



集
锦

自制激光干涉仪测杨氏模量

肖鹏程¹, 邓永菊¹, 岳明¹, 黄靓¹, 张跃杰¹, 戴伟^{1,2}

(1. 湖北第二师范学院 物理与电子信息学院, 湖北 武汉 430205;

2. 中国科学院 武汉物理与数学研究所, 湖北 武汉 430271)

摘要: 采用了激光干涉法测量杨氏模量, 应用光电传感器检测条纹的明暗交替变化, 增加了温度传感器监测环境的温度变化, 用注水的方法改变碳钢丝上的拉力, 并用压力传感器进行测量, 获得了精度较高的测量结果。

关键词: 激光干涉; 环境温度; 杨氏模量

中图分类号: O436.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-4642(2013)01-0033-03

1 引言

杨氏模量的测定对研究金属材料^[1]、光纤材料^[2]、半导体^[3]、纳米材料^[4]、聚合物^[5]、陶瓷^[6]、橡胶等材料的力学性质有着重要意义。同时, 杨氏模量作为衡量材料弹性变形难易程度的关键指标, 是选定机械零件材料的主要依据之一, 也是工程技术设计中常用的参量。杨氏模量的研究引起国内外学者的广泛关注: 2008年, 以色列的 Rafael M. Digilov 应用压力传感器设计了快速测定杨氏模量的实验方法^[7]; 2009年, 韩国的 Lee S. J. 等利用可视图像追踪系统研究了金膜的杨氏模量^[8]; 同年, 法国的 Thome 等人应用原子力显微镜研究了硅涂层的杨氏模量^[9], 以上的研究都是借助精密的仪器完成。相对而言, 国内的研究者更多的是借助大学物理实验平台, 开展杨氏模量的测量工作, 2002年, 空军第一航空学院的黄宜军等用线阵 CCD 光电传感器作为接收器, 设计了杨氏弹性模量自动测量系统^[10]; 同年, 电子科技大学的严一民根据霍尔器件能构成均匀的腔体磁场, 提出了用磁感应法测量金属丝杨氏模量的方法^[11], 该方法对实验仪器的更新和设计方面起到一定的指导作用; 2006年, 重庆交通学院的胡成华将半导体激光器做成激光杠杆, 设计了拉伸法测定杨氏弹性模量的实验方法^[12], 有效改善了测量结果的精度; 2011年, 彭涛等应用电桥法测量了钢丝的杨氏模量^[13], 其难点在于如何设计交

流电桥测量微小电容的改变量。

本文整合了大学物理实验有限的教学资源, 应用激光干涉法设计了测量金属丝杨氏模量的实验方法, 实验装置结构简单, 测量精度较高。

2 测量原理及装置

在外力作用下, 物体发生形变的同时, 物体内各相邻部分的材料之间引起相互作用的内力, 对弹性介质而言, 这种内力便是弹性力。根据胡克定律, 在弹性限度内, 金属丝的单位横截面积上所受拉力 $\frac{F}{S}$ 与单位长度的伸长量 $\frac{\Delta L}{L}$ 成正比,

$$\frac{F}{S} = E \frac{\Delta L}{L},$$

其比例系数 E 称为金属丝的杨氏弹性模量。其中 F, L 及 S 都是可以测定的量, 而 ΔL 是微小的伸长量, 用通常的方法很难准确测量。在大学物理实验中, 一般是使用由望远镜、反射镜、标尺、支架等组成的光杠杆系统对微小长度进行放大测量, 鉴于学生对光杠杆的准确调节难以把握, 本文分别应用变电容量方法和激光干涉法改进大学物理实验杨氏模量的测量装置。改进后的实验装置操作简单, 使用方便, 结果可靠, 实现了实验数据采集的自动控制。

2.1 物理原理及装置结构

激光干涉法精确测量杨氏模量的装置原理及装置结构如图 1 和图 2 所示。

收稿日期: 2012-06-05; **修改日期:** 2012-09-03

资助项目: 湖北省十二五规划课题 (No. 2011B238); 湖北第二师范学院重点课题 (No. B2011A008); 湖北第二师范学院校管课题 (No. B2011B003)

作者简介: 肖鹏程 (1964—), 男, 湖北武汉人, 湖北第二师范学院物理与电子信息学院讲师, 硕士, 研究方向为单片机与机器人智能控制。

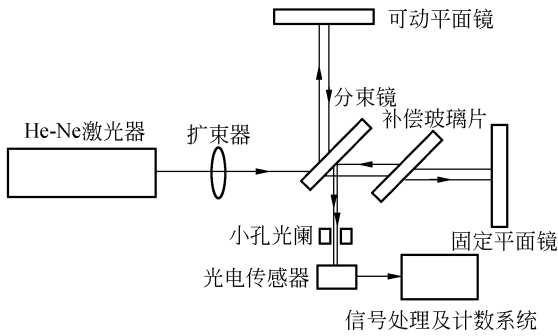


图 1 激光干涉法精确测定杨氏模量原理图

回来,另一束到可动平面镜再反射回来,以上 2 束光最终在光电传感器处产生干涉条纹^[14]. 其中可动平面镜与测杨氏模量的碳钢丝相连,碳钢丝在外力的作用下有微小伸长量 ΔL , ΔL 的 2 倍即为该路光线光程差的改变量,可以通过干涉条纹数的变化,来确定碳钢丝的形变量 $\Delta L = N \frac{\lambda}{2}$. 条纹数通过光电二极管进行检测,输出的数字信号由单片机检测、处理和显示. 杨氏模量和条纹数变化的关系为:

$$E = \frac{4FL}{\pi d^2 \Delta L} = \frac{8FL}{\pi d^2 N \lambda}, \quad (1)$$

其中, λ 为激光光源的波长, N 为干涉条纹移动的数目, F 为施加在碳钢丝上的拉力(由压力传感器直接测出), L 为碳钢丝长度, d 为碳钢丝直径.

2.2 测控部分及原理

测控部分及原理如图 3 所示,光电传感器检测到条纹的明暗交替变化将其转换为电信号,经过单片机(STC12C5A60S2)进行高速 AD 转换,再利用单片机对数字信号进行处理得到条纹的移动条数,并由 NOAIA5110 液晶进行显示. 同时添加了温度传感器(DS18B20)对实验环境的温度变化进行监测,用来修正压力传感器的零点漂移,提高碳钢丝上的拉力测量精度,方便实验环境的记录,如图 4 所示.

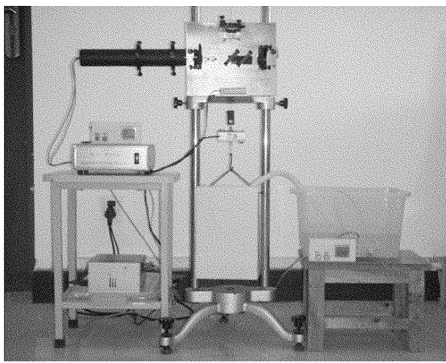


图 2 激光干涉法测杨氏模量实验装置图

激光由激光器发出经扩束器扩束后经分束镜分成 2 束,一束经补偿玻璃片到固定平面镜反射

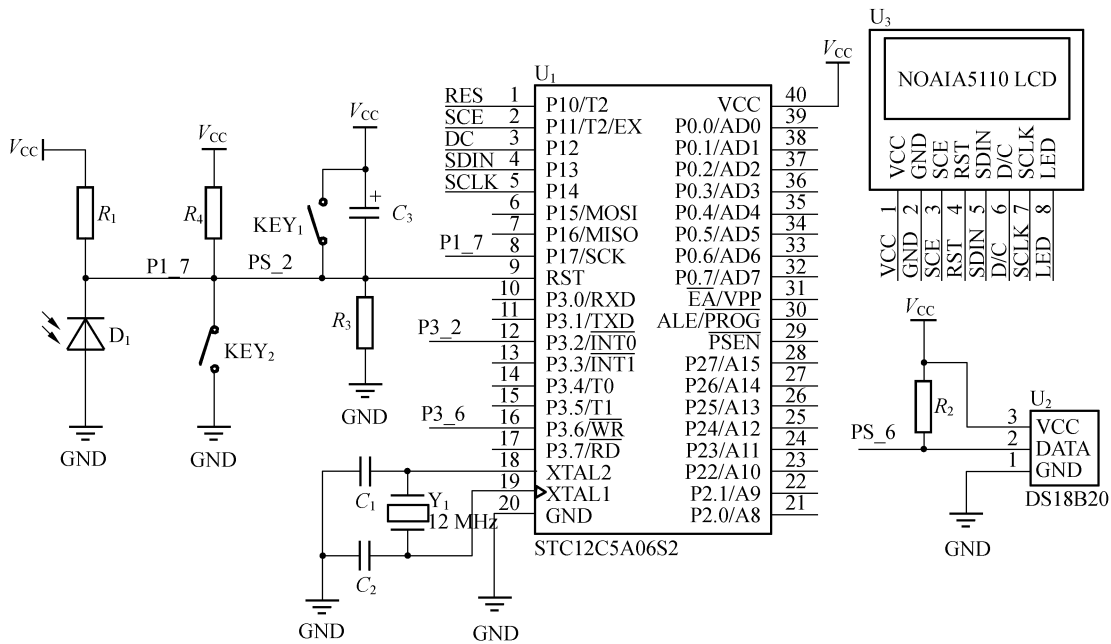


图 3 光电检测部分原理图

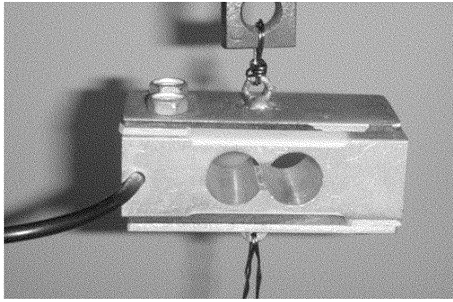


图 4 压力传感器模块

由于采用注水的方法来连续改变施加在碳钢丝上的拉力,所以加入了自行改装的压力传感器对碳钢丝上的压力进行测量,这样可以增加测量杨氏模量时的采样点,提高实验精度.获得的干涉条纹如图 5 所示.

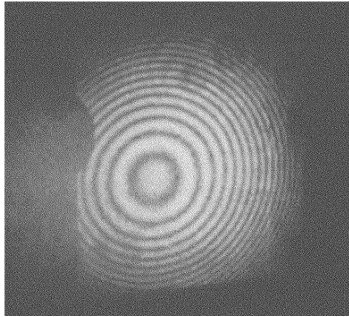


图 5 实验过程中获得的干涉条纹

3 实验结果与误差分析

实验中碳钢丝直径 $d=(0.9\pm 0.006)$ mm,碳钢丝长度 $L=(69.5\pm 0.05)$ cm, He-Ne 光源的中心波长为 $\lambda=632.8$ nm,测得数据如表 1 所示.

表 1 实验数据

组	F/N	条纹数
1	5.0	0
2	10.0	101
3	15.0	201
4	20.0	302
5	25.0	401
6	30.0	501
7	35.0	602
8	40.0	702
9	45.0	803
10	50.0	904

将表 1 中数据代入式(1)得 $E=171.9$ GPa.忽略压力测量带来的误差,测量结果的相对不确定度为 1.66%,由此得

$$E=(171.9\pm 2.8) \text{ GPa.}$$

测量值在碳钢丝的杨氏模量标称值 160.25 ~ 178.30 GPa 范围内,说明本实验方案切实可行.

4 结束语

本文充分利用大学物理实验平台,在资源有限的条件下,提出了杨氏模量测定的改进方法.通过创新实验设计,激发学生的创新思维,通过多个大学物理实验思想的交叉融合,锻炼提高学生的创新能力^[15].

参考文献:

- [1] 刘培生. 三维网状泡沫金属杨氏模量和泊松比的数理表征[J]. 稀有金属材料与工程, 2009, 38(z3): 240-244.
- [2] 文庆珍,苑秉成,黄俊斌. 封装聚合物对光纤光栅压力传感增敏的影响[J]. 武汉大学学报(理学版), 2005, 51(5): 571-573.
- [3] 许福军,沈波,王茂俊,等. 高 Al 组分 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 薄膜的弹性-塑性力学性质[J]. 半导体学报, 2007, 28(10): 1551-1554.
- [4] 邢冬梅,李鸿琦,李林安. 纳米材料杨氏模量及延伸率与微观结构的关系[J]. 天津大学学报, 2000, 33(2): 265-269.
- [5] 何智兵,阳志林,闫建成,等. 不同参数对 GDP 薄膜的结构与力学性能的影响[J]. 原子能科学技术, 2010, 44(8): 989-994.
- [6] 尹邦跃,王零森. 热压烧结 B4C 陶瓷的物理性能研究[J]. 原子能科学技术, 2004, 38(5): 429-431.
- [7] Digilov RM. Flexural vibration test of a cantilever beam with a force sensor: fast determination of Young's modulus. EUROPEAN JOURNAL OF PHYSICS[J]. 2008, 29(3): 589-597.
- [8] Lee SJ, Han SW, Hyun SM, et al. Measurement of Young's modulus and Poisson's ratio for thin Au films using a visual image tracing system. CURRENT APPLIED PHYSICS[J]. 2009, 9: S75-S78.
- [9] Thome T, Fouchez S, Delalande S. Determination of silicone coating Young's modulus using atomic force microscopy. PHYSICA B-CONDENSED MATTER [J]. 2009, 404(1): 22-25. (下转第 39 页)

此方法清除了参考光程补偿时所产生的有害视场的背景干涉条纹。由于对物光程的补偿,物光漫散射带来更大的光能损失,因此使用功率较小的激光器进行全息照相时,应用这种方法比较困难。

4 结 论

综合上述分析,全息照相景深扩展所采取的光程补偿方法是灵活的。虽然光程补偿的效果表象上是提高了激光器的相干长度,但是实际上光程补偿并没有实质性地改善激光器的相干特性,恰恰相反光程补偿的条件是必须满足激光器的相

干特性。

参考文献:

- [1] 肖怡安. 全息照相中的景深[J]. 大学物理实验, 2001,14(1):18.
- [2] 王路威. 全息图的拍摄[J]. 成都大学学报,2001,20(7):24.
- [3] 林有义,高淑梅,赵志敏,等. 大景深多重全息术及其应用[J]. 光学学报,1994,14(12):1255.
- [4] 王策. 大幅面大场景全息照相[J]. 激光杂志, 2000,21(4):23.

Expansion of the depth of field in holography experiment

XIAO Yi-an

(School of Physics and Technology, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: Usually, for objects of large depth of field, an all-clear image could not be obtained in one holography experiment, i. e., the image had vague field or dark field. The reason was that the depth of field of the object exceeded the maximum depth of field according to the coherence length of laser. In order to expand the depth of field of laser, the method of compensating optical path was introduced to obtain the clear image.

Key words: holography; depth of field; expansion

[责任编辑:郭 伟]

(上接第35页)

- [10] 黄宜军,曾宪林. 自动测量杨氏弹性模量的研究[J]. 激光与红外, 2002,32(4):274-275.
- [11] 严一民. 用磁感应法测量金属丝杨氏模量的方法[J]. 电子科技大学学报, 2002, 31(4):429-433.
- [12] 胡成华,周平. 利用激光杠杆测定杨氏弹性模量[J]. 大学物理, 2006, 25(3):44-45.
- [13] 彭涛,王新春,王宇,王昆林,司民真. 电桥法测杨

氏模量的实验研究[J]. 大学物理实验, 2011, 24(1):51-53.

- [14] 黄婉华,程敏熙,陈映纯. 利用平面平晶反射干涉制作低频全息光栅[J]. 物理实验,2012,32(4):40-42.
- [15] 腾道祥. 光纤传感器的基本工作原理及制作[J]. 物理实验,2010,30(8):36-38.

Young's modulus measurement with laser interference

XIAO Peng-cheng¹, DENG Yong-ju¹, YUE Ming¹,
HUANG Liang¹, ZHANG Yue-jie¹, DAI Wei^{1,2}

(1. School of Physics and Electronic Information, Hubei University of Education, Wuhan 430025, China;
2. Wuhan Institute of Physics and Mathematics, Chinese Academy of Science, Wuhan 430071, China)

Abstract: Young's modulus was measured by laser interference. In the experiment, the alternate change of light stripe and shade stripe was detected by photoelectric sensor; the change of environmental temperature was monitored by temperature sensor. The tension in the carbon steel wire, which changed with the weight of water, was measured by sensor. The measurement result was accurately obtained.

Key words: laser interference; temperature; young modulus

[责任编辑:郭 伟]