

# 迈克耳孙干涉仪测平行玻片折射率的研究

潘 峰, 杨江萍

(北京邮电大学 物理实验中心, 北京 100876)

**摘 要:**在利用迈克耳孙干涉仪测平行玻片折射率的实验中,干涉条纹的位置和形状会出现与常规不同的现象. 本文阐述了 2 种不同方法测量平行玻片的折射率,即如何利用干涉条纹出现的位置,以及条纹间距的差别来测定平行玻片折射率;利用激光等密度等厚干涉条纹法测定平行玻片的折射率. 并比较 2 种方法的各自优缺点.

**关键词:**迈克耳孙干涉仪;折射率;等密度条纹;等倾条纹

中图分类号:O435.1;O436.1

文献标识码:A

文章编号:1005-4642(2006)特-0112-04

## 1 引 言

迈克耳孙干涉仪是根据光的干涉原理制成的精密仪器,它在近代物理学的发展和近代计量技术中起过重要作用. 19 世纪末,迈克耳孙与其合作者曾用该仪器完成了著名的迈克耳孙-莫雷“以太漂移”实验、标定米尺及推断光谱精细结构等 3 项著名的实验. 第 1 项实验否定了“以太”的存在,并为爱因斯坦发现相对论提供了实验依据;第 2 项工作实现了长度单位的标准化,对近代计量技术的发展做出了重要贡献;迈克耳孙研究了干涉条纹视见度随光程差变化规律,并以此推断光谱线的精细结构,这是干涉分光技术的最早工作.

目前,迈克耳孙干涉仪用途更加广泛,可测定光谱结构、薄膜厚度、介质的折射率,还可以用光波长作度量标准等<sup>[1~2]</sup>. 本文通过干涉条纹的间距和形状测量平行玻片的折射率.

## 2 利用定域等厚干涉条纹法测量平行玻片折射率

用迈克耳孙干涉仪测平行玻片折射率的实验装置如图 1 所示<sup>[3]</sup>.

其中反射镜  $M_1$ ,  $M_2$  和半反射镜  $M$  及补偿板  $G$  构成干涉仪的主体,  $M_2'$  是  $M_2$  通过  $M$  所成的像,  $B$  是待测玻片. 不放玻片时,用白光调出干涉直条纹,彩色条纹中央的白色或灰色条纹对应于  $M_1$  和  $M_2'$  重合的位置. 设此时离开观察透镜

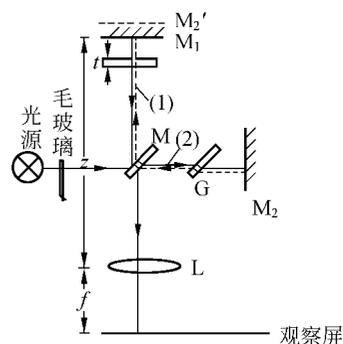


图 1 测平行玻片折射率的实验装置

$L$  的距离为  $z_1$ , 加上厚度为  $t$ 、折射率为  $n$  的玻片后,再用白光调出彩色干涉条纹. 设条纹在视场中央并且两侧条纹分布对称时,对应的距离为  $z_2$ . 显然,  $z_1$  与  $z_2$  的差应等于由玻片引入的光程与空气的光程之差. 即:

$$z_1 - z_2 = (n-1)t. \quad (1)$$

由此可得:

$$n = \frac{z_1 - z_2}{t} + 1 = \frac{d}{t} + 1, \quad (2)$$

其中,  $d = z_1 - z_2$  是  $M_1$  在 2 次观测中移动的距离,可从实验中测得. 玻片的厚度  $t$  已知,可由式 (2) 得出玻片的折射率  $n$ .

用白光为光源在迈克耳孙干涉仪上调出干涉条纹是本实验的关键. 常用的调节方法是:使  $M_1$  和  $M_2'$  稍有夹角,用单色面光源调出近似直线状条纹,再调节  $M_1$ ,直至干涉条纹出现曲率相反的

情况,在其分界处,即可调出白光干涉条纹,如图 2 所示. 然后加入玻片移动  $M_1$  镜  $d$  距离后,调出白光干涉条纹,但此时条纹并不呈直线状而是有一定的弯曲,这是由于采用的是面光源,所以光线是以不同的入射角射向反射镜及玻璃片,而加入玻片前后光程差的变化由 2 部分组成.

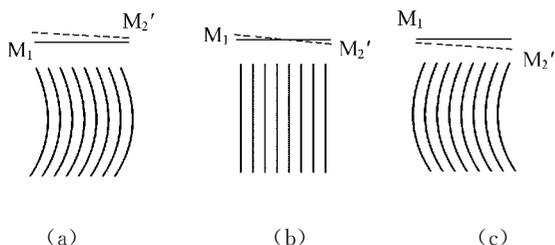
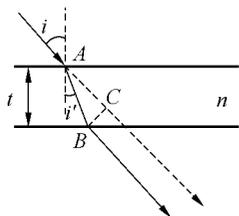
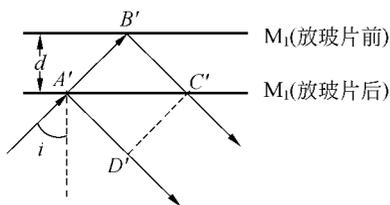


图 2 反射镜不同位置对应的等厚和非等倾、非等厚干涉条纹

玻片引起的光程差变化  $\Delta L$  和反射镜移动引起的光程差变化  $\Delta L'$ ,其光路图 3.



(a)玻片引起的光程差变化



(b)反射镜移动引起的光程差变化  
图 3 加入玻片前后光程差的变化

可看到白光干涉条纹的条件是:

$$\Delta L - \Delta L' = 2t\sqrt{n^2 - \sin^2 i} - 2tncos i = k\lambda \quad (3)$$

由式(3)知,由于  $t$  和  $n$  为常量,所以任一级次  $k$  对应的干涉条纹是倾角  $i$  一定的轨迹,即为圆环,所以加玻片后在看到的条纹范围内观察,其条纹有一定的弯曲,不呈直线状,但仍能用此方法来测量玻片折射率. 因为观察到的白光干涉条纹在视场中范围很窄,即通过眼睛观察,条纹总宽度

与  $M_1$  镜宽度相差不大,即在能观察到白光干涉条纹的范围内,改变  $M_1$  镜的位置,移动  $\Delta d$ ,条纹则消失,而其中的  $\Delta d$  很小,在  $0.01 \sim 0.1$  mm 之间. 因此,当我们观察白光干涉条纹时,保持人眼的观察方向和位置不变,在加玻片前后,只需记录白光干涉条纹在视场中相对位置一致的几组数据,不考虑某一种颜色对应的  $d$  位置,仍可减小误差.

在图 4 中  $a_1 \sim a_5$  为在未加玻片的情况下小范围移动  $M_1$  镜时,所观察到的白光干涉条纹在视场中各处位置的显示状况, $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5$  分别是刚出现条纹、条纹在视场偏右下部分、条纹在视场正中、条纹在视场偏左上部分、条纹即将消失时, $M_1$  镜到分光板  $M$  间的距离. 图 4 中  $b_1 \sim b_5$  是在加玻片并移动  $M_1$  镜后,所观察到的白光干涉条纹在视场中各处位置的显示情况,此时, $x_1', x_2', x_3', x_4', x_5'$  是与  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5$  相对应,  $M_1$  镜到分光板  $M$  间的距离.

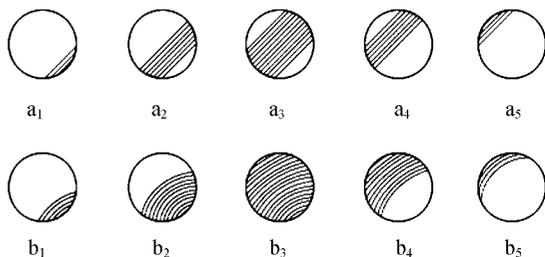


图 4 白光干涉条纹的位置

而分光板  $M$  到透镜  $L$  间的距离始终恒定,所以(3)式可化为  $x_i - x_i' = (n-1)t$ ,即  $d = x_i - x_i'$  为  $M_1$  在 2 次观测中移动的距离. 值得说明的是,当人眼上下移动时,观察到的条纹出现及消失时刻不同,也就是  $M_1$  镜到分光板  $M$  间的距离不一致. 所以为避免此种情况带来的误差,在观察白光干涉条纹时,一定要保持人眼的观察方向和位置不变.

从理论分析知,在白光调出的干涉条纹并非彩色或即使是彩色,也不易观察到具体某种颜色出现的位置时,我们仍可通过条纹在视场中的位置来测量玻片的折射率. 为验证这样测量的方法是否正确,用实验进行了检验,实验结果如下.

1) 测量玻片的厚度

用千分尺测量平行玻片厚度  $t = (0.817 \pm 0.007)$  mm.

## 2) 测量玻片的折射率

根据图 4 各图所对应的位置,在实验过程中,仅单向调节  $M_1$  的位置,一直减小  $M_1$  镜到分光板  $M$  间的距离. 所测数据如表 1 所示. 加玻片前后干涉条纹在视场中的位置读数分别为  $x_i, x_i'$ .

表 1 加玻片前后干涉条纹在视场中不同位置的读数

| 序号 | $x_i/\text{mm}$ | $x_i'/\text{mm}$ | $x_i - x_i'/\text{mm}$ |
|----|-----------------|------------------|------------------------|
| 1  | 32.920 40       | 32.475 00        | 0.445 40               |
| 2  | 32.914 45       | 32.469 05        | 0.445 40               |
| 3  | 32.911 25       | 32.464 10        | 0.447 15               |
| 4  | 32.907 82       | 32.459 92        | 0.447 90               |
| 5  | 32.902 50       | 32.452 12        | 0.450 48               |

由于  $d = x_i - x_i' = z_1 - z_2$ , 所以由以上数据得  $d$  的平均值为  $\bar{d} = 0.447 27 \text{ mm}$ , 经计算:

$$n = 1.548 \pm 0.007.$$

由此计算出的折射率与实际值偏差很小, 所以可判断通过观察白光干涉条纹的相对位置进行测量也可行.

## 3 用激光等密度等厚干涉条纹法测定平行玻片的折射率

用光纤输出扩束后的 He-Ne 激光作光源在观察屏处看到呈同心圆的等倾干涉条纹, 然后向条纹缩进的方向调节  $M_1$ , 在吐入和吐出的分界处, 可见到等厚干涉直条纹<sup>[4]</sup> (有时也会带有一定的弯曲, 因为  $M_1$  和  $M_2'$  可能稍有间距).

仔细调节干涉仪, 使等厚直条纹中最粗的几条处于观察屏的中央, 见图 5(a). 使  $CC$  与  $DD$  间出现  $m$  条暗条纹, 则对于靠近  $CC$  的较低和靠近  $DD$  的较高级次暗条纹之间的光程差变化量为  $\delta = \Delta_L - \Delta_H = m\lambda$ .

在光束(1)的光路中, 即在  $M_1$  和  $M$  之间插入 1 块折射率为  $n$  厚度为  $t$  的平行玻璃片, 并假设反射镜  $M_1$  在  $M_2'$  前面, 见图 6, 且光束(1)由此增加的光程  $t(n-1)$  比  $M_1$  和  $M_2'$  间气隙厚度大得多 [ $t(n-1) \gg d$ ], 则玻璃片的插入相当于把  $M_1$  多移离  $M_2'$  距离  $t(n-1)$ , 这时的气隙  $M_1'$  和  $M_2'$  厚度为:

$$d' = t(n-1) + d. \quad (4)$$

$CC$  和  $DD$  区间的条纹变密并移离该区间, 而在该区间内出现较高级次的条纹, 故对应于靠

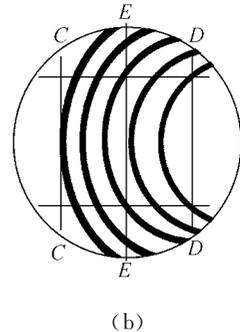
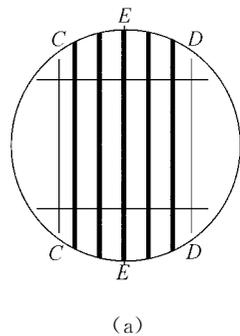
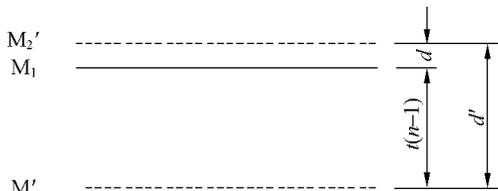


图 5 等厚(a)和非等倾非等厚干涉条纹(b)

图 6 对应图 5  $M_1$  镜的位置变化

近  $CC$  的较低和靠近  $DD$  的较高级次暗条纹之间的光程差变化量为:

$$\delta' = \Delta_L' - \Delta_H' = 2[t(n-1) + d_L] - 2[t(n-1) + d_H] = (k_L' - k_H')\lambda,$$

即

$$2(d_L' - d_H') = \Delta k' \lambda. \quad (3)$$

当在  $CC$  与  $DD$  间重新出现  $m$  条条纹时, 即有  $\Delta k' = m$ , 由以上的理论分析知, 这时的条纹不是等厚干涉形成的直条纹, 而是弯曲的条纹, 见图 5(b), 但仍可按照等密度来计算, 由此可得:

$$t(n-1) = 0.$$

可见, 在光束(1)插入玻璃片后, 为要在视场中 2 次出现相同密度的干涉条纹图样, 则必须将插入玻片后的等效气隙厚度  $d' = [t(n-1) + d]$  重新调到原来气隙厚度  $d$ , 即  $M_1'$  向  $M_2'$  移近距离  $t(n-1)$ , 此时的气隙厚度改变量为

$$\Delta d = d' - d = [t(n-1) + d] - d = t(n-1), \quad (5)$$

故

$$t = \frac{\Delta d}{n-1}. \quad (6)$$

由此可见,只要测出玻璃片的厚度  $t$ ,就可以计算出玻璃片的折射率.

实验结果:玻璃片的厚度为

$$t = (0.901 \pm 0.004) \text{ mm}.$$

测量玻片的折射率.未加玻片时调出等厚直条纹时  $M_1$  的位置的读数为  $d$ ,加玻片后调出干涉条纹  $M_1$  时的位置的读数为  $d'$ ,所以气隙变化量为  $\Delta d = d' - d$ ,所测数据如表 2 所示.

表 2 加玻片前后出现等密度等厚条纹时的位置的读数

| 序号 | 加玻片前 $M_1$ 的位置的读数 $d/\text{mm}$ | 加玻片后 $M_1$ 的位置的读数 $d'/\text{mm}$ | 气隙变化量 $\Delta d/\text{mm}$ |
|----|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| 1  | 33.492 75                       | 34.029 75                        | 0.537 00                   |
| 2  | 33.496 10                       | 34.032 55                        | 0.536 45                   |
| 3  | 33.501 50                       | 34.036 25                        | 0.534 75                   |
| 4  | 33.504 60                       | 34.039 35                        | 0.534 75                   |
| 5  | 33.507 70                       | 34.042 05                        | 0.534 35                   |

令  $z = \Delta d = d' - d$ ,由以上数据得  $z$  的平均值为  $z = 0.535 46 \text{ mm}$ .经计算有:  $n = 1.594 \pm 0.005$ .

由此计算出的折射率与实际偏差值也很小,因此这种方法测量玻璃片的折射率也是可行的.

## 4 结束语

通过以上 2 种方法的系统阐述,可知,在利用根据白光干涉条纹在视场中的相对位置进行测量时,可避免观察单色光条纹进行测量,操作相对简单,适用于观察法测量玻片折射率.但在测量时,观察条纹时的人眼始终要平视半反射镜,否则将造成干涉条纹出现的相对位置发生变化而使测量结果不正确.而在利用激光等密度等厚干涉条纹法测量玻片折射率时,无需使用光电感应的计数器,操作也很简单,测量精度满足工业应用要求,实用性较好,但在测量时,应避免气流对光路的影响,否则将造成观察屏上的干涉条纹不稳定性,使测量难以进行,而且还需注意,测量的介质必须保持相当的平整度,否则条纹将出现不规则的形状,以致无法进行实验.

## 参考文献:

- [1] 肖井华,等.大学物理实验教程[M].北京:北京邮电大学出版社,2005.
- [2] 章志鸣,等.光学[M].北京:高等教育出版社,1995.
- [3] 栾兰,闪辉,马秀芳,等.迈克耳逊干涉仪测平行玻片折射率实验的进一步研究[J].大学物理,2000,19(11):20~23.
- [4] 李季平,吴启元,刘小廷,等.激光等密度等倾干涉条纹法测定透明介质的厚度和折射率[J].物理实验,2000,20(3):38~40.

# Measuring Parallel glass slab refractive index with Michelson interferometer

PAN Feng, YANG Jiang-ping

(Laboratory Center of Physics, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

**Abstract:** In the experiment of measuring refractive index of parallel glass slab with Michelson interferometer, the position and shape of interference fringes will be different with normal phenomenon. In this paper, two methods of measuring index refractive of parallel glass slab with Michelson interferometer are introduced. The first, method is measuring the refractive index by distinction of position and interval of interference fringe; the second method is measuring the index by equal density interference fringes of equal thickness with laser resource. The advantage and insufficiency of the two methods are compared.

**Key words:** Michelson interferometer; refractive index; equal density fringes; equal inclination fringes