

# 偏光棱镜性能参量的求解新法

朱化凤<sup>1,2</sup> 宋连科<sup>2</sup> 李国华<sup>2</sup> 马丽丽<sup>2</sup>

(1 中国科学院上海光学精密机械研究所强光光学开放研究室, 上海 201800)

(2 曲阜师范大学激光研究所, 曲阜, 山东 273165)

**摘 要** 建立了一个共点三轴系统, 给出了相应的角参量关系公式, 并利用其得到了任意空间角度入射时可调分束角棱镜的分束角公式, 证明了此方法在解决与棱镜结构有关的问题时简单有效.

**关键词** 共点三轴系统; 偏光棱镜; 性能参量; Wollaston 棱镜; 分束角

**中图分类号** O436. 1; O436. 3

**文献标识码** A

## 0 引言

偏光棱镜主要包括起偏型和偏光分束型两类, 它们在激光调制领域是不可缺少的无源器件. 对标志偏光器件性能的性能参量进行分析研究, 大都是根据器件的结构特点, 利用坐标变换法或光线追迹法<sup>[1-5]</sup>, 以达到优化设计的目的, 但两种方法不足之处是关系式多, 计算量大. 本文尝试利用数学模型——共点三轴系统, 解决相同问题, 将模型中的各数学参量与棱镜物理参量对应, 为研究与棱镜结构有关的问题提供了一种简单有效的方法.

## 1 共点三轴系统及其角参量关系公式

如图 1 所示, 象这样由有公共交点的三条轴线所组成的系统我们称为共点三轴系统. 三条轴线  $n_1, n_2, n_3$  两两构成三个具有相同顶点的夹角  $\alpha, \beta$  和  $\gamma$ , 我们称之为面角, 三条轴线的公共交点  $O$  称为基点. 在  $n_2$  上取一点  $A$ , 从  $A$  点分别作轴线  $n_3$  和  $n_1$  的垂线, 交点分别为  $B$  和  $C$ . 过  $A$  点作平面  $OBC$  的垂线  $AD$ , 交点为  $D$ , 连接  $DC$  和  $DB$ , 则平面  $ADC$  垂直于轴线  $n_1$ , 平面  $ADB$  垂直于轴线  $n_3$ , 所以  $DC$  垂直于  $n_1$ ,  $DB$  垂直于  $n_3$ ,  $\angle ACD(\varphi)$  是面角  $\alpha$  所在的平面  $AOC$  和面角  $\beta$  所在的平面  $DOC$  之间的夹角, 我们称之为面间角. 面角  $\gamma$  与  $\varphi$  相对, 我们改称  $\gamma$  为面间角  $\varphi$  的对角. 设角  $\angle COD$  为  $\beta'$ , 令  $OA = 1$ ,

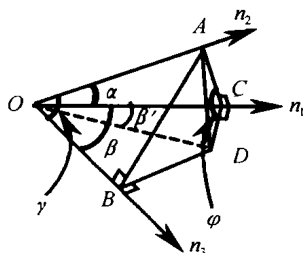


图 1 共点三轴系统  
Fig. 1 Three-axis system with a common point

由图 1 可得

$$CD = \sin \alpha \cos \varphi = OD \sin \beta' \quad (1)$$

$$OC = \cos \alpha = OD \cos \beta' \quad (2)$$

$$\cos \gamma = OD \cos(\beta - \beta') = OD(\cos \beta \cos \beta' + \sin \beta \sin \beta') \quad (3)$$

联立式(1) ~ (3)可解得对角用两个面角和它所对应的面间角表示为

$$\cos \gamma = \cos \alpha \cos \beta + \sin \alpha \sin \beta \cos \varphi \quad (4)$$

式(4)就是共点三轴系统的角参量关系式.

## 2 晶体偏光棱镜性能参量的角参量分析法实例

如图 2 所示的 Wollaston 棱镜, 入射端面的法线称为棱镜的轴线, 结构角为  $S$ , 棱镜轴线和切割斜面的法线所组成的平面称为棱镜主截面. 人们曾用光线追迹法和坐标变换法分析了光束在棱镜主截面内入射时 Wollaston 棱镜分束角的变化情况, 但在分析

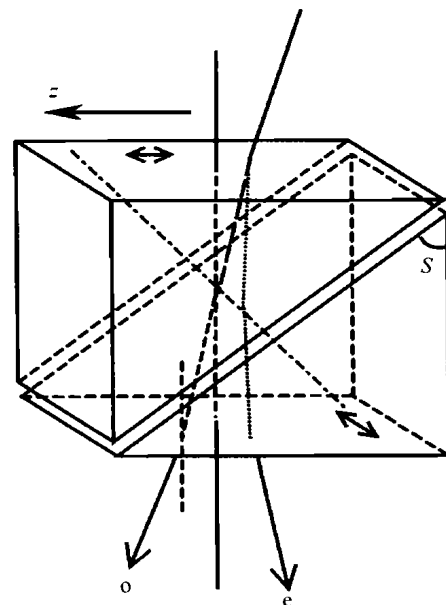


图 2 光波法线在 Wollaston 棱镜中的光路, 双箭头代表晶体光轴的方向

Fig. 2 Path of wave normal in a Wollaston prism.  $\leftrightarrow$  represents the direction of the optical axis

Wollaston 棱镜的分束角随任意空间入射角的变化情况时,上面两种方法比较困难. 下面利用共点三轴系统来分析这个问题.

### 2.1 出射光束的波法线矢及分束角

为了方便起见,我们称在第一块晶体中的 o 光 (e 光) 为棱镜的 o 光 (e 光). 设光线在端面的入射角为  $i_0$ , 入射波法线为  $K_0$  ( $\cos i_0, \sin i_0 \sin \phi_0, \sin i_0 \cos \phi_0$ ), 其中  $\phi_0$  为方位角 (入射面顺时针转到 z 轴正方向所夹的角).

先分析 e 光的波法线矢. 设 e 光在入射端面上的折射角为  $i_{e1}$ , 则

$$\sin i_0 = n_{ee} \sin i_{e1} \tag{5}$$

$n_{ee}$ <sup>[5]</sup> 为第一块晶体中 e 光的折射率. 入射端面的折射光线、棱镜的轴线和切割斜面的法线组成共点三轴系统, 棱镜的轴线和斜面的法线之间的夹角为 S, 将 S 和  $i_{e1}$  看作面角,  $\phi_0$  看作对角, 则切割斜面上的入射角  $i_{e2}$  (对角) 满足

$$\cos i_{e2} = \cos S \cos i_{e1} + \sin S \sin i_{e1} \cos \phi_0 \tag{6}$$

再将  $i_{e1}$  和  $i_{e2}$  看作面角, 棱镜主截面与入射端面的折射光波法线和斜面的法线组成的平面的夹角  $\phi_{e1}$  看作面间角,  $i_{e1}$  为对角, 则根据式 (4),  $\phi_{e1}$  满足

$$\cos \phi_{e1} = \frac{\cos i_{e1} - \cos S \cos i_{e2}}{\sin S \sin i_{e2}} \tag{7}$$

e 光通过胶合层的折射角  $i_{e3}$  满足

$$n_{ee} \sin i_{e2} = n_o \sin i_{e3} \tag{8}$$

切割斜面的法线、棱镜的轴线和胶合层的折射光线组成共点三轴系统, S 和  $i_{e3}$  看作面角,  $\phi_{e1}$  看作面间角, 出射端面上的入射角  $i_{e4}$  (面间角) 满足

$$\cos i_{e4} = \cos S \cos i_{e3} + \sin S \sin i_{e3} \cos \phi_{e1} \tag{9}$$

切割斜面的法线、棱镜的轴线和出射光波法线组成共点三轴系统, S 和  $i_{e4}$  看作面角,  $i_{e3}$  看作对角, 在出射端面上的方位角  $\phi_{e2}$  (面间角) 满足

$$\cos \phi_{e2} = \frac{\cos i_{e3} - \cos S \cos i_{e4}}{\sin S \sin i_{e4}} \tag{10}$$

在出射端面上的折射角  $i_{e5}$  满足

$$n_o \sin i_{e4} = \sin i_{e5} \tag{11}$$

所以 e 光出射光波法线的方向矢为

$$K_1 (\cos i_{e5}, \sin i_{e5} \sin \phi_{e2}, \sin i_{e5} \cos \phi_{e2}) \tag{12}$$

利用类似的过程, 分别以棱镜的轴线、斜面的法线和相应的光波法线组成共点三轴系统, 适当地选取面角、面间角和对角, 利用角参量关系公式, 可以得到出射 o 光的波法线的方向矢

$$K_2 (\cos i_{o5}, \sin i_{o5} \sin \phi_{o2}, \sin i_{o5} \cos \phi_{o2}) \tag{13}$$

其中的各量由类似于式 (5) ~ (11) 的公式给出, 相应的各量角标变为 o.

则两出射光束的夹角即分束角为

$$\Delta\psi = \arccos (K_{e5} \cdot K_{o5}) \tag{14}$$

由上面的公式可以看到, 任意空间角度入射时, 两出射光之间的夹角与光束入射角的大小和方位有关.

### 2.2 实验测试

利用国产的 32 J0.5s 测角仪对不同空间角度入射时可调分束角棱镜的分束角随入射角和方位角的变化进行测量.

在  $\phi_0 = 0^\circ$  的平面内, 对结构角为  $37^\circ$  的 Wollaston 棱镜以不同空间角度入射时的分束角进行测试, 结果如表 1 所示.

表 1 光束在棱镜主截面内以不同的入射角入射时分束角的理论和实验值

入射角/(°)		-15	-10	-5	0	5
分束角	理论值/(°)	17.591	16.451	15.542	14.817	14.246
	实验值/(°)	17.525	16.489	15.575	14.768	14.213
续表						
入射角/(°)		10	15	20	25	30
分束角	理论值/(°)	13.809	13.495	13.297	13.217	13.264
	实验值/(°)	13.818	13.525	13.326	13.224	13.306

当入射角的大小取  $2^\circ$ , 而入射方位角变化时, 对 Wollaston 棱镜的分束角进行测试, 结果如表 2 所示.

表 2 光束以不同的方位角入射角时分束角的理论和实验值

方位角/(°)		0	36	72	108	144	180
分束角	理论值/(°)	14.572	14.617	14.740	14.899	15.034	15.087
	实验值/(°)	14.582	14.612	14.644	14.927	15.120	15.102

光束关于棱镜的主截面对称入射时, 分束角的理论值相同, 实验测试与理论分析相一致.

表 1 和 2 表明, 光束以不同的空间角度入射时, 其分束角不同, 可以通过调整光束的入射方位来调整分束角的大小, 以适应实验或应用的要求. 也可以通过使用同一只棱镜同时使不同的入射光束实现

相同的分束角, 给一些复杂的实验带来方便.

### 3 结论

由上面的分析我们可以看到, 利用共点三轴系统来分析与棱镜结构有关的问题, 要比以往常用的方法方便得多. 此模型的建立为分析偏光棱镜的视

场角,讨论任意空间角度入射时棱镜的光强透射比,分束棱镜的分束角、分束光强比等重要参量,提供了一种简单有效的方法,为新型棱镜的设计和性能参数的优化设计找到了一条更为简捷的途径.

### 参考文献

- 1 张为权. 晶体中的光线追迹法. 光子学报, 1996, **25**(1): 79 ~ 84  
Zhang W Q. *Acta Photonica Sinica*, 1996, **25**(1): 79 ~ 84
- 2 Simon M C. Ray tracing formulas for monoaxial optical components. *Appl Opt*, 1983, **22**(3): 354 ~ 366
- 3 Simon M C. Wollaston prism with large split angle. *Appl Opt*, 1986, **25**(3): 369 ~ 376
- 4 Zhang W Q. General ray tracing formulae for crystal. *Appl Opt*, 1992, **31**(34): 7328 ~ 7331
- 5 李国华, 肖胜安, 李继忠. 双折射波片用于发散光束的偏振像差分析. 光学学报, 1992, **12**(4): 265 ~ 369  
Li G H, Xiao S A, Li J Z. *Acta Optica Sinica*, 1992, **12**(4): 265 ~ 369

## New Method in Solving Performance Parameters of Polarizing Prisms

Zhu Huafeng<sup>1,2</sup>, Song Lianke<sup>2</sup>, Li Guohua<sup>2</sup>, Ma Lili<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800

<sup>2</sup> Laser Research Institute of Qufu Normal University, Qufu, Shandong 273165

Received date: 2003-10-28

**Abstract** A three-axis model with a common point is established, and the corresponding formula is deduced. Using the formula, the splitting angle of a Wollaston splitting prism with adjustable splitting angle is obtained. The model and its formula prove to be useful in solving the kind of questions related to the structure of polarizing prisms.

**Keywords** Three-axis model with a common point; A polarizing prism; Performance parameters; Wollaston prism; Splitting angle

**Zhu Huafeng** was born in November, 1977. She got her B. S. degree at physics department of Liaocheng Normal University in 2000 and her M. S. degree at Laser Research Institute of Qufu Normal University in 2003, where her major research areas included the design and the parameter testing of laser polarizing prisms. Now she is pursuing her Dr. degree in Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences.

