

利用光强透射率测定透明介质的折射率*

康 举 郭中华 黄桃花

(兰州城市学院培黎工程技术学院 甘肃 兰州 730070)

(收稿日期:2015-05-26)

摘 要:利用光在两种介质分界面上能流分配及偏振态变化的行为,推导了各向同性单层介质在线偏振光入射下的光强透射率与介质折射率之间的关系,从而给出了基于线偏振光透射率测量透明介质折射率的原理.实验结果表明,得到的介质折射率与理论值相符,所采取的实验方案可行.

关键词:光学测量 光强透射率 折射率

折射率是描述介质材料光学性质的一个重要参数,对于透明介质折射率的测定,一般根据需要有两类的常用方法:一类是几何光学的方法,即根据折射定律,通过测定相关角度来得到折射率,如最小偏向角法、掠入射法等^[1,2];另一类是物理光学的方法,即根据光波通过介质后,其位相的变化或偏振态的变化来得到折射率,如布儒斯特角法、干涉法、椭圆偏仪法等^[3~5].其中几何光学常用方法大家较为熟知,但具体实验中光线透光位置不易确定,而布儒斯特角法的实验操作相对繁琐,干涉法则对实验装置要求严格,椭圆偏仪法数学模型及计算较为复杂.本文提出一种测量透明介质折射率的新方法,其出发点是光强经过单层透明介质透射率与介质折射率的关系,这种方法测量各向同性透明介质材料的折射率不需特殊仪器设备,对待测介质样品加工要求低,而且测量光路调节简单,数据处理简便且精确度好.

1 单层介质的光强透射率

光在两种折射率不同的介质分界面上,入射光能量一部分反射一部分透射,透射率表示透射光与入射光光强之比,反映能量的分割情况;折射率表示光从一种介质进入另一种介质时,入射角 i_1 与折射角 i_2 的正弦之比,反映光传播方向的变化.以菲涅耳公式为理论基础,可将这两者联系起来,下面就分析线偏振光经过单层介质的透射率与介质折射率的关系.

如图1所示,设折射率为 n_2 的均匀介质处于折

射率为 n_1 的均匀介质中,自然光以入射角 i_1 入射到上表面,发生两次反、折射从下表面出射,取 $N=1$ 为介质层数.

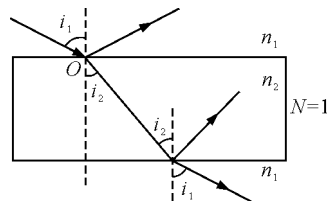


图1 自然光在介质分界面上的反射、折射情况

在介质上表面发生反、折射时,入射光和透射光中光矢量 s 分量和 p 分量的比例关系可由菲涅耳公式^[6]给出

$$E_{2s} = \frac{2n_1 \cos i_1}{n_1 \cos i_1 + n_2 \cos i_2} E_{1s} \quad (1)$$

$$E_{2p} = \frac{2n_1 \cos i_1}{n_2 \cos i_1 + n_1 \cos i_2} E_{1p} \quad (2)$$

由此可得出在介质上表面上光矢量各分量的振幅透射率为

$$t_{1s} = \frac{E_{2s}}{E_{1s}} \quad (3)$$

$$t_{1p} = \frac{E_{2p}}{E_{1p}} \quad (4)$$

为了得到透射光的透射率,根据不同介质中光强的定义

$$I = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} n E^2 \quad (5)$$

可得到相应入射光各分量的光强分别为

* 兰州城市学院本科生科研创新基金项目,项目编号:2014-06

$$I_{1s} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} n_1 |E_{1s}|^2$$

$$I_{1p} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} n_1 |E_{1p}|^2$$

入射光为自然光,有 $|E_{1s}| = |E_{1p}|$,同理可知在介质上表面透射光的光强为

$$I_{2s} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} n_2 |E_{2s}|^2$$

$$I_{2p} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} n_2 |E_{2p}|^2$$

由于入射光和透射光在不同介质中,因此透射光与入射光的光强之比与两种介质的折射率有关,定义透射光与入射光的光强之比为光强透射率,则有

$$T_{1s} = \frac{I_{2s}}{I_{1s}} = \frac{n_2}{n_1} t_{1s}^2 \quad (6)$$

$$T_{1p} = \frac{I_{2p}}{I_{1p}} = \frac{n_2}{n_1} t_{1p}^2 \quad (7)$$

同理,由式(3)~(7)可推知光矢量经过介质下表面时,其光强透射率为

$$T_{2s} = \frac{I_{3s}}{I_{2s}} = \frac{n_1}{n_2} t_{2s}^2 = \frac{n_1}{n_2} \frac{E_{3s}^2}{E_{2s}^2}$$

$$T_{2p} = \frac{I_{3p}}{I_{2p}} = \frac{n_1}{n_2} t_{2p}^2 = \frac{n_1}{n_2} \frac{E_{3p}^2}{E_{2p}^2}$$

这样,经过一层透明介质,入射光各方向的光强总透射率为

$$T_s = T_{1s} \cdot T_{2s} = \frac{I_{3s}}{I_{1s}} = t_{1s}^2 \cdot t_{2s}^2 \quad (8)$$

$$T_p = T_{1p} \cdot T_{2p} = \frac{I_{3p}}{I_{1p}} = t_{1p}^2 \cdot t_{2p}^2 \quad (9)$$

由式(8)、(9)及菲涅尔公式(1)、(2)可得

$$\sqrt{T_s} = \frac{4n_1 n_2 \cos i_1 \cos i_2}{(n_1 \cos i_1 + n_2 \cos i_2)^2} \quad (10)$$

$$\sqrt{T_p} = \frac{4n_1 n_2 \cos i_1 \cos i_2}{(n_1 \cos i_2 + n_2 \cos i_1)^2} \quad (11)$$

当光线正入射时,入射角 $i_1 = 0$,上两式可简化为

$$\sqrt{T_s} = \sqrt{T_p} = \sqrt{T} = \frac{4n_1 n_2}{(n_1 + n_2)^2} \quad (12)$$

式(12)即为入射光的光强透射率与介质材料折射率之间的关系式。

2 实验测量及结果

如图2为测定透明介质折射率的实验装置.图中 L 为 25 cm 内腔式 He-Ne 激光器, P 为偏振片,

G 为待测透明介质材料, F 为分光计平台, M 为激光功率计探头,实验中待测介质材料 G 为透明玻璃片。

实验中, $n_1 = 1$, $n_2 = n$ 为待测透明介质的折射率,据式(12)有

$$\sqrt{T} = \frac{4n}{(1+n)^2}$$

此外振幅透射率 $t_s < 1$,且 $t_p < 1$,故取

$$n = \frac{2 - \sqrt{T} + 2\sqrt{1 - \sqrt{T}}}{\sqrt{T}} \quad (13)$$

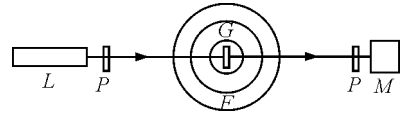


图2 实验装置示意图

实验中通过旋转偏振片使入射光振动方向为 s 方向或 p 方向,可以测量出入射光或透射光各方向的光强,多次测量得到光强平均值,如表1所示。

表1 测量光强数据表

入射光强 / mW	I_{1s} / mW	I_{1p} / mW	I_{3s} / mW	I_{3p} / mW
0.452	0.303	0.149	0.278	0.137

利用表1数据,并根据式(8)、(9)可得到 s 方向光强总透射率 $T_s = 0.9166$, p 方向光强总透射率 $T_p = 0.9213$,均占入射光强的 92%。将结果代入式(13),计算得出透明介质折射率的平均值为 $\bar{n} = 1.5202$,计算标准不确定度

$$u(n) = \sqrt{\frac{\sum_i (n_i - \bar{n})^2}{5 \times (5 - 1)}} = 0.0161$$

最终得到

$$n = \bar{n} \pm u(n) = 1.5202 \pm 0.0161$$

实验结果表明,所测透明介质的折射率与理论值在误差允许的范围内相符合,实验结果准确。

3 结论

本文详细分析了自然光经过各向同性单层透明介质后其光强透射率与介质折射率的关系,并在实际应用中将问题简化,在正入射情形下分析了利用该关系式如何测定透明介质的折射率.实验中以线偏振光各方向分量为例,测出了各方向分量的光强透射率,从而根据入射光的光强透射率与介质材料

(下转第96页)