

掺 Tb_2O_3 法拉第旋转玻璃*

茅森 毛涵芬 应雄信 杨来娣

(中国科学院上海光机所, 上海 201800)

提要 本文研究了掺 Tb_2O_3 的法拉第旋转玻璃的组成、物理化学性质及制备技术, 实验结果表明维尔德常数 V 随着 Tb_2O_3 浓度的增大而增大, 硼硅酸盐玻璃中 Tb_2O_3 含量大于 20% (mol) 时, 维尔德常数可以达到 $-0.0030 \text{ min/A/m} \cdot \text{cm}$, 从熔制试验结果 0.5 L 铂坩埚可以获得质量较好的 $\phi 50 \times 25 \text{ mm}$ 的样品。

关键词 法拉第旋转, 玻璃, 维尔德常数

Investigation of Tb_2O_3 -doped Faraday rotation glasses

MAO Sen, MAO Hanfen, YING Xiongxin, YANG Laidi

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai 201800)

Abstract In this paper, the composition, physical chemistry properties and preparation techniques of Tb_2O_3 -doped borosilicate and phosphate glasses for Faraday rotation glasses are studied. Experimental results show that the Verdet constant changes with the variation of terbium ions concentration, when the Faraday rotation glass contains 20% (mol) of Tb_2O_3 the Verdet constant is $-0.0030 \text{ min/A/m} \cdot \text{cm}$. Using the special preparation techniques large size sample with high quality could be fabricated in platinum crucible.

Key words Faraday rotation, glass, Verdet constant

1 引言

七十年代中期我们研究了^[1] Ce^{3+} 磷酸盐法拉第旋转玻璃^[2~5], 作为高功率激光器的光学隔离器, 八十年代初期又有人研究了 Tb^{3+} 玻璃作为法拉第旋转玻璃^[6], 但只能用于小型激光仪器。

本工作根据高功率激光系统对光学隔离器的要求, 研制大尺寸、高维尔德常数、低光吸收损耗的 Tb_2O_3 法拉第旋转玻璃。对玻璃组成、性质、制备工艺作了研究, 确定了掺 Tb_2O_3 -硼硅酸盐玻璃作为光学隔离器玻璃, 并测定了一些物理化学性质。

收稿日期: 1992年9月18日; 收到修改稿日期: 1992年12月28日。

* 本工作由 LF-12[#] 资助。

2 实验与结果

2.1 玻璃熔制实验

根据文献[7]分析,实验选择了 Tb^{3+} 硼硅酸盐和 Tb^{3+} 磷酸盐玻璃两个系统进行熔制试验,试验是用 0.1~0.5 L 铂坩埚及石英坩埚,放置在硅碳棒电炉中进行, Tb^{3+} -硼硅酸盐玻璃是将玻璃配合料直接加入到铂坩埚中,加料温度为 1380~1400 °C,加完料再升到 1400~1420 °C,澄清,并用铂搅拌器搅拌均匀,再逐步降温至出炉温度,浇注在预热的铸铁模内,送退火炉退火徐冷至室温取出样品,加工成所需形状。

掺 Tb^{3+} 磷酸盐玻璃采用两步法进行,先将玻璃配合料加入到透明的石英坩埚中化成熟料,然后浇入铂坩埚中澄清搅拌均匀,熔制温度为 1200 °C,其它工艺过程与硼硅酸盐玻璃相似。

2.2 维尔德常数的测定

一束线偏振光通过置于磁场中玻璃时,偏振面发生旋转,旋转角 θ 由下式表示

$$\theta = VHL$$

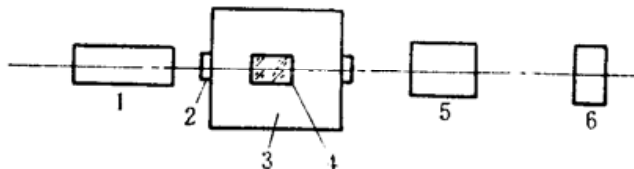


Fig. 1 Apparatus for measuring Verdet constant

- 1—He-Ne laser; 2—Polarizer; 3—Magnet;
- 4—Glass sample; 5—Faraday cell; 6—Recorder

式中 θ 为旋转角,用弧度表示; H 为磁场强度用 (A/m) 表示; L 为玻璃样品的长度 (cm); V 为维尔德常数 (Verdet Constant),对反磁性玻璃为正值,对顺磁性玻璃为负值。 Tb_2O_3 玻璃属顺磁性材料。本工作维尔德常数的测定是用自制的维尔德常数测定装置,其示意图如图 1 所示。一束 He-Ne 激光,通过置于磁场中的玻璃样品,样品加工成 $\phi 30 \times 20$ mm,及 $\phi 25 \times 50$ mm,在磁场两侧放置起偏镜与检偏镜,使氦氖激光器经起偏镜变成偏振光,通过玻璃样品后光束旋转角与玻璃样品产生的法拉第旋转角完全一致,这样检偏镜的偏转角经换算后得到维尔德常数 V ,测定结果列表 1 及图 2。

一束 He-Ne 激光,通过置于磁场中的玻璃样品,样品加工成 $\phi 30 \times 20$ mm,及 $\phi 25 \times 50$ mm,在磁场两侧放置起偏镜与检偏镜,使氦氖激光器经起偏镜变成偏振光,通过玻璃样品后光束旋转角与玻璃样品产生的法拉第旋转角完全一致,这样检偏镜的偏转角经换算后得到维尔德常数 V ,测定结果列表 1 及图 2。

Table 1 The measured Verdet constant

Number glass	Magnetic intensity (H, Gs)	Rotation angle	Verdet constant (A/m · cm)
FX-1	1000	5.356	-0.002
FX-1	1600	7.974	0.0019
FX-1	2100	10.654	-0.00191
FX-1	3000	15.414	-0.00194
FR-5	1000	8.110	-0.00305
FX-2	1000	4.325	-0.00162

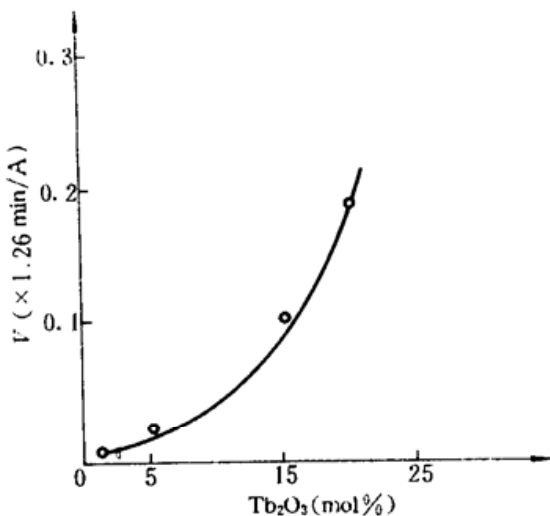


Fig. 2 Verdet constant vs Tb^{3+} ions concentration

2.3 光学、光谱性质

玻璃的光谱性质用 LAMBDA-9 型分光光度计测定,样品尺寸为 $20 \times 30 \times 2$ mm³,两端面抛光,测定结果如图 3 所示,玻璃的光学性质 N_d, N_F, N_c, v_d 用国产的 V78039 型阿贝折射仪测定,玻璃的非线性折射率 n_2 是用 A. Glass 的公式计算^[8],结果列于表 2。

Table 2 Properties of Tb³⁺ Faraday rotation glasses

Properties of glasses	FR-5	FX-1	FX-2
Verdet constant V (A/m · cm) 632.8 nm	-0.003	-0.002	-0.002
Refractive indices Nd	1.68832	1.6483	1.5591
Abbe number V _d	53.56	52.50	57.57
Non-linear index n ₂ (×10 ¹³ esu)	2.45	2.29	1.34
Density (g/cm ³)	4.28	4.01	3.41
Coeff. of linear thermal expansion a (10 ⁻⁷ /C)	50	54.4	85.0
Transformation temp. T _g (C)	756	741	528
Sag temperature T _f (C)	801	774	587
Crystallization temperature (C)	—	900~1230	—

2.4 玻璃的物理化学性质

玻璃的线膨胀系数用石英棒比较法测定,样品尺寸为 5×5×50 mm³,六面细磨, T_g 温度, T_f 温度分别由膨胀曲线求出;玻璃的析晶性能是用梯度温度炉测定,恒温时间为 1 h,测定结果列于表 2。

2.5 掺 Tb₂O₃ 硼硅酸盐玻璃的制备

2.5.1 玻璃熔制

Tb₂O₃ 法拉第旋转玻璃成分确定是用 0.1 L 铂坩埚熔制,而小样品的试制是用 0.5 L 铂坩埚,铂搅拌在较低温度下用适当的搅拌转速 60 r/min 进行搅拌,在高温下(1450 °C)时要用较快的转速 100 r/min,试验结果除了中心条纹外可以获得无条纹无气泡的玻璃样品,尺寸为 φ 50×25 mm。所用搅拌器为普通桨式搅拌器,根据试验结果,这种高温粘度较小的玻璃用螺带式搅棒更好。

2.5.2 控制原料的杂质含量

为了获得低吸收损耗的玻璃,必须有效地控制玻璃原料中有害杂质,在近红外波段有吸收的过渡金属离子有 Fe²⁺, Ni³⁺, Co³⁺, Cu²⁺, V³⁺ 等,其中 Fe²⁺ 离子在玻璃中浓度超过 5×10⁻⁵ 时,玻璃在 1.06 μm 吸收系数将超过 0.1%cm⁻¹,所以熔制 Tb₂O₃ 法拉第旋转玻璃所用原料是专门制备的,实验结果表明原料中 Fe₂O₃ 小于 1×10⁻⁵ g, CuO 小于 1×10⁻⁵ g, Sm₂O₃, Pr₂O₃, Dy₂O₃ 小于 1×10⁻⁴ g,使用这种原料在铂坩埚中熔制的玻璃能得到低吸收损耗的玻璃。

3 讨 论

3.1 从表 2 及图 2 可知 Tb₂O₃ 硼硅酸盐玻璃有较大的维尔德常数, Tb₂O₃ 磷酸盐玻璃的维尔德常数较低,所以用 Tb₂O₃ 硼硅酸盐玻璃作为法拉第旋转玻璃,其旋转角较大。

图 2 中曲线表明维尔德常数随着 Tb³⁺ 离子浓度的增大而增大,稀土离子 Tb³⁺ 在玻璃中属顺磁性材料。

3.2 图 3 表明 Tb₂O₃ 在硼硅酸盐玻璃中 Tb³⁺ 离子在 483 nm 波段有一个较弱的吸收峰,这是 Tb³⁺ 的本征吸收,根据文献[9]所报道的 Tb³⁺ 的吸收光谱位于光谱的紫外区,其峰值对应的波长为 489.0, 484.0, 372.0 nm,本文测定结果与文献报道一致。其微量差别是鉴于 Tb³⁺ 离子在不同的基质玻璃中,基质有一定的干扰。

3.3 表 2 中 FX-1 为 Tb₂O₃ 硼硅酸盐玻璃, FX-2 为 Tb₂O₃ 磷酸盐玻璃,从计算结果得到 FX-1 的 n₂ 大于 FX-2,这样 Tb³⁺ 磷酸盐玻璃的激光自聚焦效应较 Tb³⁺ 硼硅酸盐玻璃为小,由

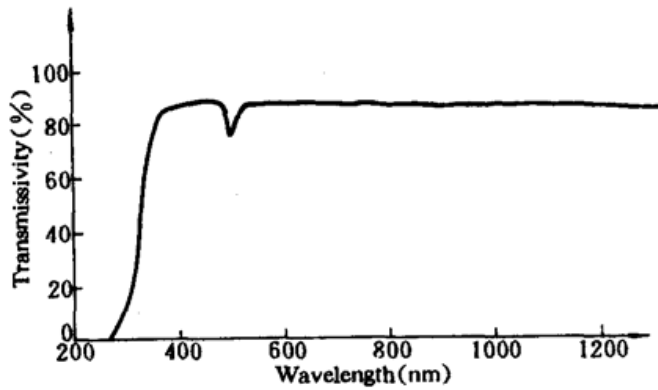


Fig. 3 Transmissivity of Tb_2O_3 borosilicate glass

于高功率激光系统所用 Tb_2O_3 玻璃,通光厚度较薄,所以自聚焦的影响不明显,且硼硅酸盐玻璃化学稳定性优于 Tb_2O_3 磷酸盐玻璃。

3.4 表 1 所测数据中 FR-5 为日本 HOYA 公司的样品,FX-1 为掺 Tb_2O_3 10% mol 的硼硅酸盐玻璃,FX-2 为掺 Tb_2O_3 10% mol 的磷酸盐玻璃,由于 Tb_2O_3 氧化物掺入浓度比 FR-5 的低一倍,所以维尔德常数测定结果亦较低。

作者对本所陈泽兴副研究员帮助测定维尔德常数及中国科学院上海冶金所阮元绩同志帮助复测维尔德常数,本所张淑兰、任贵珠帮助分析 Tb_2O_3 的纯度,表示感谢。

参 考 文 献

- 1 Mao Hanfen *et al.*, *Collect Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics*, **8**, 56(1980)
- 2 G. W. Morey, "The properties of glass", Reinhold Publishing Corporation, N. Y., 1938, 515
- 3 M. Cable, J. W. Smedley, *Glass Tech.*, **30**(1), 42(1989)
- 4 E. Snitzer, *Appl. Opt.*, **5**(10), 1499(1966)
- 5 N. F. Borrelli, *J. Chem. Phys.*, **41**, 3289~3293(1964)
- 6 Ren Zhenjie, Zheng Yutong, Nie Chunsheng, *Special Glasses*, **30**(1), 47(1989)
- 7 Yoshiyuki Asahara Higashiyamoto, USP 4165989 (1979)
- 8 A. J. Glass, Lawrence Livermore Laboratory laser program Annual Report, 256(1974)
- 9 G. E. Peterson, P. M. Bridenbath, *J. Opt. Soc. Am.*, **52**, 681(1962)