

文章编号: 0253-2239(2005)05-670-3

石英晶体旋光性的温度效应测试研究

苏富芳 吴福全*

(曲阜师范大学激光研究所, 曲阜 273165)

摘要: 为了测试温度对石英晶体旋光性的影响,采用陶瓷平板型半导体制冷器件作为温控器,设计、建立了石英晶体旋光性温度效应的测试系统,对石英晶体旋光特性的温度效应进行了测试研究:在 $-10\sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内,从实验上测试了石英晶体的旋光角随温度的变化。实验结果表明:对于确定的单色光,随着温度的升高石英晶体的旋光率增大。根据测试结果,通过求解塞耳迈耶尔方程和四次拟合的方法,得出了塞耳迈耶尔方程的常数与温度的关系式,从而可以得出任意温度下不同波长对应的石英晶体的旋光率。

关键词: 晶体光学; 旋光率; 塞耳迈耶尔方程; 温度常量

中图分类号: O436 文献标识码: A

The Research of Thermal Effect on the Rotatory Power of Quartz

Su Fufang Wu Fuquan

(Laser Institute, Qufu Normal University, Qufu 273165)

Abstract: Using ceramic plate semiconductor refrigerator as temperature control unit the thermal effect of the rotatory power of quartz crystal is investigated. The testing system for the thermal effect of the rotatory power of quartz crystal is designed and the rotatory power at different temperature ranging from -10 to $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ is measured. The results show that, for given homogeneous light, the rotatory power increases with increasing temperature. Through Sellmeier equation and quartic fit method, the relation of Sellmeier equation's coefficient to temperature is calculated, thereby the rotatory power of quartz crystal at different wavelength and random temperature can be obtained.

Key words: crystal optics; rotatory power; Sellmeier equation; temperature constant

1 引 言

温度对器件和仪器的影响是普遍存在的^[1~3],石英晶体的旋光性也受温度的影响。在所有的天然双折射材料中,石英是分布最广的一种,其应用也比较广泛。就当前而言,人工生长石英晶体的技术已非常成熟,在我国已形成一个庞大的产业,石英晶体可以用来制作石英振子、偏光器件、延迟器件^[4,5]以及旋光器件。旋光性是石英晶体重要的性质之一,由石英晶体制作的旋光器件在很多方面都有重要的应用。就目前的资料而言只给出了石英晶体在室温下的旋光率,而对于应用而言,则需要知道其在不同温度下的旋光率。因此我们对石英晶体旋光性的温度效应进行研究,以得出石英晶体的旋光率与温度

和波长的关系无疑是有现实意义的。

2 测试原理与测试系统

当一束单色平面偏振光通过某些介质时,其偏振面逐渐转动,旋转的角度与材料的厚度成正比,这种效应叫做旋光性^[6,7]。用旋光率 α 来描述晶体旋光性的强弱,定义为单色平面偏振光在晶体中沿晶体光轴方向传播单位长度后振动面转过的角度,即

$$\alpha = \varphi/d, \quad (1)$$

其中 d 是光在晶体中传播的距离, φ 是光的振动面转过的角度, α 是波长的函数。由于石英晶体沿着光轴方向的线膨胀系数 $\gamma = 7.97 \times 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$,所以当对石英晶体进行加温或降温过程时,(1)式应该把厚

作者简介: 苏富芳(1977~),女,山东泗水人,山东大学博士研究生,主要从事偏光技术的研究。

* 通信联系人。E-mail: fqwu@mail.qfnu.edu.cn

收稿日期: 2004-06-14; 收到修改稿日期: 2004-10-09

度的变化也考虑进去。即(1)式应变为：

$$\alpha = \varphi / (d + \gamma \Delta T), \quad (2)$$

其中 ΔT 是温度的变化量。石英晶体的旋光性和色散性都很强。当一束单色平面偏振光正入射到石英晶体时，只要测出通过石英晶体后平偏振面旋转的角度 φ ，就可以得出旋光率 α 。

根据上述原理，我们组建了温度对石英晶体旋光性影响的测试系统。实验装置如图 1 所示。由激光器产生的单色光经起偏镜起偏，线偏振光正入射进入检偏器，检偏器放在读数精度为 $5''$ 的测角仪上。检偏器后放有衰减片和光电倍增管。首先旋转检偏器使光电倍增管所测的光强最小，即使起、检偏器处于正交位置。记下这时测角仪上的读数 φ_1 。然后在起偏器和检偏器之间放入待测石英晶体，使通过起偏器的线偏振光正入射进入待测石英晶体，待测石英晶体放在由精密温控系统控制的平台上，平台上加有保温盒，温控系统的平台温度变化范围是 $-30 \sim 80 \text{ }^\circ\text{C}$ ，盒内空间的温度范围是 $-10 \sim 60 \text{ }^\circ\text{C}$ 。通过预先设定可以在每一个温度点 T 控制空间温度在 $T \pm 0.1 \text{ }^\circ\text{C}$ 。保温盒左右两侧留有通光孔，以使得激光通过。另外保温盒上方留有孔，以便外置温度表可同时测量保温盒内的空间温度。经石英晶体出射的平面偏振光正入射到检偏器上，这时再旋转检偏器使光电倍增管所测的光强最小，记下这时测角仪上的读数 φ_2 ，所以石英晶体的旋光角为 $\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ 。根据(2)式就可以得出石英晶体的旋光率。加衰减片是为了避免光太强时对光电倍增管造成损坏。当检偏器旋转至消光位置时将衰减片移出光路，以提高测量精度。

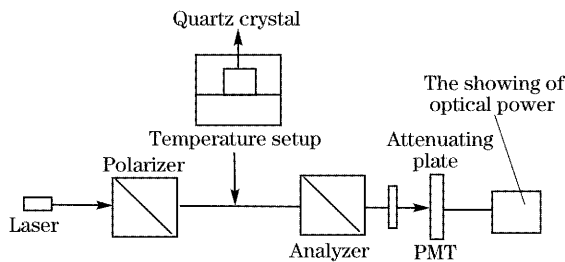


图 1 实验装置图

Fig. 1 The experimental setup

3 旋光性的测试结果与塞耳迈耶尔方程温度常数

为了精确研究温度对石英晶体旋光性的影响，我们分别对四块不同厚度的石英晶体在不同的波长

下做了温度测试，表 1 是测出的石英晶体旋光率的平均值。

表 1 石英晶体在不同波长和温度下的旋光率 ($^\circ/\text{mm}$)

Table 1 The rotatory power ($^\circ/\text{mm}$) of quartz at different wavelength and temperature

Temperature / $^\circ\text{C}$	670 nm	632.8 nm	532 nm	473 nm
-10	16.403	18.576	26.787	34.585
0	16.425	18.598	26.826	34.636
10	16.454	18.624	26.864	34.709
20	16.498	18.672	27.052	34.940
30	16.530	18.699	27.115	34.975
40	16.558	18.726	27.160	35.027
50	16.586	18.755	27.186	35.076
60	16.636	18.796	27.221	35.129

就目前而言，还没有一个可用以计算石英晶体（以及其他旋光材料）旋光率与温度有关的关系式；我们借鉴晶体折射率的塞耳迈耶尔（Sellmeier）方程^[8,9]，根据我们测得的石英晶体在不同温度不同波长下的旋光率，以得出能在我们实验测试的温度点计算旋光色散的关系式。我们使用修正的塞耳迈耶尔方程：

$$\alpha = A + \frac{B}{\lambda^2 - C} - D\lambda^2, \quad (3)$$

式中 A 、 B 、 C 、和 D 是温度系数，光波长 λ 以 nm 为单位。我们利用表 1 中的测试数据，利用 Matlab 程序^[10]，算出了几个测试温度点的塞耳迈耶尔方程温度常数如表 2 所示。

表 2 不同温度下的塞耳迈耶尔方程的温度常数

Table 2 The temperature constants of Sellmeier equation at different temperature

Temperature / $^\circ\text{C}$	$A / (10^2)$	$B / (10^8)$	$C / (10^4)$	$D / (10^{-4})$
-10	-3.251	1.789	10.31	-1.714
0	-3.353	1.810	10.26	-1.840
10	-3.364	1.807	10.32	-1.879
20	-4.432	2.022	9.686	-3.143
30	-5.002	2.145	9.280	-3.812
40	-5.167	2.181	9.187	-4.011
50	-5.005	2.147	9.324	-3.831
60	-5.002	2.143	9.369	-3.872

根据以上所得几个温度对应的塞耳迈耶尔方程的常数值，我们采用四次拟合的方法求出了 A 、 B 、 C 和 D 四个常数与温度的关系式：

$$A = -311.87457 - 2.75492T - 0.35441T^2 + 0.01061T^3 - 7.99432 \times 10^{-5}T^4,$$

$$B = 1.76092 \times 10^8 + 5.31675 \times 10^5 T + 7.1668 \times 10^4 T^2 - 2.090 \times 10^3 T^3 + 15.35985 T^4,$$

$$C = 1.04049 \times 10^5 - 130.6369T - 22.26345T^2 + 0.62473T^3 - 0.00442T^4,$$

$$D = -1.57039 \times 10^{-4} - 3.42124 \times 10^{-6}T - 4.1859 \times 10^{-7}T^2 + 1.2732 \times 10^{-8}T^3 - 9.75758 \times 10^{-11}T^4, \quad (4)$$

在 $-10 \sim 60 \text{ }^\circ\text{C}$ 温度范围和 $470 \sim 670 \text{ nm}$ 波长范围,通过(3)式、(4)式可以很容易地求出任意温度下各波长对应的石英晶体的旋光率。我们做出的石英晶体在 $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 的色散曲线如图2曲线B所示。曲线C为从光学手册上查到的旋光率的值^[11];虽然光学手册上没有给出相应的温度,但可以看出,在该范围内,两条曲线符合得很好。

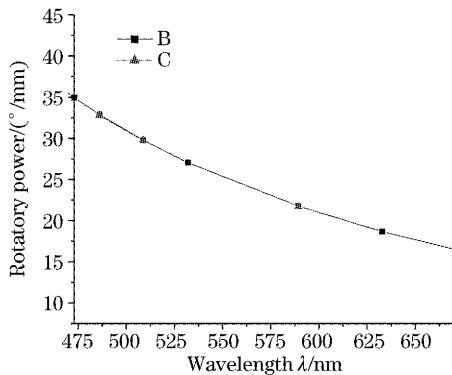


图2 石英晶体在 $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 时的色散曲线

Fig.2 The curve of rotatory dispersion of quartz crystal at $20 \text{ }^\circ\text{C}$ temperature

4 结 论

测试结果表明:对于同一波长,石英晶体的旋光率随着温度的升高而增大。对于同一温度变化,旋光率的变化随波长的减小而增加。我们通过四次拟合确定了塞耳迈耶尔方程中四个常数与温度的关系,因此可以计算在任意温度下石英晶体的旋光色散。

参 考 文 献

- Zheng Xiaoping, Liao Yanbiao, Lai Shurong *et al.*. Influence of temperature of fiber-optic voltage sensor[J]. *Acta Optica Sinica*, 1997, **17**(10): 1385~1388 (in Chinese)
郑小平,廖延彪,赖淑蓉等. 温度对光纤电压传感器测量精度影响的研究[J]. *光学学报*, 1997, **17**(10): 1385~1388
- Zheng Xiaoping, Liao Yanbiao. Temperature characteristic of high voltage fiber optic sensor[J]. *Acta Optica Sinica*, 2000, **20**(12): 1684~1687 (in Chinese)
郑小平,廖延彪. 光纤电压传感器温度特性的研究[J]. *光学学报*, 2000, **20**(12): 1684~1687
- Zheng Xiaoping, Liao Yanbiao. A novel fiber-optic sensor for the simultaneous measurement of voltage and temperature[J]. *Chin. J. Lasers*, 1997, **A24**(11): 997~1002 (in Chinese)
郑小平,廖延彪. 一种新型的电压温度双参量光纤传感器[J]. *中国激光*, 1997, **A24**(11): 997~1002
- Cai Xijie, Xu Faming, Lin Zunqi *et al.*. An assemble of a half-wave plate and polarizers for precision controlled attenuator[J]. *Chin. J. Lasers*, 1999, **26**(1): 47~51 (in Chinese)
蔡希洁,许发明,林尊琪等. 用于精密衰减控制的半波片和偏振片组合装置[J]. *中国激光*, 1999, **26**(1): 47~51
- Hou Jie, Yang Kuntao, Wu Li *et al.*. Study of infrared broadband compound waveplate[J]. *Chin. J. Lasers*, 2004, **31**(3): 281~283 (in Chinese)
侯杰,杨坤涛,吴励等. 红外复合宽带波片的研制[J]. *中国激光*, 2004, **31**(3): 281~283
- Xiao Dingquan, Wang Min. *Crystallophysics* [M]. Chengdu: Sichuan University Press, 1989. 150~152 (in Chinese)
肖定全,王民. 晶体物理学[M]. 成都: 四川大学出版社, 1989. 150~152
- Liao Yanbiao. *Physical Optics* [M]. Beijing: Electronic Industrial Press, 1986. 246~247 (in Chinese)
廖延彪. 物理光学[M]. 北京: 电子工业出版社, 1986. 246~247
- Zhengdong Zeng, Hongyuan Shen, Miadiang Huang *et al.*. Measurement of the refractive index and thermal refractive index coefficients of Nd:YAP crystal[J]. *Appl. Opt.*, 1990, **29**(9): 1281~1286
- Gorachand Ghosh. Sellmeier coefficients for the birefringence and refractive indices of ZnGeP₂ nonlinear crystal at different temperatures[J]. *Appl. Opt.*, 1998, **37**(7): 1205~1212
- Yin Zeming, Ding Chunli. *Mastery MATLAB 6* [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2000 (in Chinese)
尹泽明,丁春利. 精通 MATLAB6[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000
- Li Jingzhen. *Optical Hand Book* [M]. Xi'an: Science and Technology Press, 1984. 601 (in Chinese)
李景镇. 光学手册[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1984. 601