压电材料的电致伸缩效应, 可以制成位移量精密可控的微驱动器, 广泛应用于精密仪器仪表及自动反馈系统。在实际应用中, 微驱动器的电压位移灵敏度及动态响应特性是重要的, 利用差动变压器或乌氏干涉仪也可以测量器件的电压位移灵敏度, 但这是静态的。为此本文将介绍利用激光干涉法测量器件动态电压位移灵敏度的原理、方法, 以及对一种新型多层压电 PZN-PZT 微驱动器件的实验结果。

1 原理

测量微驱动器的激光干涉系统是一个典型的迈克尔逊干涉仪(图1)。20mW 的 He-Ne 激光束经分光镜 M 分光后分为参考光束与测量光束。参考光束经参考镜 M₁ 反射后再透过分光镜 M, 测量光束由试样表面反射后, 再由分光镜反射, 与参考光会合, 一起经过扩束透镜 L, 在光电检测器表面形成宽度为 h 的干涉条纹。当试样表面沿入射光方向上有 $\lambda/2$ 的位移时($\lambda = 0.6328\mu\text{m}$, 为激光波长), 测量光束与参考光束之间的光程差变化 $\Delta(nL)$ 在空气中为一个 λ 时, 在光电检测器上移过一条干涉条纹。于是, 当器件表面作振幅为 A、频率为 f 的简

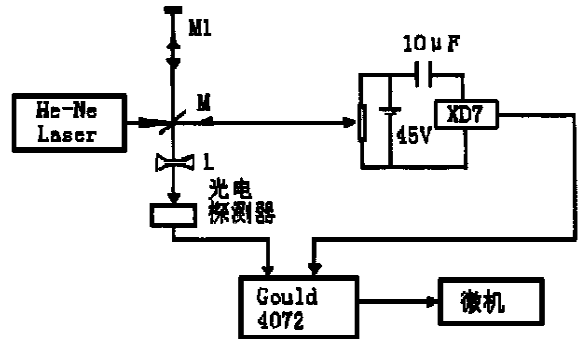


图 1 实验原理示意图

谐振动时, 在半周期(波峰与波谷之间)内的位移为 $2A$, 这样可由半周期内移过的条纹数 N 确定器件表面的振幅 A 为:

$$A = N\lambda/4 \quad (1)$$

对于表面位移 $y = A \cos(2\pi f t)$, 光电检测器的输出光电流可表示为^[1]

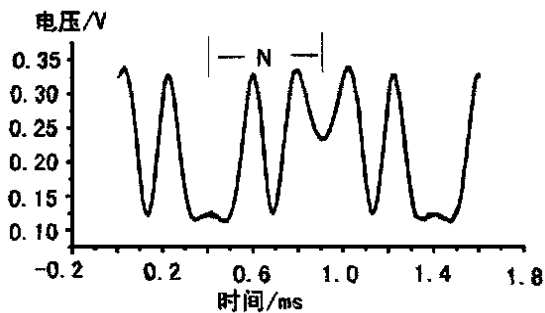
$$I = I_0 + I_1 \cos\left(\frac{2\pi x}{h} - \frac{4\pi A \cos(2\pi f t)}{\lambda}\right) \quad (2)$$

式中: x 为光电检测器在干涉条纹中的位置。显然, 当位移变化 $\lambda/2$ 时, 波形相位变化 2π , 在位移极大处由于位移反相而使光电流波形发生反转。因此, 很容易由记录的光电流信号中两相邻反转点之间的周期数确定半周期内移过的条纹数 N 。条纹数 N 中小于 0.5 的非整数部分 N' 由它对应的电压 V 与半条条纹对应的峰峰电压 V_{PP} 之比确定, 即 $N' = V/V_{PP} \times 0.5$ (如图 2(b) 所示)。

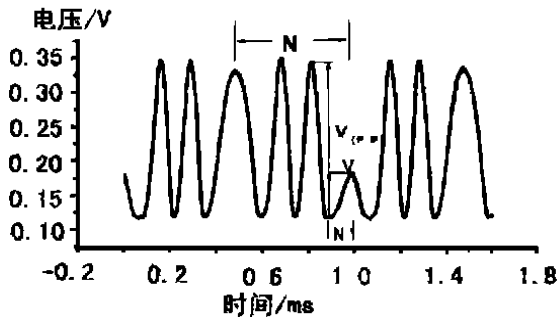
收稿日期: 2000-03-27; 修回日期: 2000-07-06

本课题由自然科学基金资助

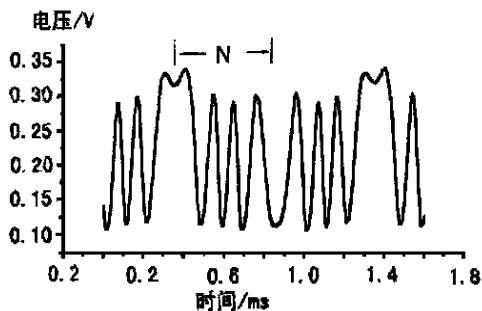
作者简介: 刘合伟(1977-), 男, 山东人, 硕士研究生, 研究方向: 激光超声的应用。



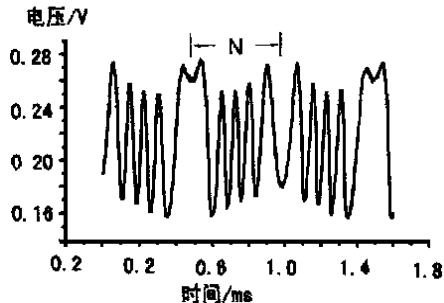
(a) $V = 22.6V$ $N = 1.8$



(b) $V = 27.7V$ $N = 2.6$

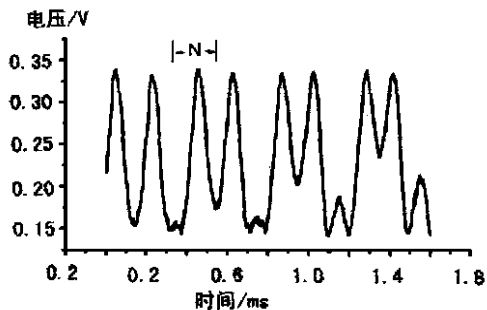


(c) $V = 34.8V$ $N = 3.55$

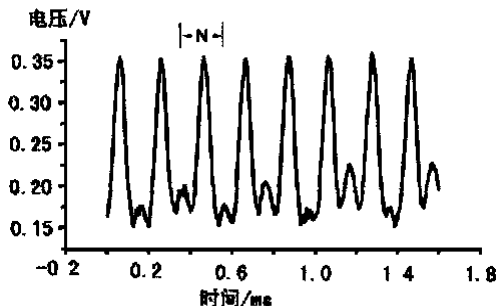


(d) $V = 44.2V$ $N = 4.55$

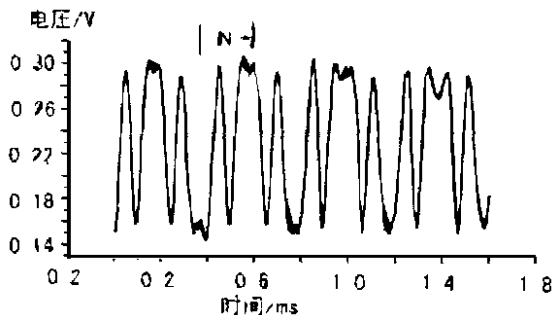
图 2 器件 1 在不同电压下的光电流波形



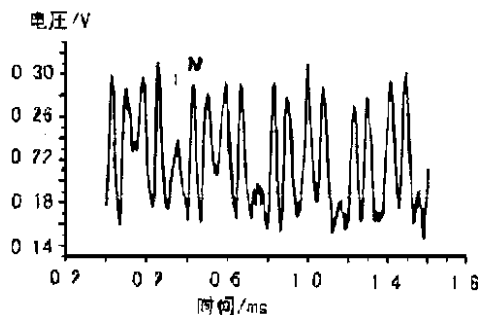
(a) $V = 22.6V$ $N = 0.9$



(b) $V = 27.7V$ $N = 1.2$



(c) $V = 34.8V$ $N = 1.55$



(d) $V = 44.2V$ $N = 2.1$

图 3 器件 2 在不同电压下光电流波形

2 实验

实验中待测的微驱动器是由 31 层铌锌锆钛酸铅-锆钛酸铅固溶体(每层厚约 $64\mu\text{m}$) 组成, 简称为 PZN-PZT。为了能测量交变位移, 避免加负电压时材料退化, 测量时试样上加有 45V 的直流偏置电

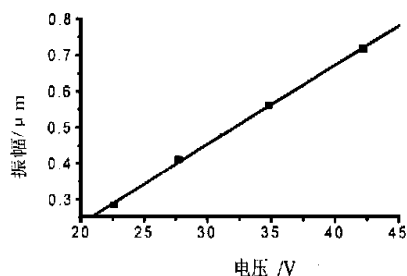
压。交流电压由低频信号发生器 XD7 经隔直电容 C 加到微驱动器上。为了使输出的光电流信号有高的信噪比, 在试样表面粘上很小的反射镜。光电流信号由数字示波器 Gould 4072 记录。最后输入微机进行数据分析和处理。

图 2 和图 3 分别是微驱动器 No. 1 和 No. 2 在

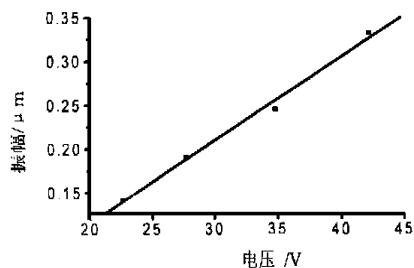
$f = 1\text{kHz}$ 时不同驱动峰值电压下的光电流波形。在 Gould 4072 上可以直接读出半周期中移过的条纹数 N 。按公式(1)得到的微驱动器振幅的实测结果如表 1 所示。

表 1 不同激励频率和峰值电压下微驱动器的表面振幅

微驱动器		No. 1				No. 2			
峰值电压/V		22.6	27.7	34.8	42.2	22.6	27.7	34.8	42.2
22 Hz	N	1.85	2.70	3.65	4.50	0.90	1.23	1.70	2.10
	$\frac{A}{\mu\text{m}}$	0.293	0.427	0.577	0.712	0.142	0.195	0.269	0.332
200 Hz	N	1.10	2.80	3.70	4.50	0.90	1.20	1.65	2.13
	$\frac{A}{\mu\text{m}}$	0.174	0.443	0.585	0.712	0.142	0.190	0.261	0.337
1K Hz	N	1.80	2.60	3.55	4.55	0.90	1.20	1.55	2.10
	$\frac{A}{\mu\text{m}}$	0.285	0.411	0.562	0.720	0.142	0.190	0.245	0.332



(a) 器件 1



(b) 器件 2

图 4 两微驱动器位移-电压响应曲线

对表 1 得到的微驱动器表面振幅, 可以用式 $A = a + S V$ 进行线性拟合, 得出不同频率的微驱动器的电压-位移灵敏度 $S (\mu\text{m}/\text{V})$ 。图 4 是在 1kHz 的两个微驱动器的响应曲线。而不同频率的灵敏度 S , a 及相关系数 r 如表 2 所示。

表 2 微驱动器在不同频率下的拟合参数

微驱动器	No. 1			No. 2		
	$\frac{a}{\mu\text{m}}$	$\frac{S}{\mu\text{m}\cdot\text{V}^{-1}}$	r	$\frac{a}{\mu\text{m}}$	$\frac{S}{\mu\text{m}\cdot\text{V}^{-1}}$	r
22Hz	-0.173	0.021	0.9971	-0.0757	0.0098	0.9988
200Hz	-0.351	0.026	0.9634	-0.0847	0.010	0.9998
1000Hz	-0.207	0.022	0.9995	-0.0755	0.0095	0.9960

3 结 论

激光干涉法测微小振动具有简便, 精度高, 动态测量的优点。实验结果表明所测的微驱动器具有很好的性能。它有一定的位移-电压灵敏度, 而且其频率响应至少可达 1kHz 。

第 1 个微驱动器 (No. 1) 的位移-电压灵敏度, 约为 $0.02\mu\text{m}/\text{V}$, 与上海硅酸盐研究所测得的静态数据非常相近 (在 60V 的静态电压下所测的位移为 $1.3\mu\text{m}$, 相应的位移-电压灵敏度为 $0.02\mu\text{m}/\text{V}$)。第 2 个微驱动器 (No. 2) 的位移-电压灵敏度 ($0.01\mu\text{m}/\text{V}$), 约为 No. 1 的一半。这可能是因为 No. 2 微驱动器在 1kHz 上开始测量时就与基座脱胶, 难以再粘紧, 致使两个表面同时有位移的缘故。

中科院上海硅酸盐研究所陈大任研究员等研制了实验用的微驱动器, 在此深表谢意。

参考文献:

- [1] J. J. Gilheany. Optical Homodyning: Theory and Experiments [J], Am. J. Phys, 1975, 39: 507-512.

书 讯

由南京大学声学所杜功焕、朱哲民、龚秀芬合著的“声学基础”第 2 版已由南京大学出版社出版, 并向全国发行。第 2 版比 1981 年的第 1 版有重要修改和补充。现书为大 32 开, 单本装计 46.4 万字, 定价 25 元。该书可作为高等院校声学专业的教材, 也可供声学及其它相关专业的研究生专业研究与工程技术人员参考。读者如需用书也可向南京大学出版社发行部直接邮购, 邮购 20 本以上可享受免收邮寄费用优惠。

南京大学出版社地址: 南京市汉口路 22 号

邮编: 210093, 电话: 025 3592317, 3596923

本刊讯