

文章编号: 1001-3806(2004)04-0394-03

# 斜入射时 BiCaInVIG 和 GdYBiIG 晶体旋光角变化的研究

王吉明, 吴福全, 封大忠, 孔伟金  
(曲阜师范大学 激光研究所, 曲阜 273165)

**摘要:** 搭建了磁光晶体的磁致偏振特性测试实验系统。利用此实验系统, 在可调磁场下, 对两种光通信用磁光晶体 BiCaInVIG 和 GdYBiIG 垂直入射与斜入射时旋光角的变化进行了测试。测试结果表明, 该两类晶体均存在 Faraday 效应的各向异性。

**关键词:** 磁光晶体; 旋光角; Faraday 效应; 斜入射  
**中图分类号:** O734 **文献标识码:** A

## The change of rotation angle for BiCaInVIG and GdYBiIG crystal at oblique incidence

WANG Ji-ming, WU Fu-quan, FENG Tai-zhong, KONG Wei-jin  
(Institute of Laser Research, Qufu Normal University, Qufu 273165, China)

**Abstract:** The optical system has been established in which the change of polarization state for magnetooptic crystal can be measured. In the system, the rotation angles for two types of magnetooptic crystals (BiCaInVIG and GdYBiIG) used in optical communication system have been measured at oblique incidence. The experiment results show that there is anisotropic distribution of Faraday effect in the magnetooptic crystal.

**Key words:** magnetooptic crystal; angle of rotation; Faraday effect; oblique incident beam

### 引 言

磁光晶体在光通信用磁光式器件如磁光调制器、磁光隔离器、磁光环形器等中是其核心组成部分之一, 它的光学特性直接关系到器件工作性能的优劣。对改良磁光式器件而言, 除对各分立器件组合及设计进行研制外, 最重要也是最有可能获得理想结果的便是对作为其核心部件之一的磁光晶体的光学特性进行研究。随着近年来国内外各种新型磁光材料的出现, 对这些新型材料的综合光学性能进行研究也越来越重要。

有关磁光晶体光学特性方面的研究, 国内外仅有少量的报道<sup>[1~5]</sup>, 特别是国内在这方面的研究尚不够系统<sup>[3,4]</sup>。由于各类磁光器件的理论基础是其表现出的磁光效应, 磁光晶体中这些效应受磁场变化的规律将会直接影响其组成的磁光器件的工作性能, 因此, 在可调磁场下, 系统地对不同磁光晶体的

物理特性进行测量和分析, 将是获得高性能磁光器件的必要途径之一。作者对两种光通信用磁光晶体 BiCaInVIG 和 GdYBiIG 倾斜前后的旋光角进行了测试与比较, 并给出理论解释; 这对于提高由该类晶体组成的磁光器件的性能具有重要的意义。

### 1 可调磁场下磁光晶体倾斜前后旋光角的测定

#### 1.1 磁光晶体磁致偏振特性测试实验系统

磁光晶体磁致偏振特性测试系统主要用于可调谐磁场下对光通信用磁光晶体的各项参数进行测量, 包括对透射比、Faraday 旋转角、消光比、退偏度等的测量。该测试系统采用了偏光测试实验中常用的消光法: 将样品置于两偏光镜之间, 对磁光晶体逐渐加大磁场, 旋转检偏镜, 利用消光位置测量检偏器转过的角度, 并记录不同磁场下透射光强的最大值和最小值, 得到 Faraday 旋转角及其它参数。

实验装置及光路图如图 1 所示。图中: 1 是 WGY 型半导体激光器; 2 是光阑; 3 是格兰-泰勒棱镜; 4 是 JG-3 型电磁铁; 5 是 WWL-3 型直流恒压恒流电源(100V/16A); 6 是待测磁光晶体样品; 7 是格

作者简介: 王吉明(1977), 男, 博士研究生, 从事光无源器件的研究。

E-mail: jimingw@you.com

收稿日期: 2003-07-21; 收到修改稿日期: 2003-11-25

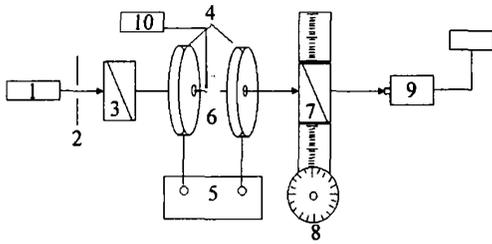


Fig. 1 Devices and beam path for measuring the performance of magneto-optic crystal

兰·汤普逊棱镜; 8 是测角仪; 9 是 AV2494 型光功率计; 10 是磁强计。

该测试系统利用 WGY 型半导体激光器做光源, 光源波长为  $\lambda = 1538\text{nm}$ ; 两只偏光镜选用原则是透射比高、消光比好并且透射光束偏离角小于  $1^\circ$ , 此处选用的是经过严格挑选的格兰·泰勒棱镜和格兰·汤普逊棱镜; 电磁铁与直流电源是专为磁光晶体磁致偏振特性测试系统定做, 能产生大范围的恒向磁场(超过  $0\text{mT} \sim 1500\text{mT}$ ), 可对磁场变化情况下磁光晶体的性能进行测定; 实验中根据实验要求对磁场仪(小磁场时的稳定性)及测角仪(测量精度)进行了改进; 在调整光路时, 根据使用的红外激光光源的特点, 采用了先利用 He-Ne 激光器的可见光波粗校, 然后换用半导体激光器精确校准光路的方法。

### 1.2 斜入射对旋光角影响的实验结果

在实验中 BiCaInVIG 晶体与 GdYBiG 晶体的样品均已镀制增透膜。图 2 是样品倾斜时光线入射的情况, 外磁场方向与入射光波方向一致。实验中, 将样品倾斜放置, 使得入射角在  $\alpha = 15^\circ$  附近。从图中可以发现, 在晶体内部, 磁场方向与光线方向不再严格一致, 两者出现了小的偏离。两类晶体折射率近似取  $n = 2.3$ , 可以得出  $\beta \approx 8.5^\circ$ 。

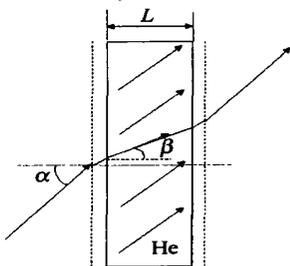


Fig. 2 Beam path when the incoming wave is oblique

1.2.1 BiCaInVIG 晶体 实验中对 BiCaInVIG 晶体样品 1 号、2 号在垂直入射、斜入射的情况的旋光角做了测试。1 号、2 号样品厚度相近, 分别为  $0.756\text{mm}$ ,  $0.753\text{mm}$ , 旋光角都在  $45^\circ$  附近。实验结果如图 3 所示。

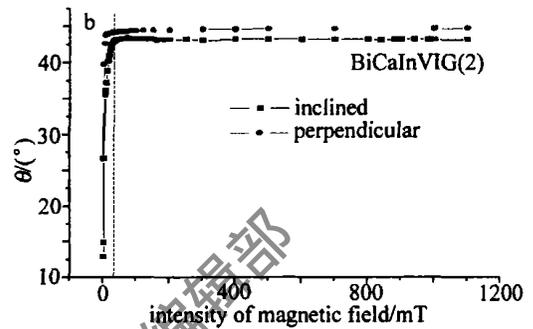
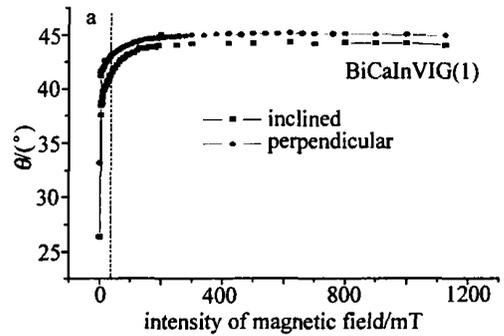


Fig. 3 Changes of angle of rotation for BiCaInVIG crystal at normal and oblique incident angle

从图中可以看出, 两样品倾斜前后, 旋光角变化规律相似。BiCaInVIG 晶体磁饱和磁场较小, 约为  $40\text{mT}$ , 因此磁场达到  $40\text{mT}$ (图中虚线位置)之后, 两样品旋光角都趋于稳定。垂直入射时, 1, 2 号晶体达到磁饱和后的旋光角约为  $\theta_1 = 45.2^\circ$ ,  $\theta_2 = 44.7^\circ$ 。斜入射时, 1, 2 号晶体的磁饱和和旋光角分别为  $\theta'_1 = 44.3^\circ$ ,  $\theta'_2 = 43.3^\circ$ , 与垂直入射时相比, 均有不同程度的变小: 1 号样品旋光角减小了约  $0.9^\circ$ , 2 号减小了约  $1.4^\circ$ 。这说明斜入射引起了旋光角的减小。

1.2.2 GdYBiG 晶体 图 4 是斜入射前后 GdYBiG 样品的旋光角随磁场变化的曲线图。GdYBiG 属复合稀土石榴石单晶, 样品沿垂直于  $[111]$  面切割,

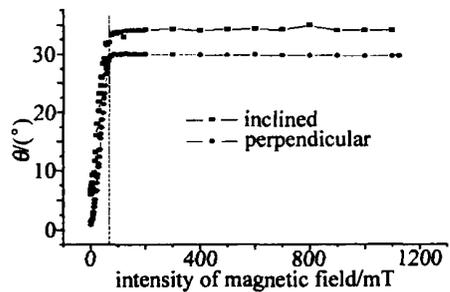


Fig. 4 Changes of angle of rotation for GdYBiG crystal at normal and oblique incident angle

厚度为  $2.702\text{mm}$ 。它的磁饱和强度较 BiCaInVIG 为大, 当外磁场为  $75\text{mT}$  左右时达到磁饱和。因此自  $75\text{mT}$  开始, 随磁场增加, 旋光角变化趋于稳定(虚线位置)。垂直入射与斜入射时的磁饱和和旋光角分别

为  $\theta = 30.0^\circ$ ,  $\theta' = 34.3^\circ$ , 斜入射时的旋光角总是大于垂直入射的情况。晶体达到磁饱和后, 斜入射前后的旋光角相差约  $4.3^\circ$ 。

## 2 理论分析

因样品均已镀制增透膜, 在斜入射时可以忽略掉表面反射对透射光的影响。根据 Faraday 旋转角公式, 垂直入射与斜入射时, 旋光角分别为:

$$\begin{cases} \theta = \pi L(n_+ - n_-) / \lambda \\ \theta' = \pi L[(n_+ - n_-) + \Delta(n_+ - n_-)] \left[ \frac{L}{\cos\beta} \right] \lambda \end{cases} \quad (1)$$

式中,  $\theta, \theta'$  分别为垂直与斜入射时的旋光角;  $n_+, n_-$  为左、右旋圆偏振光在晶体中的折射率;  $\Delta(n_+ - n_-)$  为斜入射与垂直入射时左、右旋圆偏振光折射率差值之差;  $L$  为样品厚度。

对于 BiCaInVIG 晶体的两样品, 根据对图 3 的分析, 斜入射时旋光角变小, 故可以得出两圆偏振光光程差变小。根据 (1) 式中的第 2 项,  $L/\cos\beta > L$ , 因此必有  $\Delta(n_+ - n_-) < 0$ , 这说明斜入射时左、右旋圆偏振光折射率差值变小, 从而导致斜入射方向上旋光角变小, 即 Faraday 效应减弱。将斜入射前后 1 号、2 号的旋光角分别代入到 (1) 式中两式并联立, 经计算得出 1, 2 号样品斜入射前后左、右旋圆偏振光折射率差值的变化分别为:

$$\begin{cases} \Delta(n_+ - n_-)_1 = -0.69 \times 10^{-5} \\ \Delta(n_+ - n_-)_2 = -2.13 \times 10^{-5} \end{cases} \quad (2)$$

由上式可以得出, 两样品斜入射前后两圆偏振光折射率差值变化的大小不同, 但差值均变小。变化大小的不同主要是因为不同样品间的厚度有差别, 并且样品的切割方向也稍有差别, 因此导致斜入射方向上 Faraday 旋转变化情况也不同。

对于 GdYBiG 的样品, 用以上同样的方法分析, 可以得出斜入射前后左、右旋圆偏振光折射率差值的变化为:

$$\Delta(n_+ - n_-) = 1.24 \times 10^{-5} \quad (3)$$

(3) 式说明斜入射方向上 Faraday 效应增强, 与 BiCaInVIG 晶体两样品的情况相反。并且, 由于实验

中此样品厚度远大于 BiCaInVIG 样品厚度(约是其 3.6 倍), 斜入射时样品光程变化较大, 因此, 旋光角变化也较大。

以上实验结果的分析说明: 磁光晶体斜入射后, 其旋光角发生变化, 这说明两种晶体中均存在 Faraday 效应的各向异性现象。

## 3 结论

磁光晶体存在 Faraday 效应的各向异性, 导致了斜入射前后旋光角会发生变化(增大或减小)。在装配磁光式器件过程中, 磁光晶体通光面不可能做到与入射光路严格垂直, 这将会使得其旋光角发生微小的变化, 并且, 对于同种材料的磁光晶体, 由于厚度之间的微小差异以及切割方向不完全一致, 因而旋光角变化的程度也不同。以制作高隔离度的光隔离器件为例, 通常要求磁光晶体的旋光角为  $45^\circ$ , 否则, 旋光角的微小变化都会影响到隔离度的变化。由于晶体的切割、研磨及镀制增透膜过程均会影响旋光角的大小, 故很难保证加工后晶体的旋光角为严格的  $45^\circ$ 。一个解决办法是根据磁光晶体倾斜后增大或减小的实际情况, 在装配过程中使得入射光线以一微小的入射角入射到磁光晶体, 通过微调入射角的大小使晶体的旋光角尽量接近  $45^\circ$ 。以实验中的 BiCaInVIG 晶体为例, 在装配过程中, 若晶体旋光角稍大于  $45^\circ$ , 可通过将 BiCaInVIG 晶体稍微倾斜的方法来获得更加接近  $45^\circ$  的旋光角。

### 参 考 文 献

- [1] WOLF R, FRATELLO V J, McGLASHAN-POWELL M. Thir film garnet materials with zero linear birefringence for magnetor optic waveguide devices (invited) [J]. J A P, 1988, 63(8): 3099~ 3103.
- [2] CORIANI S, JORGENSEN P, RIZZO A *et al.* Ab initio determinations of magnetic circular dichroism [J]. Chem Phys Lett, 1999, 25(1): 61~ 68.
- [3] 王光辉, 吴福全, 张波. 磁致线双折射对法拉第旋转器消光比的影响 [J]. 光电子·激光, 1999, 10(3): 218~ 220.
- [4] 王光辉, 吴福全. 磁致圆二向色性对法拉第旋转器消光比的影响 [J]. 激光技术, 1999, 23(6): 350~ 352.
- [5] MA X M, LIAN Ch H. Effect of antireflection coating on the performance of Faraday rotators [J]. Appl Opt, 1994, 33(19): 4300~ 4303.
- [6] 刘公强, 乐志强, 沈德芳. 磁光学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2001. 45~ 52.

(上接第 389 页)

- [10] 侯春风, 李师群, 李斌 *et al.* 有外加电场的光伏光折变晶体中非相干耦合亮暗屏蔽光伏孤子对 [J]. 物理学报, 2001, 50(9): 1709~ 1712.
- [11] LIU J S, SHI Sh X, LI M H *et al.* Temperature dependence of two

beam coupling in CeLiNbO<sub>3</sub> crystal [J]. Chinese Science Bulletin, 1992, 37(9): 718~ 721.

- [12] CHENG L J, PARTOVI A. Temperature and intensity dependence of photorefractive effect in GaAs [J]. A P L, 1986, 49(21): 1456~ 1458.