

文章编号: 1001-3806(2007)06-0668-03

光学胶折射率对渥拉斯顿棱镜透射性能的影响

王海峰¹, 吴福全^{1*}, 郝殿中¹, 王涛¹, 张 姗¹, 王 晶²

(1. 曲阜师范大学 激光研究所, 曲阜 273165; 2 复旦大学 物理系, 上海 200433)

摘要: 为了使渥拉斯顿棱镜具有更好的透射性能, 从理论上分析了光学胶折射率对渥拉斯顿棱镜透射光光强分束比、总透射比的影响, 得到了关于光学胶折射率与棱镜透射光光强分束比及总透射比的关系式, 并拟合出了关系曲线。结果表明, 光学胶折射率对渥拉斯顿棱镜的光强分束比和总透射比均有影响; 且无论棱镜的结构角是大是小, 光强分束比为 1 和总透射比的最大值对应着同一光学胶折射率, 对 633nm 的光而言, 此折射率值为 1.570。这一结果对优化渥拉斯顿棱镜的性能是非常重要的。

关键词: 光学器件; 光学胶折射率; 渥拉斯顿棱镜; 光强分束比; 光强透射比

中图分类号: O436.3 **文献标识码:** A

Influence of the refractive index of optical cement on Wollaston prism's transmitting performance

WANG Hai-feng¹, WU Fu-quan¹, HAO Dian-zhong¹, WANG Tao¹, ZHANG Shan¹, WANG Jing²

(1. Institute of Laser Research, Qufu Normal University, Qufu 273165, China; 2. Research Center for Theoretical Physics, Fudan University, Shanghai 200433, China)

Abstract In order to make the Wollaston prism get better transmitting performance, the influence of the refractive index of optical cement used in Wollaston prism on the splitting ratio and the transmission was analyzed in this paper. The relationship formula about the refractive index of optical cement and the splitting ratio and the transmission was worked out, and besides, the relationship curves were fitted by computer. The result indicates that the refractive index of optical cement used in Wollaston prism can influence both the splitting ratio and the transmission, and especially when the value of the splitting ratio is 1 and the value of total transmission reaches the maximum, the value of refractive index of optical cement is the same. If the wavelength of the light is 633nm, the value of the index is 1.570. The result is very helpful for optimizing the transmitting performance of Wollaston prism.

Key words optical devices; refractive index of cement; Wollaston prism; splitting ratio; total transmission

引 言

光学胶是组合光学器件不可缺少的组成部分。标志光学胶性能的指标很多^[1], 其中最重要的是透射光谱范围、耐高低温性、剪切强度、线膨胀系数以及折射率和色散。对于利用天然双折射晶体冰洲石制作的偏光棱镜^[2~5], 其胶合的形式分空气隙胶合和光学胶胶合; 而渥拉斯顿棱镜就是后者的一种典型代表。光强分束比^[6]、透射比是衡量偏光分束棱镜的重要参数, 而影响渥拉斯顿棱镜分束比和透射比的因素有很多, 如入射角、分束角^[7]等, 对于以上因素的影响, 已有学者对此进行了研究^[8]; 而制作棱镜时使用不同种类的

光学胶也会对出射光性能不同的影响。目前市场上已有许多种类的光学胶可用于制作渥拉斯顿棱镜, 但因其具有不同的折射率, 会对制成的渥拉斯顿棱镜性能产生不同的影响, 对此问题的研究结果尚罕见报道。作者以正入射为例, 研究了光学胶折射率对渥拉斯顿棱镜两束透射光光强分束比以及总光强透射比的影响。

1 光学胶合剂折射率对渥拉斯顿棱镜光强分束比的影响

渥拉斯顿棱镜的结构及光路如图 1 所示, 图中 θ 是棱镜的结构角, n 为光学胶折射率, 1、4 指棱镜的入、出射端面; 2、3 为胶合介面。第 1 块直角棱镜的晶体光轴平行于纸面和入射端面的交线, 而第 2 块直角棱镜的晶体光轴垂直于纸面。由于两部分的晶体光轴相互垂直, 则相对于第 1 块棱镜中的 o 光在第 2 块直角棱镜中为 e 光, 在第 1 块直角棱镜中的 e 光在第 2 块

作者简介: 王海峰 (1981-), 男, 硕士研究生, 主要从事偏光技术以及薄膜光学等领域的研究。

* 通讯联系人。E-mail: fqwu@mail.qfnu.edu.cn

收稿日期: 2006-09-25; 收到修改稿日期: 2006-10-24

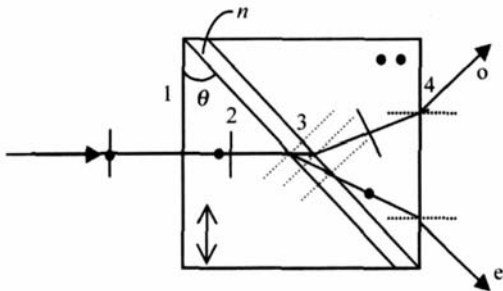


Fig 1 Beam path in wollaston prism

为 o 光^[9]。这里首先讨论透射光为 o 光的透射比。

出射光为 o 光的光线在进入第 2 块直角棱镜之前为 e 光。在入射端面, 由于光线是垂直入射, 由菲涅耳公式^[10], 光线在入射端面 1 处的透射比为:

$$T_1 = 4n_e / (1 + n_e)^2 \quad (1)$$

在胶合介面 2 透射比为:

$$T_2 = 1 - R_2 = \left[1 - \frac{\tan^2(\theta_1 - \theta_2)}{\tan^2(\theta_1 + \theta_2)} \right] \quad (2)$$

式中, R_2 为此介面处的反射比, θ_1, θ_2 分别为此介面上的入射角和折射角, 且:

$$\begin{cases} \theta = \theta_1 \\ n_e \sin \theta_1 = n \sin \theta_2 \end{cases} \quad (3)$$

在之后的胶合介面 3 出射光成为 o 光, 其透射比为:

$$T_3 = 1 - R_3 = 1 - \frac{\tan^2(\theta_3 - \theta_4)}{\tan^2(\theta_3 + \theta_4)} \quad (4)$$

式中, R_3 为介面 3 处的反射比, θ_3, θ_4 分别为介面 3 上的入射角和折射角, 且:

$$\begin{cases} \theta_2 = \theta_3 \\ n \sin \theta_3 = n_o \sin \theta_4 \end{cases} \quad (5)$$

在出射端面 4 出射光的透射比为:

$$T_4 = 1 - R_4 = 1 - \frac{\tan^2(\theta_5 - \theta_6)}{\tan^2(\theta_5 + \theta_6)} \quad (6)$$

式中, R_4 为光在出射端面 4 处的反射比, θ_5, θ_6 分别为出射端面上的入射角和出射角。且:

$$\begin{cases} \theta = \theta_4 + \theta_5 \\ n_o \sin \theta_5 = \sin \theta_6 \end{cases} \quad (7)$$

出射光为 o 光的光线其最终透射比为: $T_o = T_1 T_2 T_3 T_4$ 。

将 (1) 式 ~ (7) 式代入上式且整理得到:

$$T_o = \frac{256n_e \sin 2\theta \cdot \sin 2(\theta - A)}{(1 + n_e)^2 (\sin 2\theta + \sin 2B)^2 (\sin 2A + \sin 2B)^2} \times \frac{\sin \{ 2 \arcsin [n_o \sin(\theta - A)] \}}{\sin(2\theta - 2A) + \sin \{ 2 \arcsin [n_e \sin(\theta - A)] \}} \quad (8)$$

式中, $A = \arcsin(n_e \sin \theta / n_o), B = \arcsin(n_e \sin \theta / n)$ 。

由类似的方法可以得到透射光为 e 光的光波最终透射比为:

$$T_e = \frac{8n_o}{(1 + n_o)^2} \cdot \cos \theta \cdot \csc^2(\theta + D) \cdot \csc^2(C + D) \times$$

$$\csc^2\{\theta - C + \arcsin[n_e \sin(\theta - C)]\} \cdot \sin \theta \cdot \sin 2(\theta - C) \sin 2C \cdot \sin^2 2D \cdot \sin^2\{\arcsin[n_e \sin(\theta - C)]\} \quad (9)$$

式中, $C = \arcsin \frac{n_o \sin \theta}{n_e}, D = \arcsin \frac{n_o \sin \theta}{n}$, 设入射光为单色自然光, 其光强为 I , 那么入射光中 $I_o = I_e = I/2$, 则渥拉斯顿棱镜的光强分束比为:

$$f(n) = \frac{T_o \cdot I_o}{T_e \cdot I_e} = \frac{64n_e(1 + n_o)^2 \sin 2\theta \cdot \sin 2(\theta - A)}{n_o(1 + n_e)^2 (\sin 2\theta + \sin 2B)^2} \times \frac{\sin 2A \cdot \sin^2 2B}{(\sin 2A + \sin 2B)^2} \cdot \frac{\sin^2(\theta + D)}{\sin 2(\theta - C)} \cdot \frac{\sin^2(C + D)}{\sin 2C \cdot \sin^2 2D} \times \frac{\sin \{ 2 \arcsin [n_o \sin(\theta - A)] \}}{[\sin(2\theta - 2A) + \sin \{ 2 \arcsin [n_o \sin(\theta - A)] \}]^2} \times \frac{\sin^2\{\theta - C + \arcsin[n_e \sin(\theta - C)]\}}{\sin \{ 2 \arcsin [n_e \sin(\theta - C)] \}} \quad (10)$$

以常用渥拉斯顿棱镜 (即结构角 $\theta = 37.43^\circ, 27.07^\circ, 14.35^\circ$ 对应的分束角分别为 $15^\circ, 10^\circ, 5^\circ$) 为例, 取 633nm 对应的冰洲石晶体主折射率 $n_e = 1.48515, n_o = 1.65567$, 此时 3 种常规棱镜的 $f(n)$ 与 n 关系曲线分别如图 2a~ 图 2c 所示。

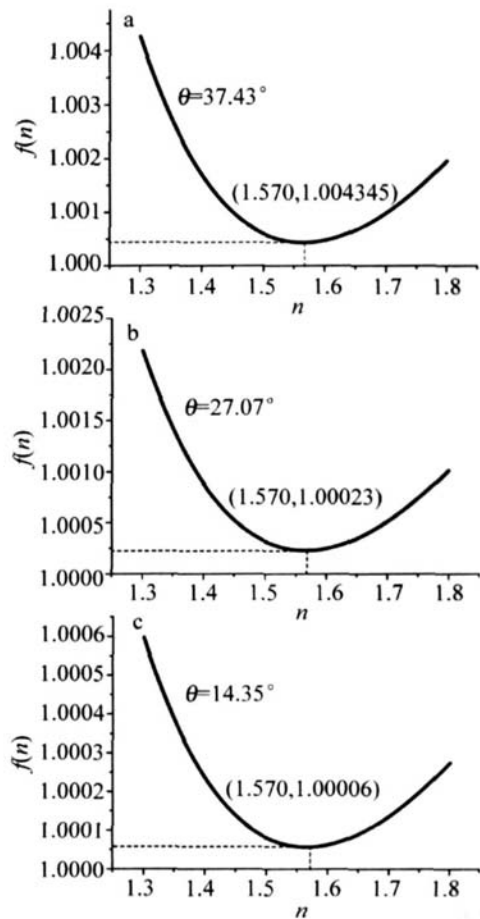


Fig 2 Relationship between the splitting ratio of transmitted light and the refractive index of optical cement

由图中曲线可以看出: (1) 3 种常规设计的渥拉斯顿棱镜, 其出射光光强分束比随着光学胶折射率的增

大均呈现出先减小后增大的趋势; (2) $f(n)$ 的变化幅度很小, 这说明光学胶的折射率对光强分束比的影响不大; (3) 光强分束比的最小点也是其最接近 1 的点, 对这 3 种常用棱镜而言, 这一点均对应 $n = 1.570$ 。

2 光学胶合剂折射率对渥拉斯顿棱镜总光强透射比的影响

在单色自然光入射的情况下, 将 o 光, e 光光强透射比之和定义为渥拉斯顿棱镜的总光强透射比, 即:

$$T = T_o \cdot I_o + T_e \cdot I_e = (T_o \cdot I + T_e \cdot I) / 2 \quad (11)$$

设入射光光强为 1, 则上式为: $T = (T_o + T_e) / 2$ (12)

仍以常用渥拉斯顿棱镜以及针对波长为 633nm 的光为例, 由 (8) 式、(9) 式、(11) 式用计算机拟合出的 $T-n$ 关系曲线如图 3 所示。

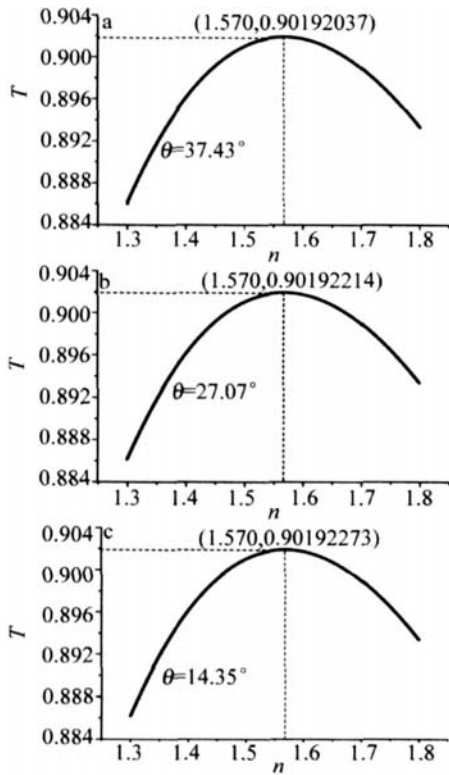


Fig 3 Relationship between the total transmission of transmitted light and the refractive index of optical cement used in Wollaston prism

从图中可得出如下结论: 在常用光学胶折射率的

范围内: (1) 光学胶折射率对不同结构角的渥拉斯顿棱镜的总光强透射比均有影响; (2) 尽管 3 种渥拉斯顿棱镜具有的结构角不同, 但它们总光强透射比即 T 的最大值却相差不大, 约为 0.902, 且最大值对应同一光学胶折射率 (1.570)。

3 结论

光学胶的折射率 n 对渥拉斯顿棱镜透射光的光强分束比以及总光强透射比均有一定影响, 这充分说明: 在选择渥拉斯顿棱镜所用光学胶时, 除需考虑光学胶的透明光谱范围、抗剪切强度等性能之外, 光学胶凝固态的折射率值得格外关注。通过分析, 作者认为: 采用折射率为 1.570 的光学胶, 不仅可以使常规渥拉斯顿棱镜在光线正入射时其透射光有 1:1 的光强分束比, 也可以使两束出射光总光强透射比达到最大。

参考文献

[1] LI J Zh Handbook of optics [M]. Xi'an Shanxi Science and Technology Press 1986. 1454~ 1462 (in Chinese).

[2] LI G H. Optics [M]. Ji'nan Shandong Education Press 1991. 405 (in Chinese).

[3] LI J L, WANG Y W, LI Y H. Research on performance of CaCO_3 for light-polarized device [J]. Journal of Synthetic Crystals 2002, 31 (4): 413~ 416 (in Chinese).

[4] HE M Q, ZHENG Y J. The test and design of beam splitter prisms of polarized laser [J]. Optical Technique 1983, 19 (6): 21~ 26 (in Chinese).

[5] ZHAO P, WU F Q, REN Sh F. The research of the spectral character of the calcite/BaF₂ UV polarizing prism beam deviation angle [J]. Laser Technology, 2005, 29 (2): 219~ 221 (in Chinese).

[6] WANG W, WU F Q, SU F F. Research of splitting angle and splitting intensity ratio of OE double escape prism [J]. Laser Technology 2003, 27 (6): 560~ 562 (in Chinese).

[7] WANG W, WU F Q, SU F F. Symmetric polarization beam splitting prism based on three element Wollaston prism [J]. Optical Technique 2004, 30 (2): 182~ 183 (in Chinese).

[8] ZHANG D Q, WU F Q. Spectral characterization of glaucprism field-angle [J]. Journal of Qufu Normal University (Natural Science Edition), 2001, 27 (4): 50~ 52 (in Chinese).

[9] YAO Q Y. Optics tutorial [M]. Beijing Higher Education Press 2001. 334 (in Chinese).

[10] LIAO Y B. Polarization optics [M]. Beijing Science Press 2003. 24~ 25 (in Chinese).

[15] WURZER A, J LOCHBRUNNER S, RIEDLE E. Highly localized vibrionic wavepackets in large reactive molecules [J]. Appl Phys 2000, 71 (3): 405~ 409

[16] BAUM P, LOCHBRUNNER S, GALLMANN L et al. Real-time characterization and optimal phase control of tunable visible pulses with a flexible compressor [J]. Appl Phys 2002, B74 (S): 219~ 224.

(上接第 667 页)

[13] FORK R L, MARTINEZ O E. Negative dispersion using pairs of prisms [J]. Opt Lett 1984, 9 (5): 150~ 152

[14] TREBNO R. Frequency-resolved optical gating. The measurement of Ultrashort Laser Pulse [M]. Boston: Kluwer Academic Publishers 2002. 101~ 322