

文章编号: 1001-3806(2005)01-0104-02

线偏振光入射方位角与介质反射率关系研究

曹 鸿¹, 宋连科^{1*}, 彭捍东¹, 迟艳玲²

(1. 曲阜师范大学 激光研究所, 曲阜 273165; 2. 烟台电视大学 物理系, 烟台 264000)

摘要: 讨论了线偏振光入射方位角与介质反射率的关系。从能量角度出发利用菲涅耳公式及相关电磁理论, 得出了线偏振光方位角与介质反射率的一般关系式, 就特殊情况作了具体分析, 给出反射率随方位角变化的大致范围。结果表明, 在介质折射率一定的情况下, 当线偏振光以布氏角入射时, 介质反射率随线偏振光方位角的变化而按照一定的规律变化。

关键词: 方位角; 布氏角; 菲涅耳公式; 线偏振光

中图分类号: O436.3 **文献标识码:** A

The study of the relationship between polarized light's incident azimuth and intermediary reflectance

CAO Hong¹, SONG Lian-ke¹, PENG Han-dong¹, CHI Yan-ling²

(1. Institute of Laser Research, Qufu Normal University, Qufu 273165, China; 2. Department of Physics, Yantai Television College, Yantai 264000, China)

Abstract: Based on Fresnel formula and electromagnetic theory the relationship between polarized light's incident azimuth and intermediary reflectance is studied. Then several special instances are introduced.

Key words: azimuth; Brewster angle; Fresnel formula; linear polarized light

引 言

对于入射到均匀介质表面自然光的反射率人们早已进行了研究, 并且得以广泛的应用^[1]。但是对于方位角这一影响因素, 尤其是对线偏振光的影响, 虽然也有所提及, 但是一直未进行系统的讨论, 因此有进一步讨论的必要^[2]。笔者借鉴前人的研究方法, 比较详细地讨论了线偏振光方位角与介质反射率的关系, 从而使之被更好地应用。

1 任意入射角度入射, 平面偏振光反射特性^[3]

一光波以某一角度 i 入射到折射率为 n 的介质表面上, 其电矢量振动方向与入射面夹角为 θ , 为便于讨论, 把振动方向分解为平行于入射面的 p 方向和垂直于入射面的 s 方向。入射波和反射波的振幅分别用 A, A_r 表示。 A 在 p 方向和 s 方向分解为:

$$A_p = A \cos \theta \quad A_s = A \sin \theta \quad (1)$$

由光强公式 $S = (cn/4\pi) E^2$ 可得到每秒入射到界面单位面积上的能量是:

$$J_i = S_i \cos i = (cn_1/4\pi) / A_i^2 \cos i \quad (2)$$

类似, 反射波每秒从界面单位面积带走的能量是:

$$J_r = S_r \cos i = (cn_1/4\pi) / A_r^2 \cos i \quad (3)$$

(2)式、(3)式中 S_i, S_r 分别表示入射光强和反射光强。

由(2)式得:

$$J_{i,p} = (cn_2/4\pi) / A_p^2 \cos i = (cn_1/4\pi) / A_i^2 \cos^2 \theta \cos i \quad (4)$$

$$J_{i,s} = (cn_2/4\pi) / A_s^2 \cos i = (cn_1/4\pi) / A_i^2 \sin^2 \theta \cos i \quad (5)$$

由(3)式得:

$$J_{r,p} = (cn_1/4\pi) / A_{r,p}^2 \cos i \quad (6)$$

$$J_{r,s} = (cn_1/4\pi) / A_{r,s}^2 \cos i \quad (7)$$

于是介质折射率为:

$$R \equiv J_r/J_i \equiv (J_{r,p} + J_{r,s})/J_i \equiv (J_{r,p}/J_{i,p}) \cos^2 \theta \pm (J_{r,s}/J_{i,s}) \sin^2 \theta = R_p \cos^2 \theta + R_s \sin^2 \theta \quad (8)$$

这就是方位角与反射率的一般关系式。(8)式中 R_p, R_s 分别表示平行分量的介质反射率和垂直分量的介质反射率。

2 布氏角入射, 平面偏振光反射特性^[4]

为了进一步说明问题, 以布氏角入射光束的反射特性为例, 讨论介质反射率与光振动方位的关系。

作者简介: 曹 鸿 (1978-), 女, 硕士研究生, 主要从事偏光技术和偏光器件的研究。

* 通讯联系人。E-mail: lksong@mail.qfnu.edu.cn

收稿日期: 2003-12-08; 收到修改稿日期: 2004-03-18

2.1 方位角 $\theta = 0$ 时

某一平行光束以布氏角 α 由空气射入一折射率为 n 的均匀介质,其电场振动方向平行于入射面。由折射定律可知,反射光垂直于折射光。所以折射光的振动方向平行于反射光的方向。由边界条件得知反射光不存在,故反射率为 0。

2.2 方位角 $\theta = 90$ 时

同上,只是该情况下入射光的振动方向垂直于入射面,则此时反射光、折射光都存在,振动方向都垂直于入射面,反射光平行振动成分为 0。反射光中垂直振动由菲涅耳公式得:

$$A_{r,s} = \frac{n_1 \cos \beta_i - n_2 \cos \beta_t}{n_1 \cos \beta_i + n_2 \cos \beta_t} A_s = \frac{\cos \alpha - n \sin \alpha}{\cos \alpha + n \sin \alpha} A_s = \frac{1 - n \tan \alpha}{1 + n \tan \alpha} A_s = \frac{1 - n^2}{1 + n^2} A_s \quad (9)$$

式中, β_i, β_t 分别表示入射角和折射角。

由此得反射率:

$$R_s = \frac{A_{r,s}^2}{A_s^2} = \frac{1 - n^2}{1 + n^2} \quad (10)$$

以上分析可知,当方位角 $\theta = 90$ 时,反射率 R 只与均匀介质的折射率有关。例如,折射率为 1.50、布氏角为 56.3 的玻璃片其反射率 $R = 14.79\%$ 。

2.3 任意方位角 $0 < \theta < 90$ 时

由布儒斯特定律可知,反射光为振动方向垂直于入射面的光波,此时 R_p 仍为 0。由于 $A_s = A \sin \theta$,根据 (9) 式得介质反射率为:

$$R = \left| \frac{A_{r,s}}{A} \right|^2 = \left| \frac{1 - n^2}{1 + n^2} \right|^2 \sin^2 \theta \quad (11)$$

此式与由 (8) 式给出的结论是一致的。对于折射率为 1.50 的玻璃片,其反射率 $R = 0.1479 \sin^2 \theta$ 。

3 实验验证

由以上分析可知,入射光的电矢量振动方位对介质反射率的影响很大,对此也可以通过实验加以证明,为此搭建了如图 1 的实验光路。

图 1 中虚线表示在虚线框内的所有器件均放置在一个屏蔽的黑箱中。其中起偏器 P_1 放置在具有刻度的旋转支架上,其偏振方向可以根据实验需要调节。

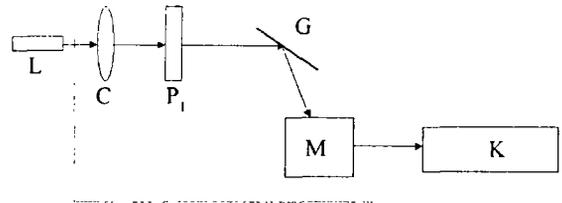


Fig 1 Sketch map of the single channel measuring system

L—laser C—chopper P_1 —linear polarizer G—plane glass
M—detector K—amplifier

选用的反射介质是折射率为 1.50、布氏角为 56.3° 的平板玻璃。通过旋转 P_1 ,得到不同的方位角 θ ,由锁相放大器 K 读数就可以换算得到 G 的反射率 R 。实验数据见表 1。

Table 1 Part of the intermediary reflectance

$\theta / (^\circ)$	$R_1 / \%$	$R_2 / \%$	R
0	0	0	0
30	3.6973	3.6975	3.6974
45	7.3930	7.3950	7.3940
60	11.0925	11.0923	11.0924
90	14.7920	14.7900	14.7910

结果表明,实验值与理论值基本吻合,这就进一步证明了该理论的可信性。

4 讨论

通过本文中的研究,对反射率的研究变得更加具体简明,并且针对具体情况可以利用本文中所推导的一般公式来加以讨论。

由实验证明可知,在布氏情况下,平面偏振光方位角与介质反射率的关系,完全满足 (11) 式。并且从中可以看出从平行方位到垂直方位,反射率在 14.79% 内变化。它再次提示实验工作者在介质反射率测量工作中偏振方位选取的重要性。

参 考 文 献

[1] 玻恩 M,沃耳夫 E 光学原理 [M]. 北京:科学出版社,1978. 64~65.
[2] 陈士友. 偏极光 [M]. 台北:徐氏基金会出版,1979. 21~24.
[3] 黄华惠. 反射偏振光的 Jones 矢量法 [J]. 江西师范大学学报, 1997, 21 (3): 283~286.
[4] 刘光兰. 应用布儒斯特定律测定物质折射率的学生实验 [J]. 青岛大学学报, 2000, 13 (3): 100~104.