

文章编号: 0258-702X(2002)01-0087-04

高功率微波场中 In-BiCaVIG 晶体的 磁光记录特性

孟 洲, 胡永明, 陈 哲, 龙兴武, 倪 明

(国防科学技术大学理学院, 湖南 长沙 410073)

提要 报道了铟铋钙钒铁石榴石(In-BiCaVIG)晶体在高功率微波场中的新颖磁光记录特性。In-BiCaVIG 晶体受峰值功率约 100 MW 频率约 10 GHz 脉宽约 50 ns 的高功率微波脉冲作用后,晶体的磁旋光角发生了变化。其变化的大小与晶体通光方向上的磁场峰值大小有关,旋光角变化的方向与晶体的初始磁旋光状态有关。这种记录着高功率微波峰值磁场的旋光状态的变化可以保持几天或更长时间,能够用静磁场消除。

关键词 高功率微波场, In-BiCaVIG 晶体, 磁旋光角, 磁光记录特性

中图分类号 TQ 597.91 文献标识码 A

Magneto-optic Recording Characteristic of In-BiCaVIG Crystals in High Power Microwave Field

MENG Zhou, HU Yong-ming, CHEN Zhe, LONG Xing-wu, NI Ming

(College of Physics, National University of Defense Technology, Changsha 410073)

Abstract This paper reveals a novel magneto-optic recording characteristic of Indium Bismuth Calcium Vitriol Iron Garnet (In-BiCaVIG) crystals in high power microwave (HPM) field. The initial state of magneto-optic rotation in the In-BiCaVIG crystal changes under about 100 MW HPM pulse, 2~10 GHz in frequency and about 50 ns in width. The changing values of magneto-optic rotation are related to the peak intensities of magnetic field in the direction of optical path. The changed directions of magneto-optic rotation are related to the initial states of crystals. The changing magneto-optic rotations related to the HPM magnetic field can maintain in the crystal for several days or more unless being erased by a magnetostatic field.

Key words high power microwave field, In-BiCaVIG crystal, magneto-optic rotation, magneto-optic recording characteristic

1 引 言

掺杂的铁石榴石是一种广泛应用于制作微波器件的铁氧体材料,由于具有较大的磁光系数^[1~3],也被用于磁光传感器^[3~7]。我们对 In-BiCaVIG 晶体的磁光特性进行了研究^[8],并已将其应用于磁场光纤传感器中^[7]。近十年来,随着高功率微波技术的迅速发展,百兆瓦级高功率微波(脉宽约 30~50 ns,频率约 2~10 GHz)的潜在应用前景越来越引起人们的重视,但由于高功率微波实验难以进行,人们至今

对高功率微波场中的一些物理效应还知之甚少。本文详细报道了高功率微波场中铟铋钙钒铁石榴石(In-BiCaVIG)晶体磁致旋光特性的实验研究及其磁光记录特性。

2 测试实验

我们设计了一些实验,以研究 In-BiCaVIG 晶体在百兆瓦级微波脉冲场中的磁致旋光特性。图 1 给出了一个在线测量的实验装置,由半导体激光器

收稿日期 2000-09-18;收到修改稿日期 2000-12-05

基金项目 国家 863 激光技术青年基金。

作者简介 孟洲(1968—),女,湖南,国防科技大学理学院副教授,主要从事光纤传感技术研究。E-mail: nudtmengzhou@sina.com

(LD)发出的波长为 $1.3 \mu\text{m}$ 的线偏光耦合进一根保偏光纤,并由保偏光纤偏振器 P_1 再起偏,偏振光被一个自聚焦棒 S_1 准直进入 In-BiCaVIG 晶体,另一个自聚焦棒 S_2 将来自晶体的偏振光耦合进第二个光纤偏振器 P_2 检偏,然后由光纤传输信号到探测器。 P_1 与 P_2 的偏振方向呈 45° ,以获得最大的检测灵敏

度。In-BiCaVIG 晶体尺寸为 $2 \text{ mm} \times 2 \text{ mm} \times 0.7 \text{ mm}$ 。 P_1, P_2, S_1, S_2 和磁光晶体组成磁光探头。微波场测试实验时,只将磁光探头放入微波场区。激光器的输出功率已严格控制,稳定性优于 1% 。光束被较好地准直,从而使得高功率微波脉冲作用前后,光束在晶体上的入射点以及与光纤的耦合效率不变。

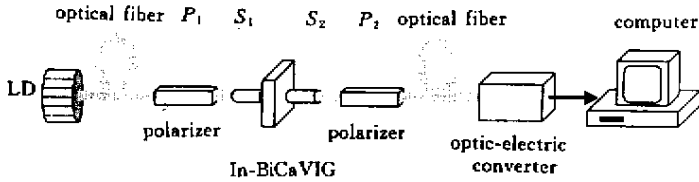


图 1 高功率微波场光学测试系统结构

Fig. 1 Diagrammatic sketch of optical detecting systems in HPM field

实验中,用光功率计测量脉冲作用前后通过 P_2 后的光功率的变化。结果表明:当无高功率微波脉冲作用时,测得的功率保持不变,而当脉冲作用过去以后,通过系统的光功率发生了 $50 \sim 500 \mu\text{W}$ 的变化。

端口的一些特定位置,当高功率微波脉冲作用后,取出晶体,放入偏振测试系统中测量晶体上输出光的新偏振面位置 θ_1 , $\Delta\theta = (\theta_1 - \theta_0)$ 即为高功率微波脉冲作用引起的晶体中磁致旋光角的变化。

为了证实系统光功率的变化是由晶体的磁旋光引起的,我们又设计了如图 2 的偏振检测实验系统。由 LD 发出的波长为 $1.3 \mu\text{m}$ 的激光经准直和偏振器 P_1 起偏后入射到晶体 C 上,再通过检偏器 P_2 和探测器 D 检测从 C 输出的光的偏振面。由探测器输出的信号送入计算机。为消除半导体激光器功率变化对测量结果的影响,采用计算机控制步进电机旋转 P_2 , 测量使探测功率达到极小值时的消光角 θ 的偏振测试方法来检测磁致旋光的大小。此偏振测试系统中入射到 C 上的偏振光的光束直径约 1 mm ,晶体的安放位置精确定位,误差小于 0.1 mm 。系统的偏振角测量精度优于 1° 。

为分析环境因素对试验的影响,对晶体和偏振检测系统进行了如下测试和检测。首先对晶体磁旋光的热稳定性进行长时间的测量。在室温范围内,所得晶体旋光角的温度系数小于 0.1°C ,这不足以对我们的测试造成影响。在测得晶体初始旋光角 θ_0 以后,如果将晶体放到无微波脉冲作用的高功率微波装置中,或发射脉冲时将晶体置于微波场区以外,再测得的旋光角无变化,即 $\Delta\theta = 0$,所以可排除这些环境因素影响的可能性。

为使测试系统工作在线性区,实验时,首先用静磁场将线偏振光通过晶体的初始偏振面位置 θ_0 调节到 0° 附近,这个过程称为测试系统的初始化。测量完 θ_0 后,再将此晶体放到高功率微波装置的输出

在晶体不同位置切下的晶片结构和缺陷分布会有微小差异,而不同批次的晶体组份还会有微量的变化,这些可能导致一致性问题。为了对晶体磁旋光特性的一致性进行研究,我们用不同批次的两片测试晶体重叠在一起,放入实验装置中。结果表明,此两片晶体中由高功率微波引起的各自的磁致旋光角的变化在测试误差范围内是一致的。

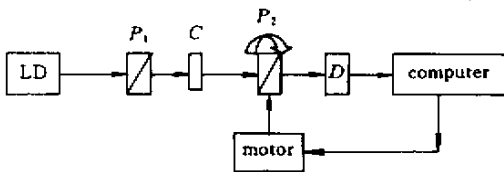


图 2 偏振测试实验装置结构

Fig. 2 Diagrammatic sketch of experimental setup for polarization measurement

3 实验结果及分析

在晶体磁旋光状态可靠并精确测量的基础上,我们对 In-BiCaVIG 磁光晶体在高功率微波脉冲作用下的磁旋光特性进行了进一步的研究,得到如下结果:

1) 晶体磁旋光角的变化与高功率微波脉冲磁场强度在晶体通光方向上峰值的大小近似成线性关

系。理论上,与晶体通光方向垂直的磁场作用在晶体上也会产生磁光效应,如双折射效应等,然而实验表明,其他效应与晶体通光方向上的磁场在晶体上产生的磁光效应相比非常微弱,以至于用图 2 和图 3 所示装置检测不出,因而可将其影响忽略。

当高功率微波脉冲功率不同时,磁旋光角变化 $\Delta\theta$ 也不同,这种变化只与晶体通光方向上磁场强度的峰值大小有关,与微波场振荡的细节无关。在我们的实验中 $\Delta\theta$ 在 $10^\circ \sim 40^\circ$ 范围内,这已大于低频场时晶体磁滞旋光角 5° ^[8],因此表明这种变化并非源于磁滞效应。当晶体置于高功率微波输出端口,使其通光方向与磁场垂直时,则测不到磁旋光角的变化,即 $\Delta\theta = 0$ 。

为了对晶体磁旋光角进行定量分析,利用微波

接收喇叭测量了以 TM_{01} 模为主模的高功率微波装置的输出脉冲功率 P_0 。同时在该模式场强的径向极值点 $r = 0.77R$ ^[9] 处 (R 为高功率微波装置的半径),用晶体测量得到 $\Delta\theta$,图 3(a) 给出 P_0 与 $\Delta\theta$ 的对应关系,用二次曲线拟合,偏差小于 5%。由 P_0 通过相应的微波理论可推算出晶体所在点上晶体通光方向磁场强度峰值的大小 B_p ,因此可得到 B_p 与 $\Delta\theta$ 的对应关系。图 3(b) 给出 B_p 与对应的 $\Delta\theta$ 的关系,数据显示两者近似成线性关系。这表明 In-BiCaVIG 晶体在高功率微波作用下,其磁旋光状态发生了变化,磁旋光角变化 $\Delta\theta$ 记录下了高功率微波脉冲磁场强度的峰值大小 B_p ,称此现象为 In-BiCaVIG 晶体的磁光记录特性。

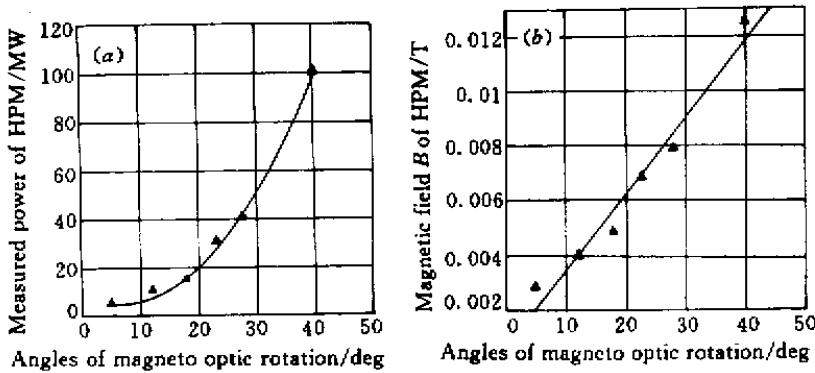


图 3 微波宽带耦合器测得的高功率微波功率 (a) 和 TM_{01} 模磁场强度 (b) 与磁致旋光角的关系

Fig.3 Relationship between the HPM power measured by the microwave broadband coupler in (a) or the magnetic field B of TM_{01} mode in (b) and the changed angle of magneto-optic rotation

2) 高功率微波脉冲过后,在除地磁场外无其他强磁场干扰的环境中, $\Delta\theta$ 是稳定的。我们曾连续四天对 $\Delta\theta$ 进行了测量,在测量误差范围内没测到变化。

3) 高功率微波引起的磁致旋光角可用静磁场消除。将晶体置于测试系统中,用磁感应强度约 0.1T 的永磁体靠近晶体,可改变晶体的旋光角。若以适当的方式移开永磁体,可消除晶体的磁致旋光,因此,可用静磁场消除晶体的磁致旋光角,称此现象为擦除过程。

4) 实验表明磁致旋光角的方向与晶体初始磁致旋光角消除方式有关。在用永磁体进行晶体初始磁致旋光角消除时,若从晶体左旋光状态消除磁致旋光,则高功率微波脉冲作用后的磁致旋光为左旋;与此类似,若从晶体右旋光状态消除磁致旋光,则高

功率微波脉冲作用后的磁致旋光为右旋。

此晶体磁光记录特性已用于高功率微波场的诊断,诊断结果的重复性很好。这种高频脉冲磁场作用下表现出的磁光记录特性有可能用于制造磁光记录材料或用于检测高频磁场脉冲。

4 结 论

观察到了 In-BiCaVIG 晶体在高功率微波场中的新颖的磁光记录特性。In-BiCaVIG 晶体受高功率微波脉冲作用后,晶体的磁旋光角发生了变化,其大小与晶体通光方向上的磁场峰值大小有关,与高功率微波场振荡的细节无关。旋光角变化的方向与晶体的初始磁旋光状态有关。这种记录着高功率微波峰值磁场的旋光状态的变化可以保持几天或更长时间,但可用静磁场消除。这一特性在高功率微波场

诊断、磁光记录材料和高频磁场脉冲探测中有潜在的应用。

参 考 文 献

- 1 Zhang Pengxiang, Liu Yulong, Wang Huangyuan *et al.*. The magneto-optic Kerr rotation of indium-substituted single crystal BCViG [J]. *Acta Physica Sinica* (物理学报), 1982, **31**(7): 865 ~ 870 (in Chinese)
- 2 Liu Yulong, Zhang Pengxiang, Li Shunfang *et al.*. Lead free single crystals of indium substituted BCViG and their magneto-optical properties [J]. *Acta Physica Sinica* (物理学报), 1992, **41**(7): 1182 ~ 1186 (in Chinese)
- 3 N. Itoh, H. Minemoto, D. Ishiko *et al.*. Optical magnetic field sensors with highlinearity using Bi-substituted rare earth iron garnets [J]. *IEEE Trans. on Magn.*, 1995, **31**(6) 3191 ~ 3193
- 4 K. B. Rochford, A. H. Rose, G. W. Day. Magneto-optic sensors based on iron garnets [J]. *IEEE Trans. on Magn.*, 1996, **32**(5) 4113 ~ 4117
- 5 M. N. Deeter, S. Milian Bon, G. W. Day *et al.*. Novel bulk iron garnets for magneto-optic magnetic field sensing [J]. *IEEE Trans. on Magn.*, 1994, **30**(6) 4464 ~ 4466
- 6 M. N. Deeter, A. H. Rose, G. W. Day *et al.*. Sensitivity limits to ferrimagnetic Faraday effect magnetic field sensors [J]. *J. Appl. Phys.*, 1991, **70**(10, Part II) 6407 ~ 6409
- 7 Meng Zhou, Hu Yongming, Chen Zhe *et al.*. Magnetic-field optical fiber sensor based on In-BiCaViG crystal [J]. *Journal of Optoelectronics · Laser* (光电子 · 激光), 1998, **9**(4) 282 ~ 284 (in Chinese)
- 8 Hu Yongming, Meng Zhou, Chen Zhe *et al.*. Effects of magnetic hysteresis and saturation effects on a magneto-optic fiber sensor [J]. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1999, **A26**(6) 511 ~ 514 (in Chinese)
- 9 Meng Zhou, Hu Yongming, Qian Baoliang *et al.*. Technical study of magneto-optic sensor for high power microwave field [J]. *High Power Laser and Particle Beams* (强激光与粒子束), 1999, **11**(6) 729 ~ 732 (in Chinese)