

文章编号: 1001-3806(2013)06-0752-04

## 冰洲石晶体紫外波段偏光吸收系数的测试研究

王会丽, 吴福全\*

(曲阜师范大学 激光研究所, 曲阜 273165)

**摘要:** 为了研究冰洲石晶体在紫外波段的偏光吸收特性, 制作了长、宽不相等的测试样品。利用双光路分光光度计, 在测试与参考光路同时加入偏振方向相互平行的起偏棱镜, 分别测量同一晶体不同长度的偏振透射光谱。通过消除光在晶体表面反射损失的影响, 得到两只测试样品在紫外波段对 o 光、e 光的吸收系数。在紫外波段同一冰洲石晶体中 e 光吸收系数小于 o 光, 且波长越短差别越大; 不同冰洲石晶体个体在紫外波段的吸收系数存在较大差异。结果表明, 先对冰洲石晶体进行紫外偏振光谱测试, 选出吸收系数小的晶体, 是制作高性能紫外偏光棱镜的关键。

**关键词:** 光谱学; 吸收系数; 冰洲石晶体; 偏光测量; 紫外波段

中图分类号: O436

文献标识码: A

doi:10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2013.06.010

## Measurement of absorption coefficients for the ultraviolet polarized light in the iceland crystal

WANG Hui-li, WU Fu-quan

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

**Abstract:** To study the absorption coefficients for the ultraviolet polarized light in the iceland crystal, two crystal samples in different length and width were manufactured. Using the dual beam path spectrometer and inserting polarizers whose polarization directions are parallel separately into the sample and the reference paths, the transmission spectra of the light passing through the crystal in different lengths were measured. Canceling out the losses on the crystal surfaces, the absorption coefficients of the o light and the e light in the ultraviolet region in both the crystal samples were achieved. The absorption coefficients of e light in the ultraviolet region are usually smaller than o light in the same crystal and as the wavelength gets shorter, their difference becomes larger. The absorption coefficient in the ultraviolet region varies greatly in the different crystals. The results show that it is important for making high performance ultraviolet polarizers to get the ultraviolet polarization spectra of the raw materials and to pick out the crystals with low absorption coefficients.

**Key words:** optical spectroscopy; absorption coefficients; iceland crystal; polarization measurement; ultraviolet region

### 引言

冰洲石晶体<sup>[1]</sup>属于三方晶系, 是一种由碳酸钙成分构成的天然单轴晶体。冰洲石晶体实际上就是光学级的方解石晶体, 由于这种纯净的晶体最初是在冰岛的一个玄武岩洞中被发现的, 所以人们就把光学级的方解石称为冰洲石晶体。由于冰洲石晶体双折射率大, 在近紫外到近红外波段都有很好的透

射率<sup>[2]</sup>, 至今它仍是制作晶体偏光器件最主要的材料<sup>[3-5]</sup>。由于冰洲石晶体是天然晶体材料, 且分布地域广, 结晶时自然条件的差异会造成个体之间的微小差别, 反映到光学性能上, 尤为明显的是紫外波段的透射率的较大差别<sup>[6]</sup>, 因此, 在利用冰洲石晶体制作紫外波段的光学器件时, 材料的选择尤为重要。通过测量晶体材料的偏振透射谱<sup>[2,6-7]</sup>来分析晶体的偏振透射特性, 是一种简单而常用的分析手段。作者采用分别测量同一晶体不同长度透射率的方法, 以消除光在晶体表面反射的影响, 得到晶体在紫外波段的吸收系数与波长的关系。

### 1 实验测试

作者简介: 王会丽(1988-), 女, 硕士研究生, 现主要从事偏振物理学与器件设计的研究。

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

收稿日期: 2013-01-24; 收到修改稿日期: 2013-03-04

### 1.1 样品制作

实验中选用两块无色透明的冰洲石晶体,经过精定光轴(小于 1')、研磨、切割、精校直角与平行(小于 1')以及光学抛光,做成如图 1 所示的两块样品(以下称为样品 A 与样品 B)。图中双箭头表示晶体光轴方向,它平行于坐标 z 轴。a, b, c, d 4 个面为抛光面,其中, a 和 b 两面平行于 x-O-z 平面, c 和 d 两面平行于 y-O-z 平面。样品 A 的 a 面、b 面与 c 面、d 面之间的厚度分别用  $L_A$  与  $L_A'$  表示,样品 B 的 a 面、b 面与 c 面、d 面之间的厚度分别用  $L_B$  与  $L_B'$  表示,对于制作的两块样品  $L_A = 3.812\text{cm}$ ,  $L_A' = 1.770\text{cm}$ ,  $L_B = 3.619\text{cm}$ ,  $L_B' = 1.609\text{cm}$ 。

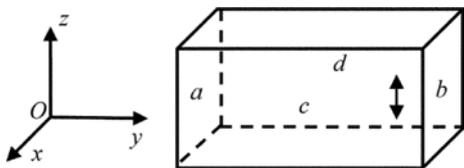


Fig. 1 Frame of the iceland crystal sample

### 1.2 测试装置及测试步骤

要测量晶体样品的偏振光谱,需要在样品前放置起偏棱镜,使入射到样品上的光为线偏振光,然后通过调整样品,使进入样品的偏振光的振动方向平行或垂直于样品的晶体光轴,从而振动方向平行于样品的晶体光轴时测得的是非常光(e 光)的偏振光谱,振动方向垂直于样品的晶体光轴时测得的是寻常光(o 光)的偏振光谱。

样品的偏振光谱测量是在岛津 UV3010PC 分光光度计上进行的,该仪器具有双光路测量功能。测量光路如图 2 所示,分别在参考光路和测试光路中同时放入两只透振方向相同的格兰-泰勒偏光棱镜,其目的是为了消除由光电探测器的偏振效应引起的测量误差,提高测量精度,同时产生特定振动方向的线偏振光。格兰-泰勒棱镜的透振方向在纸面内,指透射光的振动方向平行于纸面,且垂直于光的传播方向。在图 2 中,◆表示入射的自然光,|表示自然

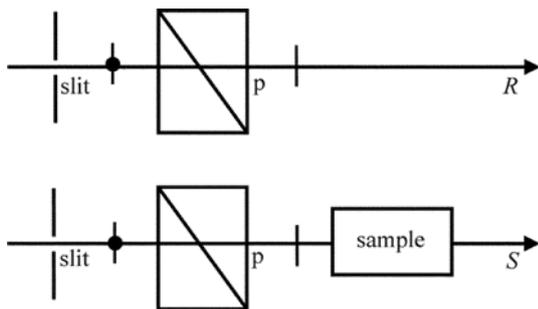


Fig. 2 Experimental setup for polarization measurement

光通过格兰-泰勒棱镜后所产生的线偏振光的偏振方向, p 代表格兰-泰勒棱镜, R 表示参考光路, S 表示样品光路。

在测试光路中放入待测样品 A, 调整样品的放置位置, 使光垂直 a 面、b 面入射, 这时光经过样品的厚度为  $L_A = 3.812\text{cm}$ 。以入射光为轴调整样品 A 的方位, 使晶体光轴平行于格兰-泰勒棱镜的透振方向, 这时样品中的光为 e 光, 测得的偏振光谱记为  $A_e$ 。以入射光为轴将样品旋转 90°, 这时样品中的光为 o 光, 测得的偏振光谱记为  $A_o$ 。重新调整样品, 使光垂直于 c 面、d 面入射, 这时光经过样品的厚度  $L_A' = 1.770\text{cm}$ ; 按以上步骤调整方位, 测得 e 光和 o 光的偏振光谱  $A_e'$  和  $A_o'$ 。

在测试光路中放入待测样品 B, 重复对样品 A 的测试步骤, 得到相应的偏振光谱  $B_e, B_o, B_e'$  与  $B_o'$ 。

## 2 测试结果及其分析

在 210nm ~ 800nm 的光谱范围测得的样品 A、样品 B 的透射偏振光谱如图 3、图 4 所示。由图可知: (1) 在 450nm ~ 800nm 的可见光谱范围内, 偏振光通过样品 A、样品 B 的透射率均在 80% 以上, 且与光经过样品的厚度基本无关, 考虑到光在晶体表面的反射损失, 因此可以认为在该光谱范围, 冰洲石晶体对 o 光、e 光的吸收很小, 所以至今冰洲石晶体仍是制作激光偏光镜和偏光分束镜的首选材料;

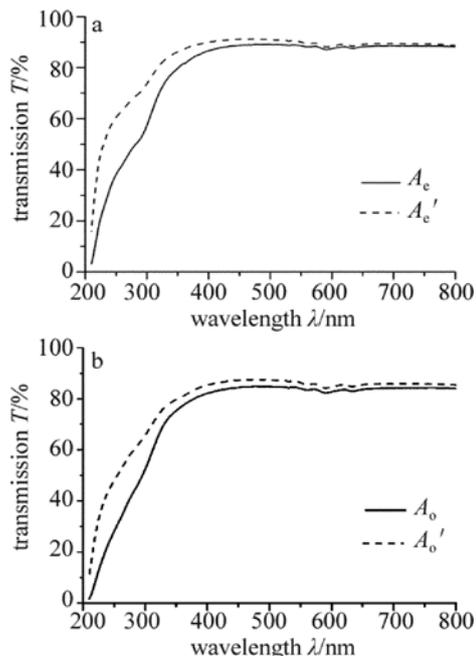


Fig. 3 Polarization transmission spectra of the A crystal a—extraordinary light b—ordinary light

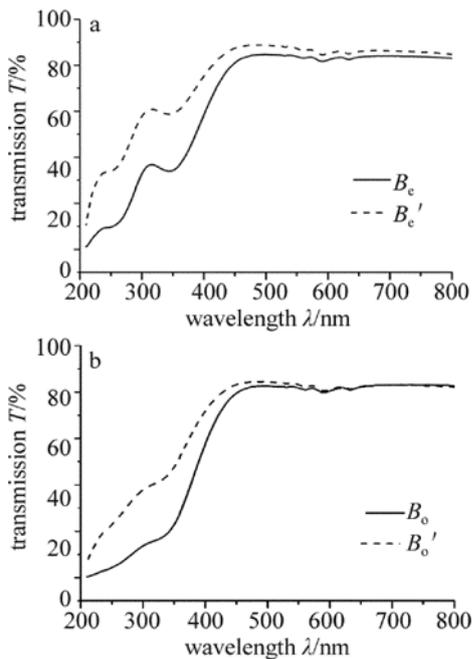


Fig. 4 Polarization transmission spectra of the B crystal  
a—extraordinary light b—ordinary light

(2) A、B 两块晶体样品在紫外波段的透射率有很大的区别,样品 A 的紫外透射特性明显优于样品 B,这进一步验证了参考文献[6]中给出的实验结果,充分说明由于冰洲石晶体是天然晶体材料,结晶时自然条件的差异造成了个体之间紫外透射比的不同,同时提醒人们,若要制作紫外波段的偏光棱镜,一定要根据冰洲石晶体的紫外透射进行晶体的选择;(3)在 210nm ~ 400nm 的紫外波段,光的透射率随着波长的减小开始明显下降,并且透射率与晶体厚度有关,由此可以针对两块样品对这一波段光的吸收进行研究,以得出吸收系数  $\alpha$  与波长  $\lambda$  的关系。

当光在透明介质中沿  $x$  轴方向传播时,其光强的变化满足朗伯定律<sup>[8]</sup>:

$$I = I_0 e^{-\alpha l} \quad (1)$$

式中,  $I_0$  和  $I$  分别为  $x=0$  和  $x=l$  处的光强,  $l$  表示光在平面平行板内传播的距离,  $\alpha$  表示材料的吸收系数。

当光入射到一个平面平行板材料时,光一部分被反射,一部分被吸收,还有一部分透射,透射率  $T$ <sup>[9]</sup> 满足下式:

$$T = \frac{(1 - \rho)^2 e^{-\alpha l}}{1 - \rho^2 e^{-2\alpha l}} \quad (2)$$

式中,  $\rho$  表示光在界面上的反射率。

对于上面测试的样品 A 与样品 B,同一样品两次测量的不同在于测量样品厚度的不同,若厚度分别用  $L$  和  $L'$  表示,两者之差  $\Delta L$  为:

$$\Delta L = L - L' \quad (3)$$

根据(2)式,两次的透射率可以分别表示为:

$$T = \frac{(1 - \rho)^2 e^{-\alpha l}}{1 - (\rho e^{-\alpha l})^2} \quad (4)$$

$$T' = \frac{(1 - \rho')^2 e^{-\alpha' L'}}{1 - (\rho' e^{-\alpha' L'})^2} \quad (5)$$

显然,对于同一样品,有  $\alpha = \alpha', \rho = \rho'$ , 并且可以近似认为下式成立:

$$\frac{1 - (\rho e^{-\alpha l})^2}{1 - (\rho' e^{-\alpha' L'})^2} \approx 1 \quad (6)$$

由(4)式、(5)式、(6)式可得:

$$\alpha = \frac{-(\ln T - \ln T')}{L - L'} = \frac{\ln T' - \ln T}{\Delta L} \quad (7)$$

对于样品 A 有:

$$\begin{cases} \alpha_{A_e} = \frac{\ln T_{A_e}' - \ln T_{A_e}}{2.042 \text{cm}} \\ \alpha_{A_o} = \frac{\ln T_{A_o}' - \ln T_{A_o}}{2.042 \text{cm}} \end{cases} \quad (8)$$

对于样品 B 有:

$$\begin{cases} \alpha_{B_e} = \frac{\ln T_{B_e}' - \ln T_{B_e}}{2.010 \text{cm}} \\ \alpha_{B_o} = \frac{\ln T_{B_o}' - \ln T_{B_o}}{2.010 \text{cm}} \end{cases} \quad (9)$$

利用(8)式和(9)式进行数据处理<sup>[10]</sup>,得到的样品 A 与样品 B 两块冰洲石晶体在紫外波段的吸收系数与波长的关系曲线,如图 5 和图 6 所示。

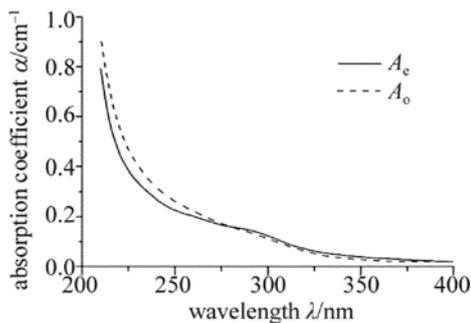


Fig. 5 Curves of the absorption coefficients  $\alpha$  of o light and e light vs. wavelength  $\lambda$  in the A sample

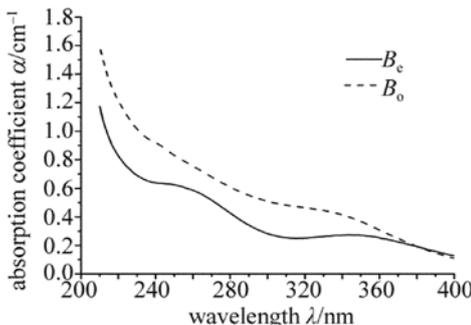


Fig. 6 Curves of the absorption coefficients  $\alpha$  of o light and e light vs. wavelength  $\lambda$  in the B sample

由图5、图6可知:在210nm~400nm的紫外波段范围内,整体上来看,冰洲石晶体对e光具有更小的吸收系数,表现出了晶体在紫外具有二向色性。样品A在紫外的吸收系数明显小于样品B,这从对光吸收方面进一步说明了不同冰洲石晶体个体在紫外波段的光学性能存在较大差异。

### 3 结 论

用透明无色的冰洲石制作了测试样品A和样品B,两样品厚度比均大于2。利用双光路分光光度计,并在测试与参考光路同时加入透振方向相同的起偏棱镜,对每一样品不同厚度时o光、e光的透射比均进行了测试。利用针对本研究得出的吸收系数公式,根据透射比测试结果,拟合出了两样品在紫外波段o光、e光吸收系数与波长的关系曲线。由得到的曲线可知:同一冰洲石晶体中e光在紫外波段的吸收系数小于o光,且波长越短两者差别越大,冰洲石晶体在紫外波段表现出了二向色性;不同冰洲石晶体个体在紫外波段的吸收系数存在较大差异。

#### 参 考 文 献

[1] ZHANG G Y, LAN G X, WANG Y F. Lattice vibration spectro-

scopy[M]. Beijing: Higher Education Press, 2003: 93-96 (in Chinese).

- [2] LI G H, LI J Zh. Measurement and application of calcite IR polarized transmission spectrum[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 1991, 11(1): 18-20 (in Chinese).
- [3] REN Sh F, WW F Q. Design of birefractive parallel beam-splitting polarization prisms combined of iceland and glass[J]. Laser Technology, 2012, 36(5): 686-688 (in Chinese).
- [4] WU F Q, LI G H, *et al.* Research and manufacture about the iceland spar polarizing prism[J]. Journal of Qufu Normal University, 1994, 20(2): 54-57 (in Chinese).
- [5] REN Sh F, WU F Q, *et al.* Ternary parallel beam splitter combined of iceland and glass[J]. Laser Technology, 2006, 30(3): 311-312 (in Chinese).
- [6] KONG W J, WU F Q, YUN M J, *et al.* The ultraviolet band spectrochemical analysis of iceland crystal material [J]. Laser Technology, 2003, 27(3): 214-215 (in Chinese).
- [7] AKA G, KAHN-HARARI A. Linear- and nonlinear-optical properties of a new gadolinium calcium oxoborate crystal,  $\text{Ca}_4\text{GdO}(\text{BO}_3)_3$  [J]. Journal of the Optical Society of America, 1997, B14(9): 2238-2247.
- [8] ZHAO K H, ZHONG X H. Optics (the second volume) [M]. Beijing: Beijing University Press, 2008: 228-229 (in Chinese).
- [9] LI J Zh. Handbook of optics [M]. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 2010: 2519-2550 (in Chinese).
- [10] OU P. Advanced optics simulation (The version of MATLAB) [M]. Beijing: Beihang University Press, 2011: 27-33 (in Chinese).