

· 测试、试验与仿真 ·

基于等光程法测量固体线膨胀系数装置的设计

李儒颂, 孙继远, 徐 芹

(河北工业大学 理学院, 天津 300401)

摘 要: 基于迈克尔逊干涉仪能够测量微小长度变化量的原理, 自行改装并设计出利用等光程法实现对固体材料线膨胀系数精确测量的装置。基本思路是将原迈克尔逊干涉仪上的两个反射镜都改装成动镜, 并将改装后的一动镜放在新增的导轨上, 然后将其和待测金属棒的一端相连接, 当金属棒受热后会产生细微的伸长, 进而顶着动镜产生细微的移动, 通过调节并观测受热前后屏上干涉条纹“缩进”和“涌出”的分界点来确定金属棒产生的微小形变量, 然后根据公式计算出待测金属棒的线膨胀系数。该测量方法克服了传统数条纹方式的缺陷, 可实现对金属棒线膨胀系数的精确测量, 具有操作简便, 实用性强的优点。

关键词: 迈克尔逊干涉原理; 等光程; 线膨胀系数; 分界点

中图分类号: O436.1

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2015)-03-0070-04

Design of Measuring Equipment to Explore Solid Linear Expansion Coefficient Based on Aplanatism Method

LI Ru-song, SUN Ji-yuan, XU Qin

(School of Sciences, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China)

Abstract: Based on the principle that the Michelson interferometer can be used to measure the slight variation in length, a device for accurate measurement of thermal expansion coefficient of solid material line by using the method of equal optical path is revised and designed. The basic idea is that two pieces of mirror on original Michelson interferometer are converted into moving mirror, are put on the new added rail, and are connected with one end of the tested metal rod. When the metal rod is heated, it will lengthen slightly, which drives the moving mirror to produce a slight movement. By adjusting and observing the demarcation point of the interference fringes' "indentation" and "emission" on the observation screen before and after heating, the micro change of the shape of the metal rod can be determined. And then, the coefficient of linear thermal expansion of the tested metal rod is calculated according to the formula. The method overcomes the defects of traditional fringe method, and can realize the accurate measurement of the coefficient of linear thermal expansion of the metal rods. This method has the advantages of simple in operation and practical.

Key words: Michelson interference principle; aplanatism; coefficient of linear thermal expansion; boundary point

线膨胀系数常用来表征固体材料随温度变化而引起的长度变化情况, 它是所有固体材料具有的基本属性, 被广泛应用于建筑工程、精密仪器等领域。确定线膨胀系数的一般原理通常是通过测量

固体随温度变化而引起的长度变化量来确定。一般金属材料的线膨胀系数在 $(0.8 \sim 2.5) \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 之间。固体材料线膨胀系数的测量方法有很多种^[1-4], 对固体材料线膨胀系数的精确测量的关键因素主

收稿日期: 2015-06-09

基金项目: 河北省青年基金(A2015202343); 河北工业大学大学生创新创业计划(201413584001)资助课题

作者简介: 李儒颂(1990-), 男, 湖北通山县人, 学士, 主要从事平板显示技术和光电子技术方面的研究。

要有两个:一是微小量的精确测定。传统的测量方法是采用光杠杆方法^[5],此方法操作不方便,局限性较大,导致测量精度降低;另外用千分表^[6]等仪器测量微小位移的测量误差也较大。二是对金属棒加热过程中,应使其保持均匀受热,因此,温度的精确控制也非常重要。为了减小温度梯度,文中采用的是数字智能化半导体恒温加热器^[7],这样既保证了电加热法操作简单,加热迅速等优点,同时又提高了控温精度。此外,为了提高测量精度,也有学者提出用单缝衍射法^[8-9]、电容位移传感器^[10]来测量金属棒线膨胀系数,但这些方法都存在不同程度的误差。

基于迈克尔逊干涉原理^[11-12],提出了用等光程法实现对金属棒线膨胀系数的精确测量。其基本思路是对光学实验中的迈克尔逊干涉仪进行改装,通过调节光路,使分光板到两动镜之间的光程相等,从而测出金属棒受热前后发生的形变量,进而可确定待测金属棒的线膨胀系数。

1 实验测量原理

1.1 迈克耳逊干涉仪

迈克尔逊干涉原理图1所示。He-Ne激光器S发射出的光射向平行平面透明薄板 G_1 ,其中, G_1 的后表面涂有半透膜(反射光与透射光各为50%),它把从S射来的光束,分成振幅近似相等的反射光1和透射光2,故 G_1 称为分束板。 G_2 与 G_1 平行放置,它的作用是使1、2两光束在玻璃中经过的光程完全相同,故 G_2 称为补偿板。反射光1射向平面镜 M_1 ;透射光2透过补偿板 G_2 射向平面镜 M_2 。 M_1 和 M_2 是两块反射率很高的平面反射镜,二者与 M_1 成 45° 角。所以1、2两束光被 M_1 和 M_2 反射后又回到 G_1 的半反射膜上,再汇集成一束光射向接收屏E。由于这两束光来自光源上同一点,因而是相干光,而到达光屏E的这两束光是相干的,从E处向 M_1 方向望去,即可观察到干涉图样。与此同时,由几何光学可知, M_2 经过 G_1 所成的像位于 M_2' 处,因此,干涉仪产生的干涉相当于由 M_1 和 M_2' 构成的空气薄膜 d 产生的。如果 M_1 和 M_2' 保持严格平行,在接收屏E处可观察到一组等倾的圆环条纹。 M_1 可以前后移动,空气膜厚度也会随之改变。当 M_1 移向 M_2' 时,空气膜厚度逐渐减小,条纹向中心收缩,并在中心一一消失。 M_1 平移 $\lambda/2$ 的距离,在中心消失一个条纹,当 M_1 与 M_2' 完

全重合的时候,视场一片均匀照亮;如果使 M_1 逐渐离开 M_2' ,则条纹会不断从中心冒出,如果视场中心消失(或冒出)的条纹数目为 N ,则它与 M_1 的移动距离 d 和入射光的波长 λ 有如下关系

$$d = N \frac{\lambda}{2} \quad (1)$$

由图2,反射镜 M_1 、 M_2 是固定的, M_1 可以在导轨上前后移动,可以改变1、2两束光的光程差, M_1 由精密丝杆7带动,其移动的距离可以从仪器左侧米尺、大转轮上方的读数窗口和右侧的微动鼓轮上读出,读数窗口的最小读数为 10^{-2} mm,右侧的微动鼓轮的最小读数为 10^{-4} mm,可以估读到 10^{-5} mm。 M_1 和 M_2 背面各有三个螺丝,用来调节 M_1 和 M_2 的方向。垂直拉簧螺钉可对 M_2 的方向作微调。

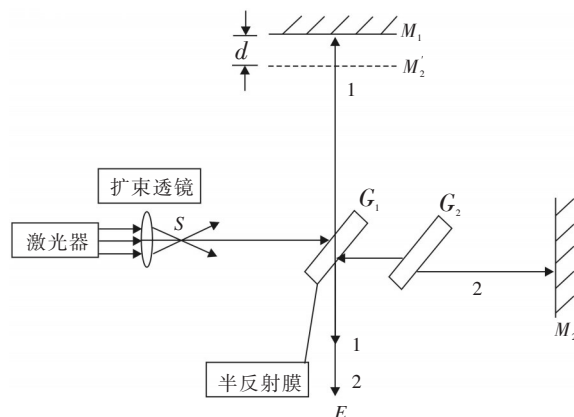


图1 迈克尔逊干涉仪光路原理图

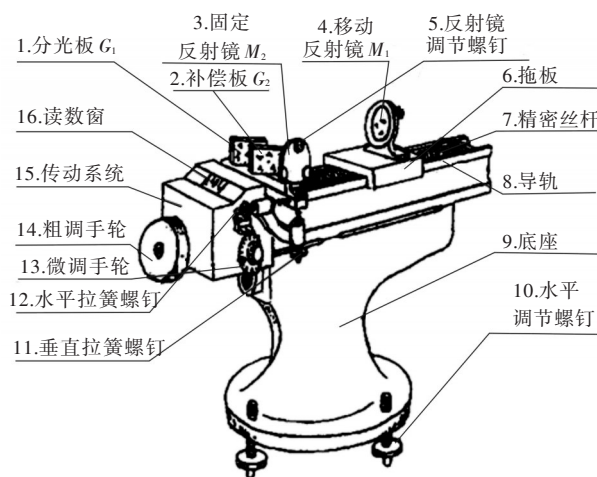


图2 迈克尔逊干涉仪结构图

本实验对现有迈克尔逊干涉仪进行改装的设计思路为:反射镜 M_1 所在的导轨不变,通过给反射镜 M_2 新增加一个与反射镜 M_1 所在的导轨等高且垂直

导轨,使其由原来的固定改为可在新增加的导轨上移动。首先,通过使用迈克尔逊干涉仪的调节系统,使1、2两束光保持光程相等。然后,当反射镜 M_2 在其导轨上产生移动时,必然会导致光束1和2的光程差的改变,从而使其光程不相等,这时可以通过调节迈克尔逊干涉仪上的螺杆,使反射镜 M_1 在其所在的导轨上也移动,通过观察光屏 E 上寻找干涉条纹“缩进”和“涌出”的分界点,就可以从迈克尔逊干涉仪系统上直接读出数值,进而可以确定两个分界点之间的距离,而这一距离是反射镜 M_2 所移动的距离。这一设计正是下面所提到的利用等光程法实现对固体线膨胀系数的精确测量的理论基础。

1.2 金属棒的线膨胀系数

固体材料因温度升高而引起的长度变化称为线膨胀,原长为 l 的固体受热后其相对伸长与温度的变化成正比,即

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l \Delta T} \quad (2)$$

其中,比例系数 α 称为固体的膨胀系数,其单位为 K^{-1} ,线膨胀系数是一种材料特性参数,它随物体的材料而异;在温度变化不太大的范围,可以把 α 看作常数。

设某固体在温度 T_1 和 T_2 的长度分别为 l_1 和 l_2 ,则该温度范围内的线膨胀系数 α 为

$$\alpha = \frac{l_2 - l_1}{l(T_2 - T_1)} = \frac{\Delta l}{l(T_2 - T_1)} \quad (3)$$

显然,只要在实验中测得式中的 l 、 T_1 和 T_2 ,即可求得线膨胀系数 α 。

结合改装后迈克尔逊干涉仪得到的等光程法测量固体线膨胀系数的原理,可知受热金属棒推动动镜 M_2 移动的距离 Δl 和用迈克尔逊干涉仪的调节系统调节动镜 M_1 移动的长度 Δd (可由迈克尔逊干涉仪的读数系统直接读取)是相等的,即 $\Delta d = \Delta l$ 。

于是就可以得到下式

$$\alpha = \frac{\Delta d}{l(T_2 - T_1)} \quad (4)$$

式(4)即为待测金属棒的线膨胀系数计算公式。

2 实验装置与方法

2.1 半导体恒温加热器

为减小金属棒的温度梯度,文中采用的加热装

置是在传统的电加热装置的基础上,结合了半导体加热原理和温度传感器设计而成的数字智能化加热装置^[7]。下面仅简单对所用的半导体恒温加热器做详细介绍。

半导体恒温加热器的传热部分结构如图3所示。它是由半导体温差电偶及连接铜片组成的。半导体温差电偶由40片TEC-03105型半导体片组成,对称分布于待测金属棒的两侧。加热器工作时,将热端面贴在导热铝块上。为提高制热/制冷效果,在热端面的接触表面涂上一层导热硅胶;同时,为加强散热,可在冷端面安装风扇。

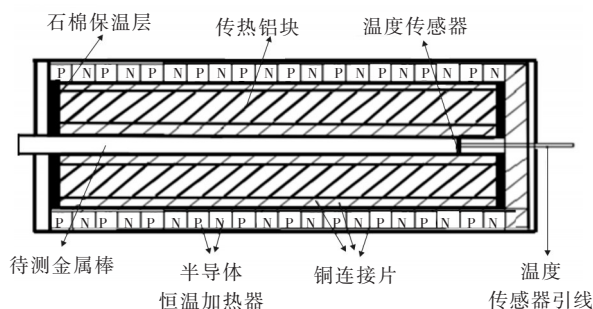


图3 半导体恒温加热器的传热部分结构

2.2 实验整体装置和实验方法

实验整体装置示意图如图4所示。

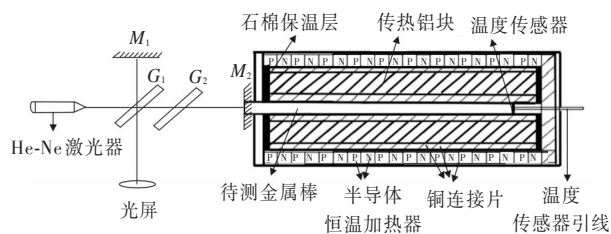


图4 实验整体装置示意图

根据迈克尔逊干涉仪可测量微小长度变化量的原理,设计出利用等光程法测量金属棒线膨胀系数的装置。该实验装置主要由He-Ne激光器、扩束镜、改装后的迈克尔逊干涉仪、半导体恒温加热装置和新增导轨五个部分组成。迈克尔逊干涉仪改装和实验过程的具体思路是:首先,将原迈克尔逊干涉仪上的两个反射镜都改装成动镜,将改装后的一动镜放在新增的导轨上,同时将金属棒一端插入到半导体恒温加热器中,另一端在新增导轨上直接和动镜 M_2 连接;然后,给金属棒加热,使金属棒伸

长,在产生微小变化的前后,再通过调节迈克尔逊干涉仪上的螺杆,在观察屏上寻找干涉条纹“缩进”和“涌出”的分界点,就可以从迈克尔逊干涉仪系统上直接读出数值,进而可以确定两个分界点之间的距离,该距离即为待测金属棒加热后的伸长量;进而依据公式便可确定待测金属棒的线膨胀系数,这样可以减少传统方法的测量误差,提高实验结果的精确性。需要注意的是,在加热过程中待测金属棒要保持水平推动动镜 M_2 ,否则会造成很大的实验误差。

3 结 论

研究提出利用等光程法测量金属棒线膨胀系数设计的方案,其中优点是:(1)与现有利用迈克尔逊干涉仪通过数条纹的方法测量金属棒线膨胀系数技术相比,本设计直接利用了迈克尔逊干涉仪的读数系统,可精确到 $0.1\ \mu\text{m}$,并可以直接测量金属棒的微小长度的变化量。与传统的迈克尔逊干涉方法(通过观察干涉屏上干涉圆环“涌出”或“陷入”的条纹的个数来确定动镜移动的位移,进而确定金属丝的伸长长度,然后根据公式求出金属棒的线膨胀系数)相比,利用等光程法测量固体线膨胀系数操作更方便,实验结果的精确度更高,且具有实用性更强的优点。(2)定镜改为动镜直接放在待测金属棒的顶端上,避免了间接推动反射镜,而且更容易调节出初始时条纹“涌出”和“缩进”的分界面,从迈克尔逊干涉仪系统上可以直接读出数值,确定两个分界点之间的距离,即为金属棒的加热前后的微小伸长量,进而可得到该待测金属棒的线膨胀系

数。(3)该测量方法综合了力学和光学实验,可以测量各种金属棒等固体材料的线膨胀系数,也可用于测量其他物理量,如杨氏模量、透明液体的折射率等。该测量方法拓展了迈克尔逊干涉仪的实验用途,具有应用范围更广泛的优点。

参考文献

- [1] 花世群. 光的干涉法测金属线胀系数[J]. 光学技术, 2001, 27(4):383-384.
- [2] 安奎生, 张娟, 郭静杰. 用组合测量方法测金属线胀系数[J]. 物理实验, 2008, 28(1):33-35.
- [3] 刘爱华, 吴淑贞. 固体线胀系数测定仪的改进[J]. 大学物理, 2005, 24(3):48-49.
- [4] 严琴, 李东风. 低膨胀固体材料线膨胀系数的干涉测量方法[J]. 激光技术, 2004, 28(2):202-204.
- [5] 仇旭, 史建君, 李小云, 等. 光杠杆法测量固体的线膨胀系数[J]. 高校实验室工作研究, 2012, 111(1):52-53.
- [6] 范利平. 采用千分表测定金属线胀系数[J]. 大学物理, 2005, 24(2):61-62.
- [7] 贺靖勇, 肖会芹, 夏湘芳. 固体线膨胀系数测定仪的研制与改进[J]. 物理实验, 2006, 2(2):22-23.
- [8] 周秀娟, 刘心宇. 利用单缝衍射测金属材料的线膨胀系数[J]. 桂林电子科技大学学报, 2007, 27(3):224-226.
- [9] 盛爱兰. 一种基于单缝衍射的线膨胀系数测定装置[J]. 大学物理实验, 2013, 26(1):59-61.
- [10] 刘崧, 钟双英, 李鸿. 基于电容位移传感器的金属线胀系数测量[J]. 实验室研究与探索, 2013, 32(1):30-32.
- [11] 李儒颂, 徐芹, 叶文江. 基于迈克尔逊干涉测力传感器装置的设计[J]. 光电技术应用, 2015, 30(2): 83-86.
- [12] 李儒颂, 叶文江. 金属丝杨氏模量测量装置的设计[J]. 大学物理实验, 2014, 27(5):51-53.

(上接第35页)

[10] Matthew Brown, David Lowe. Invariant features from interest point groups[C]. Proceedings of the 13th British Ma-

chine Vision Conference, University of Cardiff, UK. 2002 (9): 253-262.