

文章编号: 1001-3806(2004)06-0639-02

旋光晶体中圆偏振光折射率与波长的关系探讨

冯伟伟, 宋连科, 陈立刚

(曲阜师范大学 激光研究所, 曲阜 273165)

摘要: 从旋光理论出发, 得出了晶体中左、右旋圆偏振光折射率随波长的变化关系。结果表明, 对石英来说, 波长在 500nm 以内, 左、右旋圆偏振光折射率下降很快; 当波长大于 500nm 后, 左、右旋圆偏振光折射率下降比较平缓; 当波长大于 2000nm 后, 左、右旋圆偏振光折射率差趋近于 0。

关键词: 圆偏振光; 旋光率; 折射率; 石英

中图分类号: O436.3 **文献标识码:** A

The study of the relation between circularly polarized light's refractive rate and wavelength

FENG Wei-wei, SONG Lian-ke, CHEN Li-gang

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

Abstract: The relations between circularly polarized light's refractive rate and wavelength are obtained through the theory of rotation. The refractive rate of left and right circularly polarized light in the quartz falls down rapidly under the wavelength of 500nm; the refractive rate of left and right circularly polarized light in the quartz falls down slowly above the wavelength of 500nm; the refractive rate's difference of right and left circularly polarized light approaches zero above the wavelength of 2000nm.

Key words: circular polarized light; specific rotation; refractive rate; quartz crystal

引 言

能产生旋光现象的物质称为旋光性物质。例如石英晶体以及糖和酒石酸溶液等都是旋光性较强的物质^[1]。旋光现象的起因, 可认为是由左、右旋圆偏振光折射率不同造成的。左、右旋圆偏振光折射率的不同, 是许多偏光现象的根本原因。通常, 人们只对偏光现象的性质进行研究。而对于左右旋圆偏振光折射率的研究却不多见。作者从旋光理论出发, 得出了晶体中左右旋圆偏振光折射率, 这与偏光现象都能很好地相符。

1 基本原理

一束线偏振光, 可以看作是两束等幅左旋和右旋圆偏振光的叠加。圆偏振光的位相即旋转电矢量的角位移, 位相差即角位移的相对偏转量。在旋光物质的入射面上, 入射线偏振光的电矢量 E 可分解

为如图 1a 所示的两个旋转方向不同的圆偏振光 E_r 和 E_l 。通过旋光物质后, 它们的位相滞后不同, 旋转方向也不同^[2]。在出射界面上, 两个圆偏振光的旋转电矢量如图 1b 所示。当光束射出介质后, 左、右旋圆偏振光的速度又恢复一致, 因此又可将它们合成起来考虑, 合成线偏振光的电矢量方向就是两旋转光电矢量的同位相方向^[3]。

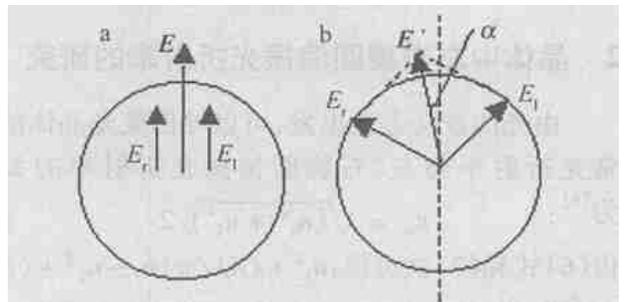


Fig. 1 Decomposition of left and right circularly polarized light in the optically active substance

a - incidence plane b - exit plane

如果入射线偏振光的电矢量 E 相对出射线偏振光的电矢量 E' 顺时针旋转 α 角度, 则相当于直角坐标系沿逆时针旋转 α 角度。由图 2 可看出, 坐标

作者简介: 冯伟伟(1979-), 女, 硕士研究生, 现主要从事光学晶体偏光特性以及光学测试技术方面的研究。

E-mail: fengweiwei896@sohu.com

收稿日期: 2003-10-23; 收到修改稿日期: 2003-11-17

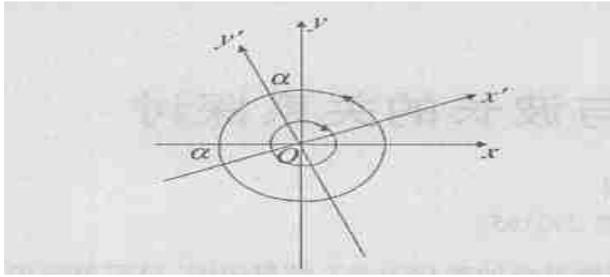


Fig.2 Diagrammatic sketch of circular polarized component's transformation in coordinate conversion

系 xOy 沿逆时针旋转角度 α 变成坐标系 $x'O'y'$ 后, 仅左旋圆偏振分量和右旋圆偏振分量的位相变化, 而振幅没发生变化。

所以, 只须在左旋圆偏振分量加上相位因子 $e^{-i\alpha}$ 和右旋圆偏振分量加相位因子 $e^{i\alpha}$, 即:

$$\begin{aligned} E_l &= E_l e^{-i\alpha} \\ E_r &= E_r e^{i\alpha} \end{aligned} \quad (1)$$

其左旋和右旋圆偏振光相位差 2α 。

当这一束偏振光通过某种物质(如石英)左旋和右旋光的折射率 n_l 和 n_r 不等, 于是通过厚度为 L 的介质后, 便产生不同的位相滞后^[4]:

$$\phi_l = 2\pi n_l L / \lambda, \quad \phi_r = 2\pi n_r L / \lambda \quad (2)$$

式中, λ 为真空中的波长。

同样可得其位相差:

$$\phi_r - \phi_l = 2\pi(n_r - n_l)L / \lambda \quad (3)$$

结合两种相位差可以得到振动面旋转的角度:

$$\alpha = (n_r - n_l)\pi L / \lambda \quad (4)$$

对石英而言, 实验表明, 振动面旋转的角度 α 与晶体的厚度 L 成正比: $\alpha = AL$ (5)

式中, 比例系数 A 为石英的旋光率。由(3)式和(4)式可得: $n_r - n_l = A\lambda / \pi$ (6)

2 晶体中左右旋圆偏振光折射率的研究

由光的波动方程出发, 可以导出旋光晶体的寻常光折射率与左、右旋圆偏振光折射率的关系为^[5]:

$$n_o = \sqrt{(n_r^2 + n_l^2)} / 2 \quad (7)$$

由(6)式和(7)式可得: $n_l^2 + (A\lambda / \pi) n_l - n_o^2 + (A\lambda / \pi)^2 / 2 = 0$ 。

解关于 n_l 的二次方程, 可得两实根: $n_l =$

$\frac{\pm \sqrt{4n_o^2\pi^2 - A^2\lambda^2} - A\lambda}{2\pi}$, 因为 $n_l = (-\sqrt{4n_o^2\pi^2 - A^2\lambda^2} - A\lambda) / 2\pi < 0$, 与物理意义相矛盾, 所以, 左旋圆偏振光折射

$$n_l = \frac{\sqrt{4n_o^2\pi^2 - A^2\lambda^2} - A\lambda}{2\pi} \quad (8)$$

同样可得:

$$n_r = \frac{\sqrt{4n_o^2\pi^2 - A^2\lambda^2} + A\lambda}{2\pi} \quad (9)$$

令 $B = A\lambda / 2\pi$, 则可以得到:

$$n_l = \sqrt{n_o^2 - B^2} - B \quad (10)$$

$$n_r = \sqrt{n_o^2 - B^2} + B \quad (11)$$

可以看出: 左、右旋圆偏振光折射率分别与入射光和旋光晶体有关。对同一种旋光物质, 左右旋圆偏振光折射率仅与波长有关。

3 圆偏振光折射率与波长关系分析讨论

表1中^[6]给出了石英晶体在较宽的波长范围内, 不同波长下旋光率、圆偏振光折射率、双折射率和寻常光的折射率的值。图3和图4分别显示了该晶体左、右旋圆偏振光折射率和双折射率差随波长的变化关系。

Table 1 Relation of wavelength, quartz's specific rotation and refractive rate of circularly polarized light

wavelength / nm	A / (° mm ⁻¹)	n_o	n_l	n_r	$n_l - n_r$
185.4	370.9	1.65751	1.66842	1.64653	0.02189
231.3	190.5	1.61395	1.62095	1.60692	0.01403
340.4	72.5	1.56745	1.57137	1.56352	0.00785
434.0	41.9	1.55396	1.55685	1.55106	0.00579
508.6	29.7	1.54822	1.55062	1.54581	0.00481
589.3	21.7	1.54424	1.54628	1.54220	0.00408
2058.2	1.5	1.52000	1.52050	1.51950	0.00100

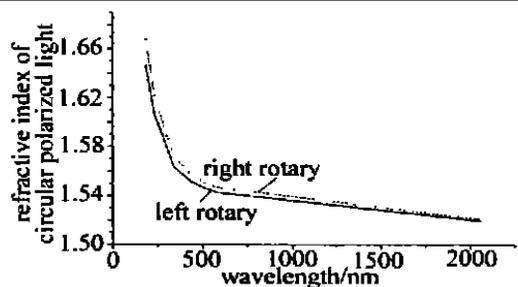


Fig.3 Relation of left, right circularly polarized light of refractive index and wavelength

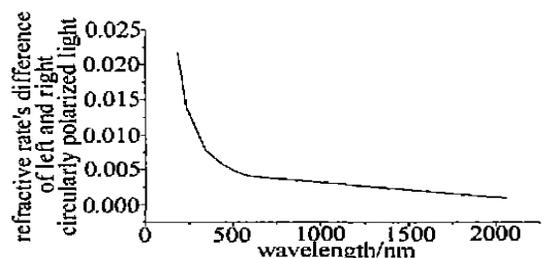


Fig.4 Relation between difference of left, right circularly polarized light in refractive index and wavelength

式中, $\sigma > 0$ 为伸缩因子, λ 为光波波长, f 为透镜焦距, $h(x)$ 为一维 Mexican-hat 小波, 其形式为:

$$h(x) = [1 - (x/\sigma)^2] \exp[-1/2(x/\sigma)^2] \quad (15)$$

经过傅里叶变换即可得到 $h_1(x)$ 的频谱, 并可将一维形式推广到二维形式。当采用改进的 Mexican-hat 小波提取信号时具有单峰的特征, 很明显比 Mexican-hat 小波的效果要好。

5.2 小波匹配滤波器的制作及其不同伸缩因子的实现

系统的识别能力依赖于小波函数和伸缩因子的正确选择, 而这主要依赖于输入图像的特征, 当目标图像和参考图像差别较大时, 如何兼顾好二者而制作出一个合适的小波滤波器显得非常重要。

小波匹配滤波器的制作方式有多种: (1) 采用光学方法来记录小波滤波器的二维全息; (2) 采用计算全息技术制作小波匹配滤波器; (3) 摄影透射滤波器的制作。总的来讲, 制作小波滤波器是非常复杂的, 通常为了得到合适的扩因子, 需要制作大量的具有不同伸缩因子的小波滤波器, 而且对滤波器实现其精确定位也存在一定的难度。为了解决这个问题, 可以通过改进 $4f$ 傅里叶光学系统来降低小波滤波器的制作难度。其结构如图 5 所示^[5]。

该结构特点是: (1) 直接采用发散球面波进行照明; (2) 物体的频谱面 (即照明光波的会聚像点所在平面) 移至透镜的前表面附近; (3) 输入物平面在透镜 L_1 的前表面附近。该系统的优点是可以对其频谱面上的坐标尺度进行放大, 其放大倍数与照明

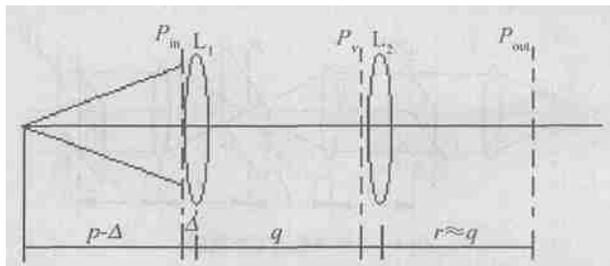


图5 改进的 $4f$ 系统

光源和输入平面的位置有关。这对降低实验技术上的操作难度和提高实验精度具有十分重要的意义。

6 结束语

由于小波变换是一门新兴的科学, 目前尚处于迅速发展阶段, 鉴于小波变换突出的处理信号特点及其图像识别能力, 其应用前景必定十分宽广。

参 考 文 献

- [1] HUANG X J. Pattern correlation recognition using a binary wavelet filter [J]. Journal of Optoelectronics Laser, 2001, 12(10): 1068~1071.
- [2] LI J. Gao identification research of real-time based on joint wavelet transform structural [J]. Chinese Journal of Lasers, 1995, 22(10): 783~787.
- [3] ROBERGE D. Optical wavelet matched filter [J]. Appl Opt, 1994, 33(23): 5387~5293.
- [4] CHEN H M. Use the improvement Mexican-hat wavelet filter that is produced with calculates holographic realization 2-Dimension optical wavelet transform [J]. Chinese Journal of Lasers, 1999, 26(5): 420~424.
- [5] WANG Q Q. Improve Fourier optical system to realize the frequency spectra enlarge of plane fractal signal and wavelet transform [J]. ACTA Optical Sinica, 2000, 20(2): 217~223.

(上接第 640 页)

应注意: 以上数据及示意图是针对右旋石英而言的。

4 结 论

(1) 由表 1 和图 3 可看出: 对石英来说, 随着波长的增大, 左、右旋圆偏振光的折射率都减小。波长在 500nm 以内, 左、右旋圆偏振光折射率下降很快; 当波长大于 500nm 后, 左、右旋圆偏振光折射率下降比较平缓。

(2) 由图 4 可看出: 随着波长的增大, 左、右旋圆偏振光的折射率差也在减小。当波长大于 2000nm

后, 左、右旋圆偏振光折射率差趋近于 0。

参 考 文 献

- [1] 宋光乐, 宋洪训, 杨兆华. 大学物理教程 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1993. 298~300.
- [2] 李国华. 光学 [M]. 济南: 山东教育出版社, 1991. 433~435.
- [3] 新古隆一, 范爱英, 康昌鹤. 偏振光 [M]. 北京: 原子能出版社, 1994. 27~34.
- [4] 过巴吉. 非线性光学 [M]. 西安: 西北电讯工程学院出版社, 1984. 157~160.
- [5] 胡楚乐. 旋光晶体的寻常光折射率与左旋光和右旋光折射率的关系探讨 [J]. 内蒙古师范大学学报, 1999, 12(24): 21~22.
- [6] 仲维卓. 人工水晶 [M]. 北京: 科学出版社, 1994. 409.