

文章编号: 1001-3806(2007)03-0285-03

# 冰洲石 氟化钡紫外偏光镜的优化设计

张 珊, 吴福全\*

(曲阜师范大学 激光研究所, 曲阜 273165)

摘要: 为了修正紫外偏光镜透射光束偏离角, 提出了一种新的设计思路, 通过改变冰洲石一端的结构角来实现透射光束无偏离。以 303nm 波长为例, 给出了修正角与结构角的关系式; 还研究了透射光束的偏离角与波长的关系, 并通过数值计算软件进行了分析。结果表明, 在 240nm~410nm 的波段内, 改进形式的紫外偏光镜透射光束偏离角小于  $0.04^\circ$ 。

关键词: 物理光学; 紫外偏光镜; 结构角; 光束偏离角

中图分类号: O436.3 文献标识码: A

## The optimum design of ultraviolet polarizing prism of iceland and barium fluoride

ZHANG Shan, WU Fu-quan

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

**Abstract** In order to modify the deviation angle of ultraviolet polarizing prism of iceland crystal and barium fluoride, a new design was given by changing the structure angle of the iceland crystal. The relation between modified angle and structure angle was given at 303nm, and the relation of the deviation angle with wavelength was also investigated. The results obtained by the mathematical software ORIGIN 7.0 indicated that the deviation angle was less than  $0.04^\circ$  in the range of 240nm~410nm.

**Key words** physical optics; ultraviolet polarizing prism; structure angle; beam deviation angle

### 引 言

在光学技术领域, 尤其是在激光衰减、激光调制、光信息处理等技术领域, 偏光棱镜是重要的光学元件<sup>[1,2]</sup>。由于用于制作偏光器件的重要材料冰洲石对紫外光有较大的吸收, 所以紫外偏光棱镜是偏光器件研制的难点。冰洲石 氟化钡紫外偏光镜是为紫外波段光学技术的应用而研制的<sup>[3]</sup>, 它是利用在紫外具有高透射比并且折射率与冰洲石晶体中 e 光折射率近似相等的氟化钡和优选的冰洲石晶体, 按照格兰·泰勒棱镜结构形式制作而成。由于氟化钡晶体的折射率和冰洲石晶体中 e 光的折射率并不完全相同, 所以透射光束方向相对入射光束存在着一定的光束偏离角<sup>[4]</sup>。偏离角的存在会给实际应用带来诸多不便, 因而设计透射光束无偏离的紫外偏光镜是很有必要的。作者提出了一种通过改变紫外棱镜冰洲石部分的结构角实现出射光束无偏离的设计, 并对该设计进行了分析。

### 1 冰洲石 氟化钡紫外偏光镜的优化设计

常规紫外偏光镜的结构如图 1 所示, 左半部分是

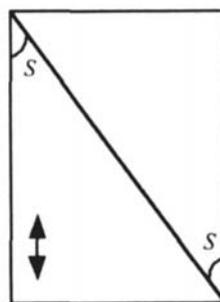


Fig 1 The layout of the ultraviolet polarizing prism

冰洲石, 右半部分是氟化钡, 中间为空气隙, 结构角为 S。改进形式紫外偏光镜的结构和 e 光的光路如图 2

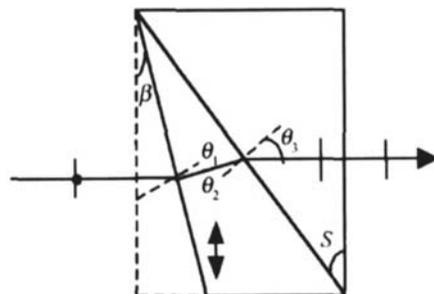


Fig 2 The path of the modified calcite/BaF<sub>2</sub> UV polarizing prism

作者简介: 张 珊 (1984-), 女, 硕士研究生, 主要从事偏光技术方面的研究工作。

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

收稿日期: 2006-03-14 收到修改稿日期: 2006-05-15

所示,出射端的结构角为  $S$ ,入射端的结构角为  $(S - \beta)$ , $\beta$ 为修正角,冰洲石的光轴方向仍与底面垂直。下面就来推导修正角  $\beta$ 与结构角和波长的关系。

1.1 修正角与结构角的关系

在空气和冰洲石的分界面(图2中实线所示的入射面)上有如下关系:

$$\sin\beta = n_e' \sin\theta_1 \quad (1)$$

式中, $\beta$ 是光在空气和冰洲石界面的入射角,也就是修正角, $\theta_1$ 是光在该界面的折射角, $n_e'$ 是冰洲石中  $e$ 光波的折射率。在冰洲石和氟化钡的分界面上有如下关系:

$$n_e' \sin\theta_2 = n_b \sin\theta_3 \quad (2)$$

式中, $\theta_2$ 是光在冰洲石和氟化钡界面的入射角, $\theta_3$ 是光在该界面的折射角, $n_b$ 是氟化钡的折射率。(1)式和(2)式中的  $n_e'$ 为<sup>[5]</sup>:

$$n_e' = \frac{n_o n_e}{(n_o^2 \sin^2\varphi + n_e^2 \cos^2\varphi)^{1/2}} \quad (3)$$

式中, $\varphi$ 为  $e$ 光波法线与晶体光轴的夹角。由图2中的几何关系可得:

$$\theta_1 = \beta + \varphi - 90^\circ \quad (4)$$

$$\theta_2 = S + \varphi - 90^\circ \quad (5)$$

当实现出射光束与入射光束平行时, $\theta_3 = S$ 。由(2)式、(3)式和(5)式可以得到角度  $\varphi$ 与结构角  $S$ 的关系式,用  $D$ 表示  $\tan\varphi$ ,有:

$$D = \tan\varphi = \frac{-B - \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \quad (6)$$

式中, $A = n_o^2 (n_b^2 - n_e^2) \sin^2 S$ , $B = n_o^2 n_e^2 \sin 2S$ , $C = n_e^2 (n_b^2 \sin^2 S - n_o^2 \cos^2 S)$ 。由(1)式和(4)式可以得到修正角  $\beta$ 与  $\varphi$ 的关系,有:

$$\tan\beta = \frac{n_e' \cos\varphi}{n_e' \sin\varphi - 1} \quad (7)$$

由(3)式、(6)式和(7)式最终可得到修正角  $\beta$ 的表达式为:

$$\beta = \arctan\left[\frac{n_o n_e}{n_o n_e D - (n_o^2 D^2 + n_e^2)^{1/2}}\right] \quad (8)$$

由以上分析可以知道:对于特定波长,只要设计的修正角  $\beta$ 满足上式条件,则可使出射光束无偏离。当波长为 303nm 时,冰洲石晶体的主折射率为  $n_e = 1.51365$ , $n_o = 1.71959$  氟化钡的折射率为  $n_b = 1.50007$ <sup>[6]</sup>,由(8)式可得到出射光束偏离角为 0 时,修正角  $\beta$ 与结构角  $S$ 之间的关系曲线,如图3所示。由图中曲线可

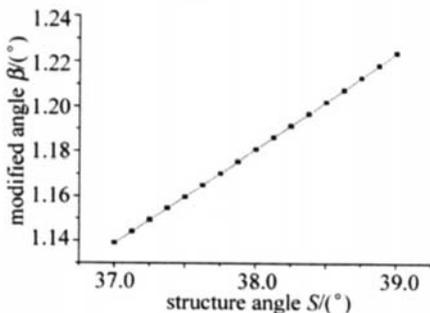


Fig 3 Calculated values of the modified angle  $\beta$  with structure angle  $S$

以看出,修正角  $\beta$ 与结构角  $S$ 基本呈线性关系且  $\beta$ 随  $S$ 的增大而增大。

1.2 修正角与波长的关系

以上分析是在 303nm 波长上进行的,如果将这些分析置于紫外波段结果又会怎样呢?取结构角  $S = 38^\circ$ ,由(8)式以及冰洲石和氟化钡的折射率就可得到出射光束无偏离时修正角  $\beta$ 随波长的变化曲线,如图4所示。由图中曲线可以看出,修正角  $\beta$ 在研究的光谱范围内随波长的增大而减小,但变化不超过  $1^\circ$ 。

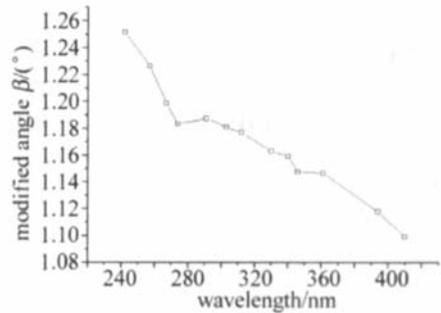


Fig 4 Calculated values of the modified angle  $\beta$  with the wavelength in ultraviolet waveband

1.3 光束偏离角与波长的关系

通过(8)式可以计算出 303nm 时使出射光束无偏离角时的修正角的大小。那么,当把对 303nm 时设计的棱镜用于一定波长范围内时,偏离角是怎样的变化呢?由(1)式~(5)式可以推导出偏离角的公式为:

$$\delta = \arcsin[n_b \sin(\theta_3 - S)] \quad (9)$$

式中, $\theta_3 = \arcsin\left[\frac{-n_o n_e (\cos S - H \sin S)}{n_b (n_o^2 H^2 + n_e^2)^{1/2}}\right]$ , $H = \tan\varphi = \frac{-F - \sqrt{F^2 - 4EG}}{2E}$ , $E = n_o^2 (1 - n_e^2) \sin^2 \beta$ , $F = n_o^2 n_e^2 \sin 2\beta$

$G = n_e^2 (\sin^2 \beta - n_o^2 \cos^2 \beta)$ 。由此公式便可得到  $e$ 光在每一所取波段上的偏离角。因此,取定结构角  $S$ 分别为  $37.5^\circ$ , $38^\circ$ , $38.5^\circ$ ,利用(9)式可得到针对 303nm 设计的棱镜使出射光束产生的偏离角与波长  $\lambda$ 的关系,如图5所示。图中,3条曲线分别对应结构角为  $37.5^\circ$ ,

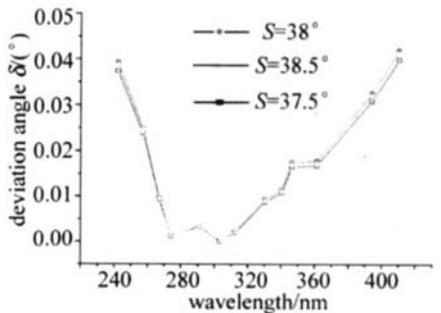


Fig 5 Calculated values of the transmission ray's deviation angle  $\delta$  of with structure angle  $S$

$38^\circ$ , $38.5^\circ$ 时出射光束的偏离角与波长的变化关系。由图中曲线可知,针对一定结构角、波长  $\lambda = 303$ nm 设

计的棱镜,入射光的波长与 303nm 相差越大,透射光束的偏离角越大,但在紫外波段,偏离角不超过 0.04°。从图中还可以看到,对应结构角分别为 37.5°, 38°, 38.5° 时的偏离角随波长的变化关系曲线相差不大,因此认为结构角的选取对棱镜的偏离角影响不大。

### 2 与其它改进棱镜的比较

文献 [7] 中提出了一种改进形式的紫外偏光镜,其结构和 e 光的光路如图 6 所示,其中修正角 β 的计

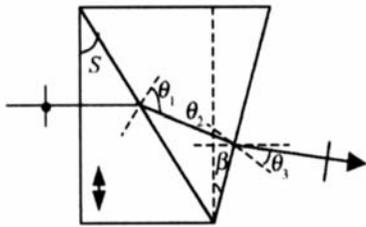


Fig 6 Another modified structure of the calcite/BaF<sub>2</sub> UV polarizing prism and transmission ray of light

算公式为:

$$\beta = \arctan \left[ \frac{n_e \cos S \sin S - \sin S (n_b^2 - n_e^2 \sin^2 S)^{1/2}}{\cos S (n_b^2 - n_e^2 \sin^2 S)^{1/2} + n_e \sin^2 S} \right] \quad (10)$$

下面来研究两种改进形式的棱镜的光束偏离角随波长的变化关系。从图 6 可以看出, θ<sub>1</sub>, θ<sub>2</sub> 和 θ<sub>3</sub> 之间满足的关系为:

$$n_e \sin S = n_b \sin \theta_1 \quad (11)$$

$$n_b \sin \theta_2 = \sin \theta_3 \quad (12)$$

$$\theta_1 + \theta_2 = \beta + S \quad (13)$$

由此推导出光束偏离角的公式为:

$$\delta = \beta - \arcsin [n_b A \sin(\beta + S) - n_b B \cos(\beta + S)] \quad (14)$$

式中,  $A = \sqrt{n_b^2 - n_e^2 \sin^2 S} / n_b$ ,  $B = n_e \sin S / n_b$ 。

下面可以做出两种改进棱镜的出射光束的偏离角随波长的变化关系曲线,如图 7 所示。图中 N 是本文

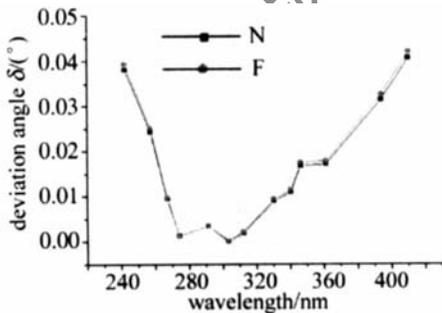


Fig 7 Calculated values of the transmission ray's deviation angle δ caused by different modified calcite/BaF<sub>2</sub> UV polarizing prism

中提出的改进棱镜的曲线, F 是文献 [7] 中提出的改进棱镜的曲线。由图中曲线可以看出,不同波长的光入射到两种改进棱镜中时,作者提出的改进棱镜的光束偏离角略小于前人改进棱镜的光束偏离角。

### 3 实验测试

为了检验设计方法的正确性,根据现有的激光光源制作了针对 473nm 的样品棱镜,氟化钡一端结构角的测量值为 37.488°,计算可得 β=1.049°,冰洲石一端的结构角为 36.439°。样品的测量值为 36.436°。样品棱镜透射光束偏离角的测试是在 0.5' 测角仪上进行的。经多次测试,其结果均小于 0.5', 小于常规偏光镜 3' 的技术指标。虽然样品的制作与测试均是对 473nm,但并不影响对这种改进方法正确性的实验验证。

### 4 结 论

提出了一种通过改变冰洲石一端的结构角来达到消除冰洲石氟化钡紫外偏光镜透射光束偏离角的方法,利用这种方法,在波长为 303nm 处,对棱镜进行了修正设计,并对改进棱镜的透射光束偏离角随波长的变化情况进行了分析;针对 473nm 制作了样品棱镜,透射光束偏离角的测量结果验证了设计方法的正确性。

#### 参 考 文 献

- [1] JIN G F, LI J Zh. Lasermetrology [M]. Beijing Science Press 1998 222~ 224 (in Chinese).
- [2] WANG Zh B, LI G H, LU Sh L *et al*. Experimental study of the extinction ratio automatic measuring system [J]. Chinese Journal of Lasers 2000 27(5): 415~ 418 (in Chinese).
- [3] 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.
- [4] ZHAO P, WU F Q, REN Sh F. The research of the spectral character of the calcite/BaF<sub>2</sub> UV polarizing prism beam deviation angle [J]. Laser Technology, 2005 29(2): 219~ 221 (in Chinese).
- [5] JIANG M H. Crystal physics [M]. Jinan: Shandong Science Press 1980 232 (in Chinese).
- [6] LI J Zh, SU Sh X, ZHAO JM *et al*. Handbook of optics [M]. Xi'an Shanxi Science & Technology Press 1985 500~ 502 1298~ 1299 (in Chinese).
- [7] WU F Q, KONG W J, WANG JM *et al*. The modified layout ultraviolet polarizing prism of Iceland crystal and barium fluoride [J]. Journal of Optoelectronics\* Laser 2003 14(3): 253~ 255 (in Chinese).