

BiB₃O₆ 晶体主轴折射率及其温度系数

黄凌雄 张戈* 黄呈辉 魏勇 位民

(中国科学院福建物质结构研究所, 福州 350002)

摘要 利用自准直法, 在 30℃ 到 170℃ 温度范围内分别测量 0.4880 μm、0.6328 μm、1.0640 μm、1.3414 μm 等波长下 BiB₃O₆ (BIBO) 晶体的主轴折射率. 得到不同温度下的 Sellmeier 方程及各主轴折射率的温度系数. 计算了 1.0795 μm 下 BIBO 晶体的主轴折射率. 与实验测量的结果进行比较, 两者的差异不大于 2×10⁻⁴.

关键词 晶体光学; BIBO 晶体; 折射率测量; 自准直法

中图分类号 O0734+.2 **文献标识码** A

0 引言

BiB₃O₆ (BIBO) 是一种性能优良的新型硼酸盐类非线性光学材料^[1~3]. 最近在研究中获得的进展已经能够生长出高质量的大块 BIBO 晶体. 我国的山东大学已生长出 30 mm×30 mm×40 mm、质量接近 100 g 的 BIBO 晶体^[4]. 为了评价该晶体的光学性能, Hellwig 等^[5,6] 测量了 BIBO 的线性和非线性光学性能, 并给出了 BIBO 晶体的折射率, 但是没有给出 BIBO 晶体的折射率同温度之间的对应关系.

自准直法是一种精确测量晶体折射率方法, 人们曾利用该法测量了 LiNbO₃、Nd:YAlO₃、KTP、YVO₄、Nd:GdVO₄、Nb:KTP、绿宝石等晶体的折射率^[7~13], 测量准确度可达 2×10⁻⁴.

本文采用自准直法测量了福晶公司生长的 BIBO 晶体在 30℃ 到 170℃ 之间的折射率, 并拟合得到色散

的 Sellmeier 方程及折射率温度系数, 利用拟合结果计算得到其他波长的折射率, 误差小于 2×10⁻⁴.

1 测量方法

BIBO 是一种低对称性晶体, 属单斜晶系, 相应的主折射率有 3 个. 测量所用的 BIBO 晶体是由福晶公司采用顶部籽晶法生长的高光学质量单晶, 重量达 150 g. 在自准直法测量 BIBO 晶体的折射率时, 沿光学主轴方向 (偏离光学主轴的角度小于 3′) 切割出两个 Littrow 棱镜: 棱镜 I 为 Z 切向, 两个直角边分别沿 X、Y 方向, 长度分别为 7.98 mm、10.08 mm; 棱镜 II 为 Y 切向, 两个直角边分别沿 X、Z 方向, 长度分别为 7.63 mm、10.00 mm. 每个 Littrow 棱镜的斜面及与锐角相邻的直角面抛光, 抛光面的平面度优于 λ/4, 并在其中一个直角面上镀银反射膜 (见图 1).

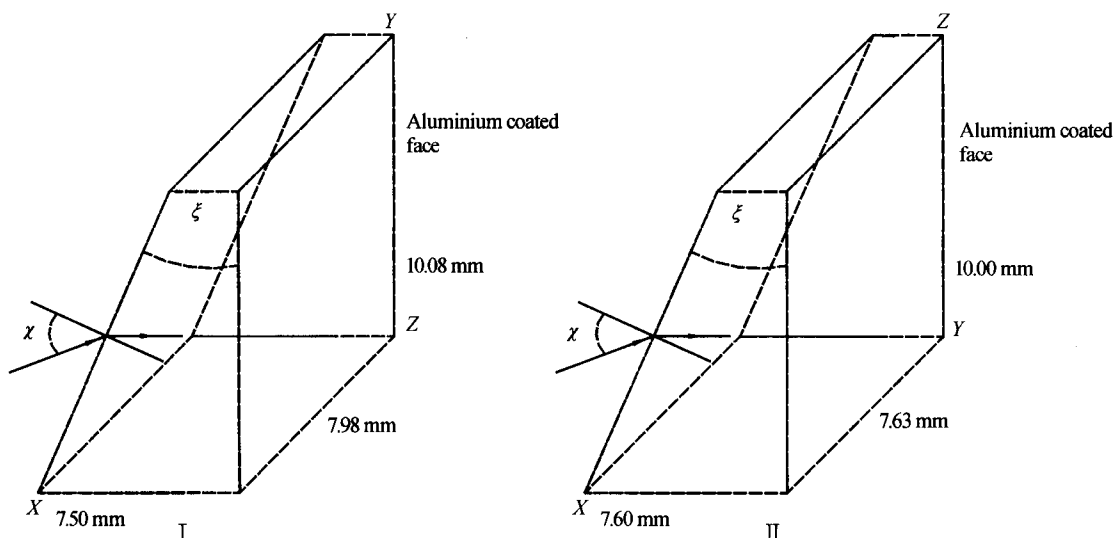


图 1 测量用晶体棱镜
Fig. 1 Measured prism

实验中将 BIBO 晶体制成的 Littrow 棱镜放在温度波动小于 ±0.1℃ 的炉子内, 炉子透光部位开一窗口, 其他部位用绝热材料包裹, 晶体放置于炉子中部,

在测量温度下保温 4 h 以保证温场的均匀性. 该炉子置于准确度为 2 弧秒的 32 J 测角仪的平台上, 利用光强稳定的 0.4880 μm 的 Ar^+ 激光、0.6328 μm 的 He-Ne 激光、1.0640 μm 和 1.3414 μm 的钕激光做测量光源, 保证了自准直位置的判别准确度.

当作为测量光源的激光以最小偏向角 χ_i 射向 Littrow 棱镜的斜面时, 偏振方向不同的快光和慢光由于其折射率不同分解成传播方向不同的两束光. 当其中任何一束光在镀银面反射后, 沿着原光路返回, 此时偏振方向沿主轴方向, 满足公式

$$n_i = \sin \chi_i / \sin \xi_i, \quad (i=x, y, z) \quad (1)$$

式中 ξ_i 为棱镜的顶角, n_i 为相应偏振光的折射率.

2 测量结果

实验中为了便于温度控制和数据分析, 测量温度采用 30 $^\circ\text{C}$ 、70 $^\circ\text{C}$ 、120 $^\circ\text{C}$ 和 170 $^\circ\text{C}$ 四个温度, 测量 BIBO 晶体在 0.4880 μm 、0.6328 μm 、1.0640 μm 和 1.3414 μm 的主轴折射率, 测量结果在表 1 中给出.

表 1 BIBO 晶体的主轴折射率测量值

$\lambda/\mu\text{m}$		30 $^\circ\text{C}$	70 $^\circ\text{C}$	120 $^\circ\text{C}$	170 $^\circ\text{C}$
0.488	n_x	1.7969	1.7972	1.7982	1.7990
	n_y	1.8299	1.8297	1.8299	1.8299
	n_z	1.9757	1.9755	1.9755	1.9755
0.6328	n_x	1.7768	1.7771	1.7778	1.7784
	n_y	1.8064	1.8062	1.8061	1.8060
	n_z	1.9460	1.9456	1.9457	1.9454
1.064	n_x	1.7575	1.7577	1.7581	1.7587
	n_y	1.7840	1.7836	1.7833	1.7833
	n_z	1.9171	1.9167	1.9165	1.9160
1.3414	n_x	1.7519	1.7522	1.7526	1.7531
	n_y	1.7773	1.7770	1.7767	1.7766
	n_z	1.9086	1.9083	1.9080	1.9078

折射率与波长的关系可由 Sellmeier 方程描述

$$n_i^2 = A_i + [B_i/\lambda^2 - C_i] - D_i\lambda^2, \quad i=x, y, z \quad (2)$$

由表 1 中各波长的折射率可解得 Sellmeier 方程常量 A_i 、 B_i 、 C_i 和 D_i , 式中 λ 为相应测量光源的波长, 波长单位为 μm . 表 2 中给出了这些常量各温度下的计算值.

表 5 由 Sellmeier 方程算得的不同波长折射率与 Hellwig 测量得的折射率的比较

Wavelength/ μm	n_x	n_x^*	Δn_x	n_y	n_y^*	Δn_y	n_z	n_z^*	Δn_z
0.48000	1.7986	1.7983	3E-4	1.8320	1.8316	4E-4	1.9782	1.9784	-2E-4
0.54607	1.7868	1.7865	3E-4	1.8180	1.8180	0	1.9607	1.9606	1E-4
0.58765	1.7813	1.7811	2E-4	1.8118	1.8118	0	1.9528	1.9526	2E-4
0.64385	1.7758	1.7756	2E-4	1.8053	1.8053	0	1.9446	1.9444	2E-4
0.70652	1.7711	1.7709	2E-4	1.7999	1.8000	-1E-4	1.9376	1.9374	2E-4
0.85211	1.7639	1.7637	2E-4	1.7915	1.7915	0	1.9267	1.9266	1E-4
1.01398	1.7587	1.7585	2E-4	1.7855	1.7854	1E-4	1.9190	1.9190	0
1.52958	1.7487	1.7485	2E-4	1.7734	1.7732	2E-4	1.9038	1.9038	0

* Hellwig 等测量得到的主折射率.

表 2 30-170 $^\circ\text{C}$ 范围内 BIBO 晶体的 Sellmeier 方程的参量

		30 $^\circ\text{C}$	70 $^\circ\text{C}$	120 $^\circ\text{C}$	170 $^\circ\text{C}$
n_x	A	3.0730	3.0737	3.0739	3.0761
	B	0.03277	0.03299	0.03392	0.03381
	C	0.03164	0.03086	0.02952	0.03112
	D	0.01244	0.01234	0.01202	0.01220
n_y	A	3.1673	3.1649	3.1626	3.16398
	B	0.03728	0.03783	0.03884	0.03786
	C	0.03672	0.03561	0.03319	0.03710
	D	0.01657	0.01599	0.01555	0.01625
n_z	A	3.6507	3.6491	3.6482	3.6404
	B	0.05355	0.05337	0.05430	0.05695
	C	0.03031	0.03161	0.02884	0.02449
	D	0.02121	0.02091	0.02145	0.01825

由各温度下的折射率数据, 可通过线性拟合得到 BIBO 晶体主折射率的折射率温度系数, 见表 3.

表 3 BIBO 晶体的折射率温度系数

$\lambda/\mu\text{m}$	0.488	0.6328	1.064	1.3414
$\Delta n_x/\Delta t(\times 10^{-5})$	1.607	1.209	0.864	0.828
$\Delta n_y/\Delta t(\times 10^{-5})$	0.014	-0.279	-0.498	-0.502
$\Delta n_z/\Delta t(\times 10^{-5})$	-0.111	-0.357	-0.731	-0.601

根据表 2 得到的 Sellmeier 常量, 利用方程 (2) 计算 1.0795 μm 波长下 BIBO 晶体在不同温度时的主折射率, 与实验所获得的数据进行验证, 比较结果在表 4 中给出. 从表中看到计算得到的主折射率与实验所测得的主折射率相当吻合, 两者间最大差异为 2×10^{-4} , 处于测量误差范围内.

表 4 BIBO 晶体折射率测量值与计算值的比较

		30 $^\circ\text{C}$	70 $^\circ\text{C}$	120 $^\circ\text{C}$	170 $^\circ\text{C}$
n_x	Calculated value	1.7571	1.7574	1.7578	1.7583
	Measured value	1.7571	1.7575	1.7578	1.7583
n_y	Calculated value	1.7836	1.7832	1.7829	1.7829
	Measured value	1.7835	1.7833	1.7830	1.7829
n_z	Calculated value	1.9166	1.9161	1.9160	1.9155
	Measured value	1.9166	1.9162	1.9158	1.9154

同时, 还计算了 30 $^\circ\text{C}$ 若干波长下 BIBO 的主折射率与 Hellwig 等测量得到的室温下主折射率进行比较 (见表 5). 计算得到的主折射率值与 Hellwig 等测量得到的主折射率相当接近.

3 结论

采用自准直法测量了 BIBO 晶体在 30~170℃ 温度范围内不同波长的折射率,并计算了相应的 Sellmeier 方程及折射率温度系数. 另外还计算了 1.0795 μm 波长的折射率,与实验测量值进行比较,最大偏差为 2×10^{-4} . 利用 Sellmeier 方程计算了 30℃ 时不同波长下的折射率,与文献[5,6]等测量的室温下折射率数据非常接近.

参考文献

- 1 田丰,解慧明,陈浩伟,等. 半导体激光端泵腔内倍频 Nd : YVO₄/LBO 连续波 8 W 绿光激光器. 光子学报,2004, **33**(6):651~653
Tian F, Xie H M, Chen H W, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(6):651~653
- 2 郑权,陈颖新,钱龙生. LD 泵浦 Nd : YAG/LBO 结构 660 nm 红光激光器. 光子学报,2003, **32**(10):1153~1155
Zheng Q, Chen Y X, Qian L S. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(10):1153~1155
- 3 高兰兰,檀慧明. 利用复合 Nd : YAG 实现 600 mW 高效紧凑型蓝光激光器. 光子学报,2004, **33**(1):8~10
Gao L L, Tan H M. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(1):8~10
- 4 董胜明,王继扬,王正平,等. 大尺寸高质量三硼酸铋单晶生长及其频率转换. 硅酸盐学报,2003, **31**(9):836~841
Dong S M, Wang J Y, Wang Z P, et al. *J Chinese Ceramic Society*, 2003, **31**(9):836~841
- 5 Hellwig H, Liebertz J, Bohaty L. Exceptional large nonlinear optical coefficients in the monoclinic bismuth borate BiB₃O₆ (BIBO). *Solid State Commun*, 1999, **109**(4):249~251
- 6 Hellwig H, Liebertz J, Bohaty L. Linear optical properties of the monoclinic bismuth borate BiB₃O₆. *J Applied Physics*, 2000, **88**(1):240~244
- 7 Shen H Y, Xu H, Zeng Z D. Measurement of refractive indices and thermal refractive index coefficients of LiNbO₃ crystal doped with 5 mole% MgO. *Applied Optics*, 1992, **31**(31):6695~6697
- 8 Zeng Z D, Shen H Y, et al. Measurement of refraction index and thermal refractive index coefficients of Nd : YAlO₃ crystal. *Applied Optics*, 1990, **29**(9):1281~1286
- 9 Liao H, Shen H Y, Zeng Z D. Accurate values for the index of refractive and the optimum phase match parameters in a flux grown KTP crystal. *Opt and Laser Technology*, 1988, **20**(2):103~104
- 10 陈振强,张戈,沈鸿元,等. 绿宝石激光晶体的主折射率及其温度系数的精确测量. 中国激光,2003, **30**(9):843~846
Chen Z Q, Zhang G, Shen H Y, et al. *Chinese Journal of Lasers*, 2003, **30**(9):843~846
- 11 黄凌雄,秦连杰,沈鸿元,等. Nd_{0.007}Gd_{0.993}VO₄ 晶体折射率和折射率温度系数的测量. 人工晶体学报,2003, **32**(2):139~142
Huang L X, Qin L J, Shen H Y, et al. *J Synthetic Crystals*, 2003, **32**(2):139~142
- 12 Shen H Y, Zheng D Y, Liu W, et al. Measurement of refractive indices and thermal refractive index coefficients for Nb : KTiOPO₄ crystal. *Appl Opt*, 1999, **38**(6):987~990
- 13 史宏声,张戈,沈鸿元. YVO₄ 晶体折射率和折射率温度系数的测量. 人工晶体学报,2001, **30**(1):85~88
Shi H S, Zhang G, Shen H Y. *J Synthetic Crystals*, 2001, **30**(1):85~88

The Principal Refractive Indices and Thermal Coefficients of BiB₃O₆ Crystal

Huang Lingxiong, Zhang Ge*, Huang Chenghui, Wei Yong, Wei Min

Fujian Institute of Research on the Structure of Matter, Chinese Academy of Science, Fuzhou 350002

Received date:2005-03-18

Abstract The principal refractive indices of BIBO crystal for wavelengths of 0.4880, 0.6328, 1.0640 and 1.3414 μm under the temperature range from 30℃ to 170℃ were measured by auto-collimation method. The Sellmeier-equations at different temperatures and thermal coefficients of refractive indices have been obtained. In order to check their reliability, the refractive indices of 1.0795 μm in different temperatures are calculated by the Sellmeier-equation and then compared with the measured values. As a result, the difference between the calculated results and the measured results is less than 2×10^{-4} .

Keywords Crystal optics; BIBO; Measurement of Refractive index; Auto-collimation method



Huang Lingxiong was born on November 1977, in Fujian, China. He received the B. S. degree from the China University Geosciences. He works in the Fujian Institute of Research on the Structure of Matter, the Chinese Academy of Sciences. His major research fields include solid-state lasers, nonlinear optics and the growth of new optic material.