

## 冰洲石红外二向色偏光器件的研究

李国华 李继仲\*

(曲阜师范大学激光研究所, 273165)

**摘要:** 本文提出一种单片式二向色性窄带红外偏光镜, 在特定波段, 该器件具有接收角大、偏光参数在一定范围内连续可调等优点。片厚 1mm 时, 在 3.35~3.55  $\mu\text{m}$  和 3.8~4.1  $\mu\text{m}$  消光比和透射比优于其他任何类型的偏光器件。

**关键词:** 冰洲石, 红外二向色性, 偏光镜

### Study on calcite infrared dichromatic polarizers

*Li Guohua, Li Jizhong*

(Laser Institute, Qufu Normal University, Qufu)

**Abstract:** Infrared dichromatic polarizer made of thin calcite for narrow band is developed, which are of high transmittance high extinction ratios and larger acceptance angles in certain regions. Their extinction ratio and transmittance are better than those of any other polarizing devices in the wavelength range of 3.35~3.55  $\mu\text{m}$  and 3.8~4.1  $\mu\text{m}$  for the plates of 1mm thickness.

**Key words:** calcite, infrared dichromatism, polarizer

冰洲石是一种理想的双折射晶体材料, 纯净的天然冰洲石在 0.24~2.5  $\mu\text{m}$  有很高的透射比, 可用以制做各种结构偏光棱镜。在 2.5  $\mu\text{m}$  以上波段, 由于晶体红外吸收增大, 双折射率减小, 用于制做棱镜型偏光镜受到一定限制。对冰洲石红外偏光光谱的分析表明, 在某些常用波段, 该晶体具有很强的二向色性, 可设计制做窄带二向色偏光镜。

### 一、冰洲石的红外二向色性

冰洲石是单轴离子晶体, 化学成份为  $\text{CaCO}_3$ , 属三角晶系, 其晶胞结构为一菱形六面体, 见图 1。

按经典的谐振子模型, 单个晶体分子的红外吸收率可表示为<sup>[1]</sup>

$$A = \log_{10}(I_0/I) (M \cdot E)^2 \quad (1)$$

其中,  $M = \partial\mu/\partial Q_r$  是吸收分子的简正跃迁力矩,  $\mu$  是相应的跃迁偶极距。

收稿日期: 1989年1月27日。

\*该所 86 级研究生。

(1)式表明,晶体红外吸收的强弱与分子跃迁力矩的取向和外加电场矢量的方向有关。图 1 中,碳酸根离子所在的平面垂直于光轴,因而矢量  $\mu$  和  $M$  均具有轴对称性,对称轴是光轴,若自然光垂直于光轴入射,其电矢量  $E$  可分解为平行于光轴的  $E_e$  分量( $e$ 光)和垂直于光轴的  $E_o$  或  $E_v$  分量( $o$ 光),此时,晶体将表现出最大二向色性。

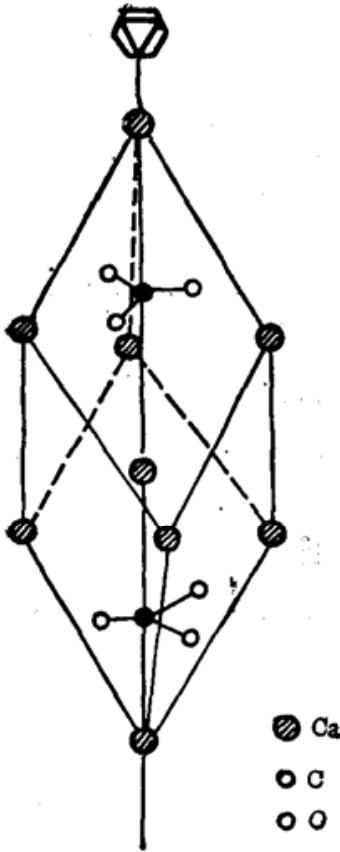


图 1 冰洲石晶胞结构

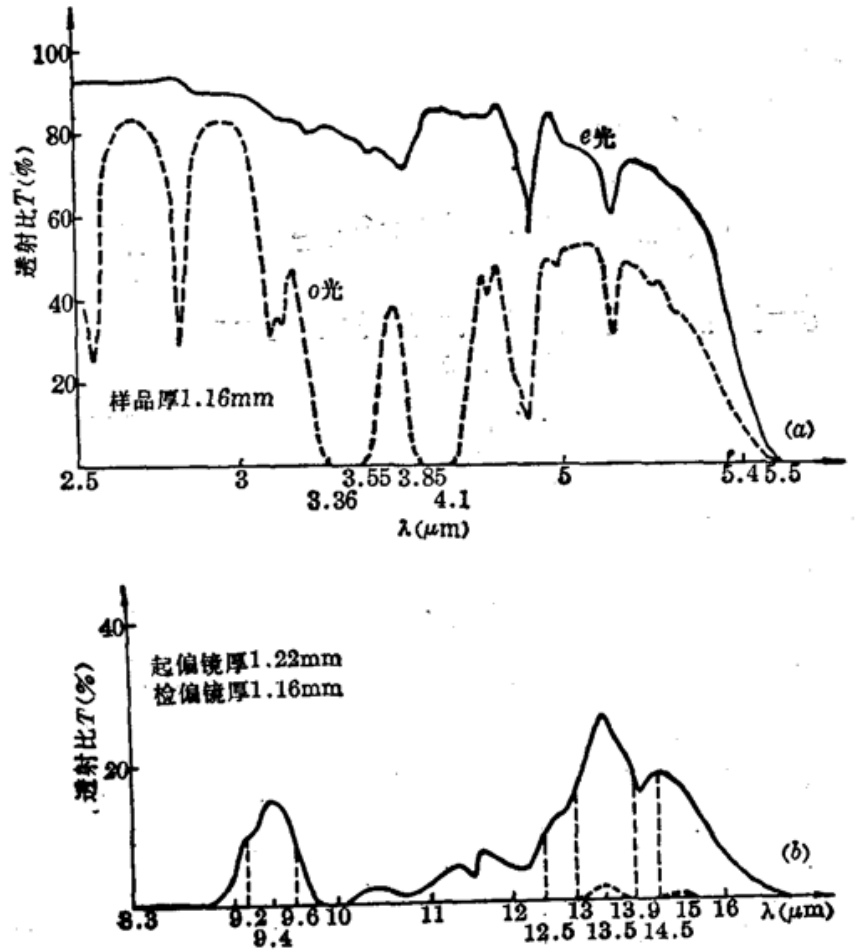


图 2 冰洲石二向色偏光镜红外透射光谱

- (a) 采用红外格兰-泰勒棱镜起偏;
- (b) 采用双片正交法起偏

## 二、二向色偏光镜的偏光光谱

据上述分析,将晶体沿光轴方向切割成片抛光后即成为二向色偏光器件。用岛津 460 型红外分光光度计对该器件进行的偏光透射谱测量示于图 2。

图 2 表明,晶体在 2.5~5.5  $\mu\text{m}$  波段  $e$  光透射比大于  $o$  光,在 5.5~9  $\mu\text{m}$  波段  $o$ 、 $e$  光均被全吸收。图 2(b)是在无起偏情况下用双片光轴正交方法测量的结果,实线是自然光通过单只器件的透射比,虚线为两片光轴正交时的透射比,在 9.2~9.6  $\mu\text{m}$ , 13.9~14.5  $\mu\text{m}$  等波段虚线“截止”,而实线仍有较高的透射值,显然,这是晶体的强二向色波段,其中的实线与  $e$  光相对应,特别有意义的是,在 3.39  $\mu\text{m}$ 、3.5  $\mu\text{m}$ 、4  $\mu\text{m}$  等常用激光波长, $o$  光呈强吸收,而  $e$  光仍有相当高的透射比,以上测量表明,冰洲石在这些波长的有限范围内是制做二向色性偏光器件的理想材料,这些波长被称为偏光器件的工作波长。

### 三、二向色偏光镜性能测量

透射比和消光比是标志偏光器件性能的两个基本指标,对冰洲石二向色偏光镜,其透射比和消光比以及二者随厚度和调整角度的变化可用红外分光光度计进行测量。

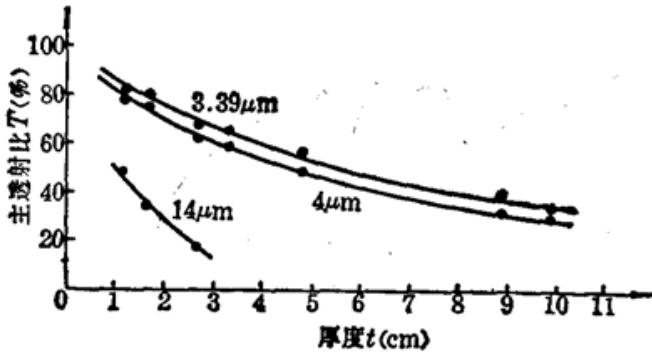


图3 主透射比随晶片厚度的变化

#### 1. 晶片厚度对主透射比和消光比的影响

在工作波长,线偏光正入射,绕光线轴转动样品,使透射光强达最大值  $I_{max}$ , 此时入射光电矢量与光轴平行,主透射比  $T = I_{max}/I_0$ 。对厚度不同的样品,在  $3.39 \mu m$ 、 $4 \mu m$ 、 $14 \mu m$  测得的主透射比示于图3。

测量消光比时,将样品由主透位置绕光线轴旋转  $90^\circ$ ,使入射光电矢量与光轴正交,获最小输出光强  $I_{min}$ ,此时,用分光光度计测量,消光比  $\rho = I_{min}/I_0$ ,测量精度为  $10^{-3}$  量级。

测量消光比时,将样品由主透位置绕光线

Bridges<sup>[2]</sup>等人用  $3.507 \mu m$  氦氖激光测得  $2 \text{ mm}$  厚样品的消光比为  $10^{-8}$ ,且发现在  $1 \sim 4 \text{ mm}$  厚度范围内,消光比与厚度无关,厚度小于  $1 \text{ mm}$  时, $o$ 光吸收是线性的。以上规律也适用于其它工作波长。

#### 2. 入射偏光方位角对透射比和消光比的影响

由正入射方位改变入射偏光的方位角(入射光电矢量与晶体光轴之夹角),透射比和消光比均发生变化,见图4、图5。

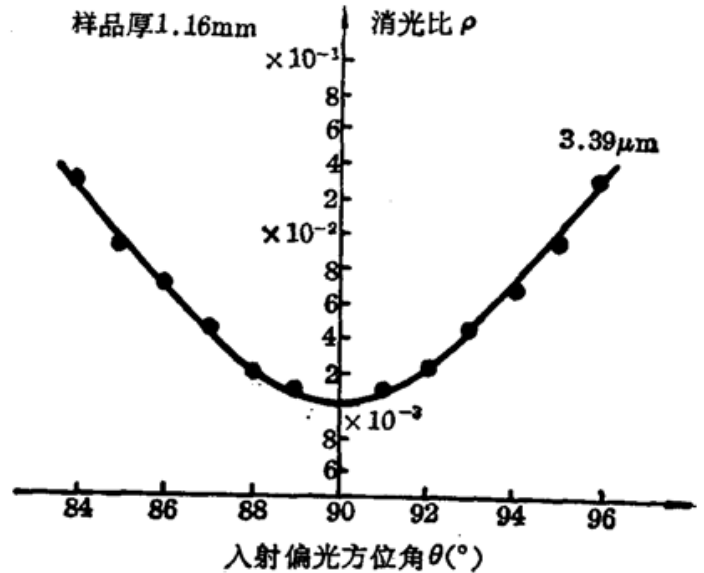


图5 消光比随入射偏光方位角的变化关系

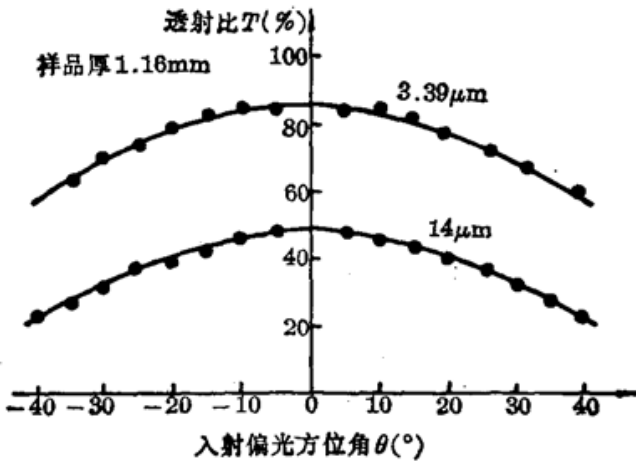


图4 透射比随偏光方位角的变化关系

图5中消光比最小值取  $10^{-8}$ 。 $3.5 \mu m$ 、 $4 \mu m$  的情况与  $3.39 \mu m$  的情形基本相同。对于  $14 \mu m$ ,方位角在  $\pm 10^\circ$  以内透射显示均为“0”。

#### 3. 入射角对主透射比和消光比的影响

##### (1) 电矢量与光轴平行

线偏光入射样品 若电矢量与光轴平行,则外电场只激发沿光轴方向的偶极矩,绕光线轴转

动样品,入射角增大,反射增强,主透比减小,透射光相对入射光有微小横移但方向不变。若垂直光轴转动样品,电矢量将与晶体光轴成一夹角(与入射角等值),同时激发沿光轴和垂直于光轴方向的电偶极矩,由于 $o$ 光的强吸收透射光强急剧减小,见图6。

#### (2) 电矢量与光轴正交

此时,无论绕光轴还是垂直于光轴转动样品,外电场激发的都是垂直于光轴的 $o$ 振动,转动仅改变晶体中光程,见图6。

### 四、与其他类型红外偏光器件的比较

用于 $2\sim 10\mu\text{m}$ 的最常见的偏光器件是采用透红外材料制做的各种布儒斯特角反射或透射偏光镜以及部分线栅式偏光镜,我们研究所制做的冰洲石红外格兰-泰勒棱镜用于 $5\mu\text{m}$ 以下波长具有良好的偏光性能。冰洲石二向色偏光镜在工作波长的透射比及几个常用参数和其他偏光镜的比较列于表1。

表1 冰洲石二向色偏光镜和常用红外偏光镜使用参数对照

	波长( $\mu\text{m}$ )	冰洲石二向色型	冰洲石红外格兰·泰勒型	线栅型 <sup>[3]</sup> Au(AgCl)	Se单片布氏角反射型 <sup>[3]</sup>
消光比	3.35~3.55	$<10^{-3}$	$<10^{-3}$	$2\times 10^{-2}$	$2\times 10^{-3}$
	3.85~4.1	$<10^{-3}$	$<10^{-3}$	$10^{-2}$	$5\times 10^{-3}$
	9.2~9.6	$<10^{-3}$	$<10^{-3}$	$8\times 10^{-3}$	$5\times 10^{-2}$
	12.5~15.6	$<10^{-3}$	$<10^{-3}$	$5\times 10^{-3}$	$8\times 10^{-2}$
接收角		$30^\circ$	$<4^\circ$	$30^\circ$	单片 $<3^\circ$ 双片 $<10^\circ$
通光孔径(mm)		$<30$	$<8$	50	20
镜体长(mm)		$<2$	约 25	$<10$	约 200

冰洲石二向色偏光镜作为窄带红外偏光器件具有以下优点:(1)透射比和消光比高,适宜于高精度起偏,尤其适用于氦氛( $3.39\mu\text{m}$ )、氦氙( $3.5\mu\text{m}$ )、氟化氙( $3.8\sim 4\mu\text{m}$ )等激光波长;(2)接收角大,可用于锐会聚光束;(3)透射比和消光比在一定范围内连续可调,宜用于偏光调制、偏光衰减、光学隔离等技术;(4)能制成大孔径偏光器件,节省材料,成本低廉,价格低于其他任何形式的红外偏光器件。

### 参 考 文 献

- 1 Paul C. Painter *et al.*, The Theory of Vibrational Spectroscopy and Its Application to Polymeric Materials, A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, Inc. Permission Department, 1982, 80
- 2 J. J. Bridges, J. W. Kluver, *Appl. Opt.*, 4(9), 1124(1965)
- 3 Driscoll W. G., Vaughan W., Sponsored by OSA, Handbook of Optics, McGraw-Hill Book Co., 1978, 10~98

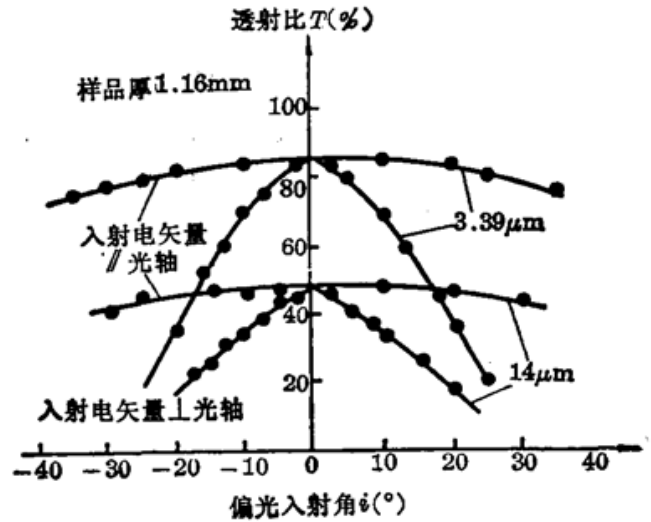


图6 主透射比随入射角的变化关系