

微米手性晶粒凝胶玻璃的制备及其消偏振效应^{*}

陶卫东¹⁾ 董建峰²⁾ 夏海平³⁾ 白贵儒²⁾ 陆祖康¹⁾

¹⁾ 浙江大学现代光学仪器国家重点实验室, 杭州 310027)

²⁾ 宁波大学光纤通信与网络技术研究所, 宁波 315211)

³⁾ 宁波大学光电子功能材料研究室, 宁波 315211)

(2003 年 4 月 22 日收到, 2003 年 6 月 11 日收到修改稿)

采用干法粉碎法将具有手性特征的块体水晶粉碎成粒径为 $70\mu\text{m}$ 的手性晶粒, 利用溶胶-凝胶法, 将粒径为 $70\mu\text{m}$ 的手性晶粒均匀地撒入凝胶基质中, 制成厚度为 4mm 的含微米手性晶粒的凝胶玻璃, 发现其表现出了消偏振效应. 而将微米手性晶粒替换成同样尺寸粒径的玻璃粉体, 以同样方法制成的相同厚度的含微米玻璃粉体的凝胶玻璃却表现出线偏振保持的性能. 分析了此现象发生的原因.

关键词: 手性晶粒, 溶胶-凝胶, 消偏振

PACC: 7000, 7855

1. 引言

Mazur 于 1992 年提出设想, 在波导的耦合区域中引入手征介质, 波导将具有偏振响应特性, 根据这种效应, 完全有可能研制出许多新器件, 例如消偏振器、极化仪、频率-振幅转换器、传感器、新型开关及调制器等^[1]. 微波段的手征波导器件的研制成功已有所报道^[2]. 在光波段, 理论研究主要集中在手征光纤和平板波导上^[3-5]; 在实验研究上, 目前基本上都是以有机手性分子作为研究对象, 例如在已研制出的平板波导、液芯手征光纤、手性玻璃等器件^[6-11]中, 所使用的手性介质均为有机分子. 然而最近, Hodgkinson 等人用旋转基片沉积的方法研制出无机手性材料^[12], 可用以研制手性反射器、手性滤波器及圆偏振检测器. 无机或有机的光学手性材料及其相关器件的研制成功, 也将对集成光学的发展起到深远影响, 例如可以研制微型化的偏振转换、偏振调制和定向耦合器等.

在许多有机化合物的分子结构中, 都存在螺旋结构, 这些螺旋结构是由分子结构中原子和化学键所构成, 这也是手性有机分子具有旋光或光学活性的原因. 在无机手性材料方面, 例如晶体, 如果晶体中的粒子存在一重反轴 S_1 、二重反轴 S_2 、四重反轴 S_4 或更高级的反轴时, 则此晶体不具有光学活性;

若不存在这几种对称因素, 则具有光学活性. 本文将无机手性旋光材料——水晶作为研究对象, 将水晶粉碎成粒径为 $70\mu\text{m}$ 的手性晶粒, 利用溶胶-凝胶法将其制成含微米手性晶粒的凝胶玻璃, 并对其光学偏振特性进行研究.

2. 手性微晶玻璃的制备

水晶中的硅、氧原子以螺旋结构的形式排列于晶格中, 如图 1 所示^[13], 图中阴影的一些四面体即表示一个螺旋链, 它具有三重螺旋轴的对称性, 因而具有左旋或右旋的光学活性. 当温度达到 573°C 左右时, 具有旋光特性的水晶会发生相变而转化为另外一种石英变体. 本文首先采用水热法制作出块体水晶, 采用干法粉碎法将块体水晶粉碎成粒径为 $70\mu\text{m}$ 的晶粒, 用 CRY-2P 型差热分析仪对其进行差热分析, 结果如图 2 所示, 分析表明其在 573°C 附近存在一个吸收峰, 表明在此处晶体发生了相变, 显示晶粒的螺旋结构在粉碎过程中未遭破坏.

采用溶胶-凝胶法^[9, 10], 将粒径为 $70\mu\text{m}$ 的手性晶粒均匀地分散在溶胶-凝胶体系中, 制成厚度为 4mm 的含微米手性晶粒的凝胶玻璃. 为作对比, 将非晶态的玻璃也粉碎成粒径为 $70\mu\text{m}$ 的粉体, 采用相同方法制成厚度相同的含微米玻璃粉体的凝胶玻

^{*} 国家自然科学基金(批准号 60307003)及浙江省自然科学基金(批准号 602153)、浙江省教育厅基金(批准号 20010231 和 20020426)资助的课题.

璃,以备测试.

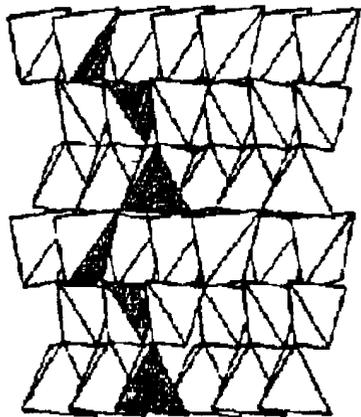


图1 水晶的螺旋结构

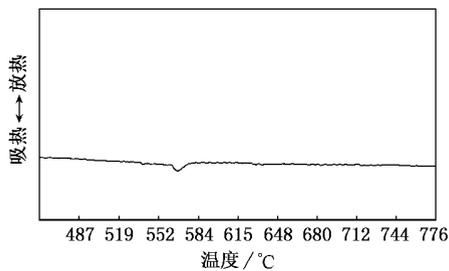
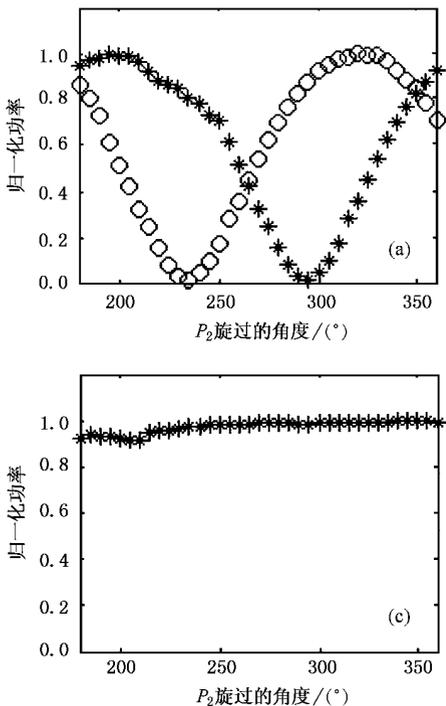


图2 水晶粉末的差热特性



3. 光学偏振特性测试

采用图3所示实验装置测量块体水晶、含微米手性晶粒的凝胶玻璃及含微米玻璃粉体的凝胶玻璃的光学偏振特性.测试中,首先将起偏器 P_1 旋至某一角度并固定,从锁相放大器中读出光学强度相对值的最大读数 V_{max} 和光学强度相对值的最小读数 V_{min} 并记录下来,然后将检偏器 P_2 每隔 5° 旋转一次,记录锁相放大器所显示的读数,将实验所测数据归一后,可以得到光学偏振特性的测试结果,如图4(a)(b)和(d)所示.

为了透彻理解含微米手性晶粒凝胶玻璃的光学偏振特性,再将一片 $1/4$ 波片插入图3检偏器 P_2 的前面,按上述方法进行测试,结果如图4(c)所示.

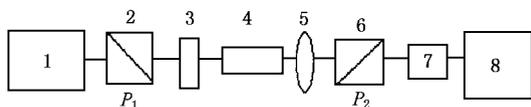


图3 含微米手性晶粒凝胶玻璃光学偏振特性的实验测试装置

1 为 He-Ne 激光 2 为起偏器 P_1 3 为衰减片 4 为所要测试的样品 5 为聚集透镜 6 为检偏器 P_2 7 为探头 8 为锁相放大器

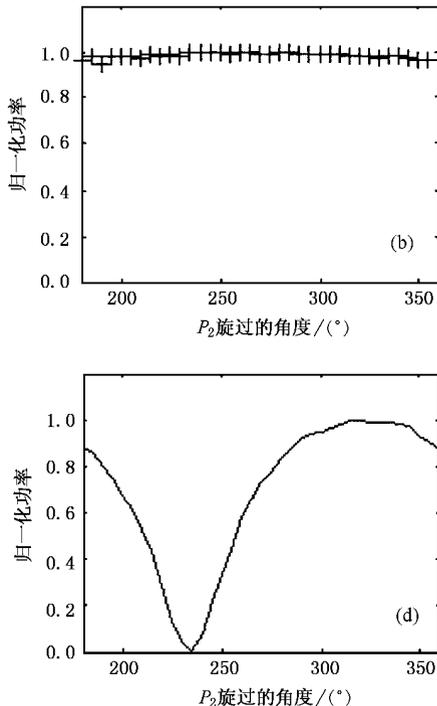


图4 光学偏振特性测试结果 (a)块体水晶的旋光特性,空心圆为 He-Ne 激光通过 P_1 后的光学偏振特性,星号为块体水晶的光学偏振特性 (b)含微米手性晶粒凝胶玻璃的光学偏振特性 (c)含微米手性晶粒凝胶玻璃加 $1/4$ 波片的光学偏振特性 (d)含微米玻璃粉体凝胶玻璃的光学偏振特性

4. 结果与讨论

在微粒或粉体堆积的情况下,微米手性晶粒或微米玻璃粉体不透明.这是由于手性晶粒或玻璃粉体与空气界面之间存在较大的折射率差,当光经过这些堆积的手性晶粒或玻璃粉体时,会发生多次反射,从而导致透射光很快衰减,所以沿着光的入射方向几乎看不到有光出射.而将微米手性晶粒或微米玻璃粉体制成凝胶玻璃后,由于凝胶基质的折射率与微米手性晶粒或微米玻璃粉体的折射率差别很小,从而消除了空气界面反射的影响,所以当光入射到含微米手性晶粒的凝胶玻璃或含微米玻璃粉体的凝胶玻璃后,在沿着光的入射方向上可以看到有很强的光出射,由此可以检测这些出射光的偏振特性.

图 4(a)测试的是块体水晶的旋光特性,其中空心圆代表 He-Ne 激光通过 P_1 后的偏振特性,星号代表 He-Ne 激光通过 P_1 后再经过块体水晶的偏振特性,可以看出,偏振光通过水晶后偏振方向旋过了约 50° ,表明块体水晶确实是一种无机手性材料.图 4(b)测试的是含微米手性晶粒的凝胶玻璃的偏振特性.图 4(c)测试的是含微米手性晶粒的凝胶玻璃加 $1/4$ 波片的偏振特性,结果表明偏振光通过含微米手性晶粒的凝胶玻璃后,出射光转变为一种非偏振光,产生了消偏振效应.图 4(d)测试的是含微米玻璃粉体的凝胶玻璃的偏振特性,结果表明偏振光通过含微米玻璃粉体的凝胶玻璃后,仍保持其原有的偏振状态.

分析表明,水晶是一种具有手性结构的旋光物质,但同时也是一种单轴晶体.当光沿着光轴传播时,在晶体中产生两束左旋及右旋圆偏振光,由于两者传播的速度不同,出射光则表现出旋光的特征;当光垂直于光轴传播时,在晶体中产生两束线偏振光,出射光则表现出双折射的特征;当光沿着其他任意倾斜的方向传播时,在晶体中产生两束椭圆偏振光.除了在光轴附近很小的角度范围以外,水晶与普通

的单轴晶体有相同的作用.

任意偏振态的光都可以用振动方向互相垂直的两个线偏振光表示:

$$E_x = A_x \cos(\gamma + \delta_x), \quad (1)$$

$$E_y = A_y \cos(\gamma + \delta_y). \quad (2)$$

随着时间的变化,合成后电矢量末端的轨迹方程为

$$\left(\frac{E_x}{A_x}\right)^2 + \left(\frac{E_y}{A_y}\right)^2 - 2\left(\frac{E_x}{A_x}\right)\left(\frac{E_y}{A_y}\right)\cos\delta = \sin^2\delta. \quad (3)$$

用斯托克斯矢量则可以表征为

$$\begin{aligned} S_0 &= \langle |E_x|^2 \rangle + \langle |E_y|^2 \rangle, \\ S_1 &= \langle |E_x|^2 \rangle - \langle |E_y|^2 \rangle, \\ S_2 &= \langle 2E_x E_y \cos\delta \rangle, \\ S_3 &= \langle 2E_x E_y \sin\delta \rangle. \end{aligned} \quad (4)$$

在含微米手性晶粒的凝胶玻璃中,由于微晶均匀地分散在凝胶玻璃中,微晶的光轴是任意取向的,故 $\langle |E_x|^2 \rangle = \langle |E_y|^2 \rangle$;而对于 $\cos\delta$ 及 $\sin\delta$,其平均值为零,归一化后可得其斯托克斯参量为 $(1, 0, 0, 0)$.显然,这种出射光是一种非偏振光,具有自然光的特征.

对于普通的玻璃粉体,既不存在旋光特性,也不存在双折射特征,当线偏振光经过含微米玻璃粉体的凝胶玻璃后,不改变偏振态,故表现出线偏振保持的性能.

5. 结 论

将粒径为 $70\mu\text{m}$ 的晶粒均匀地分散在溶胶-凝胶体系中,通过溶胶-凝胶法所研制出的含微米手性晶粒的凝胶玻璃具有消偏振特性,而用粒径为 $70\mu\text{m}$ 的玻璃粉体制成的含微米玻璃粉体的凝胶玻璃却表现出线偏振保持的性能.由于采用溶胶-凝胶法容易在光学元件上直接成膜,故在研制出含微米手性晶粒凝胶玻璃的基础上,可以进一步研制消偏振透镜、棱镜等器件,这在一些需要均匀的、非偏振的光束传输或变换的场合,有重要的应用价值.

- [1] Mazur J et al 1992 *J. Electromagn. Wave Appl.* **6** 641
 [2] Cory H 1995 *J. Electromagn. Wave Appl.* **9** 805
 [3] Qiu R C and Lu I T 1998 *IEE Prog. Optoelectron.* **145** 155
 [4] Zhang K Q, Zhou H X and Xiao J G 2000 *2nd International Conference on ICMMT* p35

- [5] Dong J F 2001 *Acta Opt. Sin.* **21** 559 (in Chinese) [董建峰 2001 光学学报 **21** 559]
 [6] Chien M, Kim Y and Gebel H 1989 *Opt. Lett.* **14** 826
 [7] Zhang K Q and Xiao J G 1998 *Int. J. Infrared Millim. Waves* **19** 1439

- [8] Tao W D , Dong J F , Bai G R and Nie Q H 2001 *Acta Opt. Sin.* **21** 1174 [in Chinese] 陶卫东、董建峰、白贵儒、聂秋华 2001 光学学报 **21** 1174]
- [9] Tao W D , Xia H P , Bai G R , Dong J F and Nie Q H 2002 *Acta Phys. Sin.* **51** 685 [in Chinese] 陶卫东、夏海平、白贵儒、董建峰、聂秋华 2002 物理学报 **51** 685]
- [10] Tao W D , Xia H P , Dong J F , Bai G R , Nie Q H and Lu Z K 2003 *Chin. Phys.* **12** 639
- [11] Herman W N 2001 *J. Opt. Soc. Am.* **18** 2806
- [12] Hodgkinson I and Wu Q H 2001 *Advan. Mater.* **13** 889
- [13] Qian Y T 1999 *Introduction to Crystal Chemistry* (Hefei : Publishing Company of University of Science and Technology of China) p25 [钱逸泰 1999 结晶化学导论 (合肥 : 中国科学技术大学出版社) 第 255 页]

Study on fabrication of sol-gel glass containing chiral micro-crystal and its depolarization^{*}

Tao Wei-Dong¹⁾ Dong Jian-Feng²⁾ Xia Hai-Ping³⁾ Bai Gui-Ru²⁾ Lu Zu-Kang¹⁾

¹⁾ *State Key Laboratory of Modern Optical Instrumentation , Zhejiang University , Hangzhou 310027 , China*)

²⁾ *Institute of Optical Fibre Communication and Network Technology , Ningbo University , Ningbo 315211 , China*)

³⁾ *Laboratory of Photo-Electronic Materials , Ningbo University , Ningbo 315211 , China*)

(Received 22 April 2003 ; revised manuscript received 11 June 2003)

Abstract

By dry crush way , the bulk chiral crystal was smashed to chiral micro-crystal which particle size was $70\mu\text{m}$. The chiral micro-crystal was disseminated homogeneously in the gel by sol-gel process. So sol-gel glass containing chiral micro-crystal which thickness was 4 mm has been manufactured successfully. It was found that sol-gel glass containing chiral micro-crystal displayed its depolarization effect. We replaced the chiral micro crystal by glass powder which particle size was also $70\mu\text{m}$, and manufactured the sol-gel glass containing glass powder by the same way. It was found that the sol-gel glass containing glass powder displayed its polarization-held characteristic. The cause was analyzed.

Keywords : chiral micro crystal , sol-gel , depolarization

PACC : 7000 , 7855

^{*} Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 60307003) , the Natural Science Foundation of Zhejiang Province , China (Grant No. 602153) , and the Scientific Research Funds from the Education Bureau of Zhejiang Province , China (Grant Nos. 20010231 and 20020426) .