

文章编号: 1001-3806(2005)02-0219-03

calcite/BaF₂ 紫外偏光镜光束偏离角光谱特性研究

赵 培, 吴福全*, 任树锋
(曲阜师范大学 激光研究所, 曲阜 273165)

摘要: 为了研究冰洲石-氟化钡紫外偏光镜的光束偏离角随波长的变化规律, 利用数值计算软件进行了分析, 得出了偏离角的光谱特性, 并据此提出了两种修正光束偏离角的方法。通过修正, 使得偏离角从 0.2° 减小到 0.05°, 改善了偏光镜的性能。

关键词: 紫外偏光镜; 光束偏离角; 光谱特性; 色散

中图分类号: O433.5 文献标识码: A

The research of the spectral character of the calcite/BaF₂ UV polarizing prism beam deviation angle

ZHAO Pei, WU Fu-quan, REN Shu-feng

(Institute of Laser Research, Qufu Normal University, Qufu 273165, China)

Abstract In order to study the spectral character of the calcite/BaF₂ UV polarizing prism beam deviation angle, the mathematical software Origin 7.0 is analyzed and two means are designed to modify the beam deviation angle.

Key words ultraviolet polarizing prism; beam deviation angle; spectral character; dispersion

引 言

冰洲石是制作偏光器件的重要材料, 目前, 大部分的晶体偏光器件都是用冰洲石做成的。然而, 冰洲石的紫外透射性能不尽人意, 一般的晶体对短于 400nm 的光的透射比迅速降低, 到 260nm 就截止了, 所以把 Glan-Taylor 棱镜应用到紫外时, 其透射比是相当低的。为了解决这一问题, 研制了冰洲石-氟化钡紫外偏光镜^[1], 由于氟化钡在紫外的透射性能很好(氟化钡在优选的冰洲石晶体的截止波长 220nm 处仍无吸收), 并且氟化钡和冰洲石的 e 光的折射率相近, 把 Glan-Taylor 棱镜出射面的冰洲石晶体换成氟化钡, 偏光镜的紫外透射性能得到了大的改善。但氟化钡的折射率和冰洲石 e 光折射率并不完全相同, 两者小的差别导致了出射光束的偏离, 且由于两种晶体色散的不一致, 从而又造成了出射光束偏离角随使用光波长的变化而变化, 这给这种棱镜的使用造成诸多不便。作者就冰洲石-氟化钡紫外偏光镜光谱特性进行系统的分析, 找出其变化规律, 以减小光束偏离角对这种棱镜的使用工作造成的影响提供依据。

1 分 析

图 1 为冰洲石-氟化钡紫外偏光镜的截面及光路图, 结构角为 S, 冰洲石光轴方向如图所示, n_e 是冰洲石的 e 光主折射率, n_b 是氟化钡的折射率。θ 是光束偏离角。自然光垂直端面入射, 在胶合面上, o 光全反射, e 光进入空气隙然后进入氟化钡晶体, 最后从另一个端面出射。为了研究问题的方便, 从 3 个方面分析。

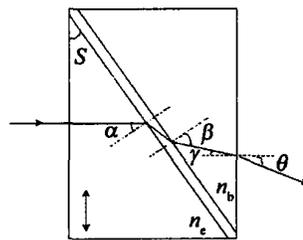


Fig 1 Structure of the calcite/BaF₂ UV polarizing prism and transmission ray of light

(1) 结构角 S 分别取 37.5°, 38° 和 38.5°, 光线垂直入射。冰洲石-氟化钡紫外偏光镜的光束偏离角 θ 是由 n_e 不等于 n_b 引起的, 从图中不难看出, 当光垂直入射时, α = S, γ = β - α 而 n_e sin α = n_b sin β, 又 n_b sin γ = sin θ, 从以上关系容易得出:

$$\theta = \arcsin \left\{ n_b \sin \left[\arcsin \left(\frac{n_e}{n_b} \right) \sin S - S \right] \right\} \quad (1)$$

由于冰洲石的 e 光折射率始终大于氟化钡的折射率, 所以光束始终向下偏。利用 Origin 7.0 计算出了偏离

作者简介: 赵 培 (1977-), 男, 硕士研究生, 主要从事光学薄膜方面的研究。

* 通讯联系人。E-mail: fqwu@qfnu.edu.cn

收稿日期: 2004-02-13 收到修改稿日期: 2004-03-22

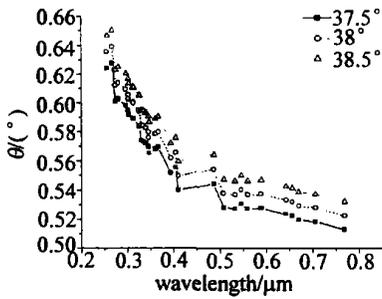


Fig 2 Calculated values of the transmission ray's angle (θ) of deviation with angle $S = 38^\circ, 37.5^\circ, 38.5^\circ$

$$\left\{ \begin{aligned} \theta &= \arcsin(n_b \sin(S - \arcsin(\frac{n_e}{n_b} \sin(S - \arcsin(\frac{1}{n_e} \sin i)))) - i \quad \text{入射光在端面法线下侧} \\ \theta &= \arcsin(n_b \sin(\arcsin(\frac{n_e}{n_b} \sin(S + \arcsin(\frac{1}{n_e} \sin i))) - S)) - i \quad \text{入射光在端面法线上侧} \end{aligned} \right. \quad (2)$$

取结构角 $S = 38^\circ$, 光在端面法线上侧入射时, 入射角分别取为 $1^\circ, 2^\circ, 3^\circ$, 计算出 θ 随波长的变化曲线, 见图 3 光在端面法线下侧入射时, 入射角取为 $1^\circ, 2^\circ, 3^\circ$, 计算出 θ 随波长的变化曲线, 如图 4 所示。由图中看出, 光线在法线上侧入射时, 随着入射角的增大, 偏离角变大; 光线在法线下侧入射时, 随着入射角的增大, 偏离角变小。在法线两侧, 变化的情况是不对称的。

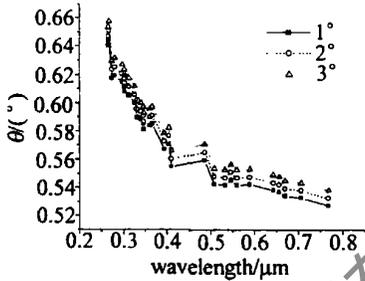


Fig 3 Calculated values of the transmission ray's angle (θ) of deviation when the ray is above the normal of end face and incident angle $i = 1^\circ, 2^\circ, 3^\circ$

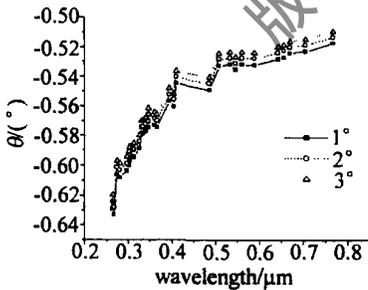


Fig 4 Calculated values of the transmission ray's angle (θ) of deviation when the ray is below the normal of end face and incident angle $i = 1^\circ, 2^\circ, 3^\circ$

2 对偏离角的修正

基于以上分析, 笔者提出了两种冰洲石 氟化钡紫外偏光镜的光束偏离角的修正方案。一是修改出射端面, 使之有一小角度的倾斜。二是修改 BaF_2 的结构角, 使两个胶合面不再平行, 下面分别介绍。

(1) 从第 1 节可知, 在 BaF_2 晶体内, 光线始终在

角 θ 随波长 λ (265nm ~ 768nm) 的变化曲线如图 2 所示 (n_e, n_b 取自于文献 [2])。从图中看出, 在研究的光谱范围内, 偏离角随波长的增大递减, 在紫外部分, 曲线的斜率大, 可见光部分, 斜率较小。当结构角增大时, θ 增大; 结构角减小时, θ 减小。

(2) 当光线斜入射时, 分为两种情况: 一是光线在端面法线的下面; 另一种情况是光线在端面法线的上面。这两种情况光束偏离角的计算公式为 (为简单起见, 用 e 光的主折射率代替了 e 光的折射率):

出射端面的法线的上侧, 因此, 为了使出射光线水平出射, 可以修改端面使法线处于光线的上侧。把修改前后的端面间的夹角称为修改角 ϕ , 修改后的结构如图 5 所示。从图中容易看出 $\phi, \beta, \omega, \gamma$ 和 α 之间满足的

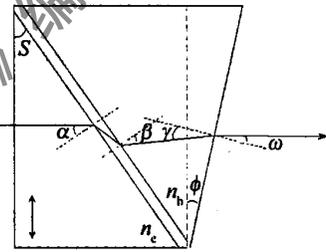


Fig 5 Modified structure of the calcite/ BaF_2 UV polarizing prism and transmission ray of light

关系为: (1) $\phi = \omega$ (2) $\alpha = S$; (3) $\gamma = S + \omega - \beta$ (4) $n_b \sin \gamma = \sin \omega$; (5) $n_e \sin \alpha = n_b \sin \beta$ 。

由此, 得到:

$$\phi = \arctan \frac{n_b \sin(S - \arcsin(\frac{n_e}{n_b} \sin S))}{1 - n_b \cos(S - \arcsin(\frac{n_e}{n_b} \sin S))} \quad (3)$$

取 $S = 38^\circ$, 计算了 ϕ 随波长的变化, 如图 6 所示。

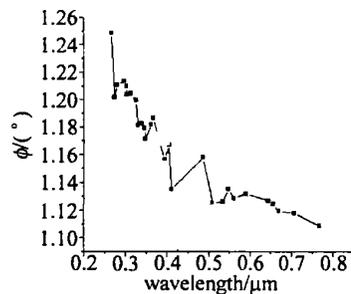


Fig 6 Calculated values of the modified angle (ϕ) with the wavelength in the 0.265 μ m ~ 0.768 μ m

从图 6 看出, 修正角 ϕ 在研究的光谱范围内随波长的增加减小, 变化不超过 1° ; 紫外部分变化率较大, 可见光部分变化较小。考虑在紫外部分偏离角的变化, 取 $\phi = 1.1^\circ, 1.16^\circ, 1.18^\circ, 1.2^\circ$ 分别计算了修改后偏离角的情况如图 7 所示。图中看出, 偏离角 θ 随修

正角 ϕ 的增大而增大, 当 $\phi = 1.16^\circ$ 和 $\phi = 1.18^\circ$ 时, 偏离角在 0° 附近变化平均不超过 0.05° , 但是当 $\phi = 1.2^\circ$ 时, 偏离角又变大。因此, 具体设计时 ϕ 可在 1.16° 左右取值。

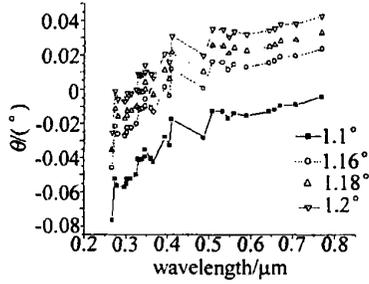


Fig 7 Calculated values of the transmission ray's deviation angle(θ) of with modified angle $\phi = 1.1^\circ, 1.16^\circ, 1.18^\circ, 1.2^\circ$

(2)修正的另一个方法是修改结构角, 经过分析后得知, 适当的增大 BaF₂ 晶体的结构角可以使光线垂直于端面出射。修改后的结构如图 8 所示。修改后的

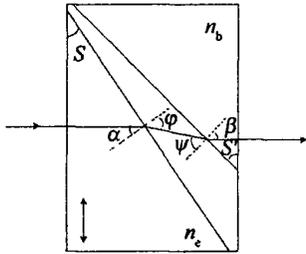


Fig 8 Modified structure angle of the calcite/BaF₂ UV polarizing prism and transmission ray of light

结构角记为 S' 。由图 8 可看出各角度之间满足的关系为: (1) $S' = \beta$ (2) $\alpha = S$ (3) $\psi = \phi + S' - S$; (4) $n_b \sin \beta = \sin \psi$; (5) $n_e \sin \alpha = \sin \phi$, 由此, 得:

$$S' = \arctan \frac{\sin(\arcsin n_e \sin S - S)}{n_b - \cos(\arcsin n_e \sin S - S)} \quad (4)$$

取 $S = 38^\circ$, 计算的 S' 随波长的变化如图 9 所示。

从图 9 看出, 计算的修正结构角 S' 随波长的增加减小, 紫外部分变化率较大, 可见光部分变化较小。这和修正角 ϕ 的变化相似, 考虑在紫外部分偏离角的变化, 取 $S' = 38.5^\circ, 38.56^\circ, 38.573^\circ, 38.58^\circ$ 和 38.6° , 分别计算了修改后偏离角的值如图 10 所示。从图中看出, 在研究的光谱范围内, 当 $S' = 38.5^\circ$ 和 $S' = 38.6^\circ$ 时, 光线仍处在端面法线的上下两侧, 所以 S' 的值应取在这个范围内, 当 $S' = 38.57^\circ$ 时, 紫外波段光线和端

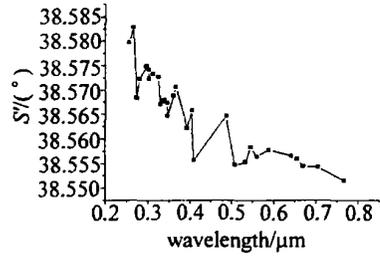


Fig 9 Calculated values of the modified structure angle (S') in the $0.265\mu\text{m} \sim 0.768\mu\text{m}$

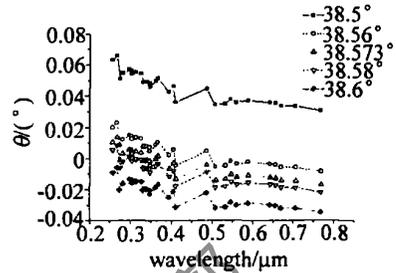


Fig 10 Calculated values of the transmission ray' angle(θ) of deviation with modified structure angle $S' = 38.5^\circ, 38.56^\circ, 38.573^\circ, 38.58^\circ, 38.6^\circ$

面的垂直情况较好, 保持在 0.02° 以内。

比较这两种方法可以知道, 第 2 种方法的效果要好一些, 整个研究的光谱范围内不超过 0.05° , 优于第 1 种方法。

3 总 结

经过对冰洲石-氟化钡光束偏离角的光谱特性分析可知, 从 $265\text{nm} \sim 768\text{nm}$ 的波长范围内, 偏离角不超过 0.2° , 紫外部分偏离角随波长的变化较大, 而可见光部分的变化较小, 在一些要求较高的情况中使用时应注意这一点。另外, 适当的减小结构角能够减小偏离角, 改善偏光镜的性能。

通过比较可以知道, 第 2 种修正方法的效果较好, 紫外波段偏离角 0.02° 以内。但是实际制作时第 1 种方法较为容易实现。

参 考 文 献

- 1 WU F Q, LI G H, HUANG J Y *et al* Calcite/barium fluoride ultraviolet polarizing prism [J]. Appl Opt 1995, 34(19): 3668~ 3670.
- 2 李景镇, 苏世学, 赵俊民. 光学手册 [M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1986. 1298~ 1300.

(上接第 215 页)

- [9] LU W C, KOWARTZ M W. Vector diffraction from subwavelength optical disk structures - two dimensional modeling of near field profiles far field intensity and detector signals from a DVD [J]. Appl Opt 1999, 38(17): 3787~ 3797.
- [10] 谢建平, 鲁拥华, 王 沛 *et al* 用角谱方法分析固体浸没透镜的近场光场 [J]. 光学学报, 2002, 22(4): 413~ 416
- [11] 高本庆. 时域有限差分法 FDTD Method [M]. 北京: 国防工业出

- 版社, 1995 5~ 8.
- [12] 邹英华, 孙驹亨. 激光物理学 [M]. 北京: 北京大学出版社, 1991 26~ 55.
- [13] 张树霖. 近场光学显微镜及其应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2000 30~ 32.
- [14] 刘秀梅, 王 佳. 用时域有限差分方法研究光纤微探针近场分布特性 [J]. 光学学报, 2001 21(10): 1234~ 1238