**文章编号:**1004-2474(2018)06-0840-03

# 一种新型偏振相关磁光隔离器的设计

郝俊祥,杨青慧,张怀武

(电子科技大学电子薄膜与集成器件国家重点实验室,四川成都 610054)

摘 要:该文介绍了一种新型的光纤型法拉第磁光隔离器设计方法,利用液相外延制备的单晶石榴石(BiTm)。 (GaFe)<sub>5</sub>O<sub>12</sub>膜作为法拉第转子,通过对光路结构的改进设计,有效降低了光隔离器体积和所需饱和外场。当外磁场 H=47×10<sup>3</sup> A/m 时,法拉第旋角可达到 45°@1 550 nm,光吸收系数为 15 cm<sup>-1</sup>@1 550 nm,光透射率为 85%@1 550 nm,整体满足设计要求。

关键词:磁光隔离器;法拉第效应;(BiTm)<sub>3</sub>(GaFe)<sub>5</sub>O<sub>12</sub>膜;光纤;液相外延

中图分类号:TN913.7;TN818;O436.4 文献标识码:A DOI:10.11977/j.issn.1004-2474.2018.06.008

# Design of a Novel Polarization-Dependent Magneto-optical Isolator

#### HAO Junxiang, YANG Qinghui, ZHANG Huaiwu

(State Key Laboratory of Electronic Thin Films and Integrated Devices, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

Abstract: The design method of a novel fiber optic Faraday magneto-optical isolator is introduced in this paper. The size of the isolator and the required saturated field are effectively reduced by using the single crystal garnet  $(BiTm)_3 (GaFe)_5 O_{12}$  film prepared by the liquid phase epitaxy as the Faraday rotator and through the improved design of the optical path structure. When the external magnetic field is  $H=47 \times 10^3$  A/m, the Faraday rotations angle is up to  $45^\circ$ @1 550 nm, the optical absorption coefficient is  $15 \text{ cm}^{-1}$ @1 550 nm, and the light transmittance is 85%@1 550 nm, which satisfied the over-all design requirements.

Key words: magnet-optic isolator; Faraday effect; (BiTm)3 (GaFe)5 O12 film; optical fiber; liquid phase epitaxy

0 引言

光纤通信是利用玻璃光纤来实现高比特率传输的技术,因光纤通讯波段1550 nm 处具有0.2 dB/km 光学损耗,使其成为光纤长距离传输的首选<sup>[1-2]</sup>。在两种不同的折射率材料之间行进时,光线会被反射回来,所以,无论何时从光源发出的能量都会有一部分被诸如光源和光纤之间的界面、光纤接头等反射回来。激光器不受反射光的影响至关重要,否则会变得极不稳定,甚至被损坏。为此,需要利用磁光材料研制的非互易法拉第旋转效应光隔离器。对于传统块状型光隔离器,因使用生长难的百微米级厚的磁光石榴石膜作为法拉第转子<sup>[3]</sup>,或采用偏振无关的设计结构<sup>[4]</sup>,使得光隔离器的成本较高,体积较大。本文主要提出了一种新型偏振相关磁光隔离器的设计,有效地降低了光隔离器体积和

所需饱和外场,且性能良好。

1 磁光隔离器工作原理

线性偏振光可以分解为两个相等的反向旋转圆 极化波。当在介质材料上平行于光束传播方向施加 磁场时,右旋圆偏振光束和左旋圆偏振光束的相速 度将出现差异,导致净相速度是非零值,使得偏振方 向随着光束传播发生线性旋转。这种现象被称为法 拉第效应或法拉第旋转。法拉第旋转角 θ<sub>F</sub> 与外磁 场 H、光程长度 L 成线性比例的性质被称为费尔德 常数(V),相关式为

$$\theta_{\rm F} = V \cdot L \cdot H \tag{1}$$

利用法拉第旋转效应来阻止反射,其中线偏振 光在沿着外加磁场方向传播时偏振方向发生旋转。 在传统偏振相关光隔离器装置中,起偏器与光源对 准,使得正向传播的源入射光偏振方向可以通过法

收稿日期:2018-02-19

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51472046,51272036;51002021,61131005)

作者简介:郝俊祥(1991-),男,河北邯郸人,硕士生,主要从事微波/光通信晶体制备及相关器件研究。通信作者:杨青薏(1979-),教授,主要从事液相外延及微波毫米波器件研究。

拉第转子旋转 45°, 假设为顺时针旋转 45°。因来自 光学系统的任何反射都将通过磁光介质传回, 且逆 着外加磁场方向, 因此, 从反射传播方向观察, 反射 光偏振方向将逆时针旋转 45°, 最终在起偏器平面 上, 反射光偏振方向相对于源入射光偏振方向是顺 时针方向旋转 90°, 即与起偏器偏振方向相垂直, 这 样该反射光就被起偏器阳挡。

2 法拉第转子的制备和性能测试

以单晶石榴石(BiTm)<sub>3</sub>(GaFe)<sub>5</sub>O<sub>12</sub> 膜作为法 拉第转子材料,该石榴石膜利用液相外延(LPE)工 艺在 GGG (111)的 3 英寸(1 in=2.54 cm)基底上 外延制得,通过控制生长过程中的过冷度来控制 生长速率最终改变膜的法拉第性能<sup>[5]</sup>。图 1 是膜 厚相同、生长速率不同时(BiTm)<sub>3</sub>(GaFe)<sub>5</sub>O<sub>12</sub>膜的 比法拉第旋角 $\theta_f$ 的测试曲线,测试波长1550 nm, 光轴垂直于膜面。由图可见,随着生长速率的增 加, $\theta_f$  先增大后减小。当生长速率为 0.85  $\mu$ m/ min 时, $\theta_f$  达到最大值(为 0.041 (°)/ $\mu$ m),此时所 需饱和外磁场  $H=12.57\times10^3$  A/m。虽然得到了 较大的费尔德常数(V=-3.261 (°)/A),但要满 足源线偏振光的偏振方向在垂直膜面方向达到 45°旋转,所需膜厚 h 约为 1.1 mm,对于 LPE 工艺 较难。



图 1 生长速率不同样品膜的比法拉第旋角测试曲线

图 2 是生长速率相同(0.85  $\mu$ m/min)、不同膜 厚下(BiTm)<sub>3</sub>(GaFe)<sub>5</sub>O<sub>12</sub>膜的 *M*-*H*测试曲线。由 图可以看出,随着 *h* 的增大,形状各向异性诱导的垂 直各向异性逐渐减小,越来越有利于面内磁化,当 *h*=45  $\mu$ m 时,膜的面内和面外各向异性的差异最 小。面内和面外各向异性的减小,为磁光隔离器的 法拉第转子的光路设计由面外转为面内提供了可行 性依据。



图 2 不同膜厚 h 下样品膜的 M-H 测试曲线

3 磁光隔离器的设计加工组装与测试

选用生长速率 0.85  $\mu$ m/min、厚 45  $\mu$ m 的 (BiTm)<sub>3</sub>(GaFe)<sub>5</sub>O<sub>12</sub>膜制作法拉第转子。如图 3 所 示,光轴位于面外,即平行于 GGG 基底从膜面内穿 过,纵向空气间隙深度  $l \ge 16 \mu$ m(由普通光纤内芯 直径尺寸为Ø16  $\mu$ m 决定),光程 L 可选,空气、 GGG 基底、石榴石膜的折射率分别为 1.0、1.95、 2.22。图 4 为磁光隔离器整体结构示意图,光纤接 头起到了准直和耦合的作用。



图 5 为磁光隔离器法拉第旋转角  $\theta_{\rm F}$  的测试曲 线,测试波长为 1 550 nm,选择 L=1.3 nm。由图 可见,当  $H=64 \times 10^3$  A/m 时,饱和法拉第旋转角 为 53°,超出了所需旋转角 45°;当  $H=47 \times 10^3$  A/m 时,法拉第旋角达到 45°。由式(1)可知,通过适当 调整 L 可使饱和法拉第旋转角达到设计要求所需 45°。图 6 为磁光隔离器的光吸收系数  $\alpha$  和光透射 率 T 曲线。由图可知,在 1 550 nm 下, $\alpha=15$  cm<sup>-1</sup>, T=85%,性能良好。



(上接第 839 页)

- [7] LI Y D, XIONG T, DONG L H, A new interfacial imperfection coupling model (IICM) and its effect on the facture behavior of a layered multiferroic composite: Anti-plane case[J]. European Journal of Mechanics A/Solids. 2015, 52(1): 26-36.
- [8] PANG Y,GAO J S,LIU J X. SH wave propagation in magnetic-electric periodically layered plates[J]. Ultrasonics,2014,54(5):1341-1349.
- [9] LI Y D, FENG F X, ZHAO H. Multiple interfacial cracks in a bi-layered multiferroic composite under magnetostriction or electrostriction [J]. Engineering Fracture Mechanics, 2012, 90:65-75.
- [10] LI Y D, XIONG T, DONG L H. Interfacial imperfection coupling model with application to the in-plane

### 4 结束语

本文介绍了一种新型偏振相关的磁光隔离器, 通过法拉第转子材料的制备和设计、整体测试结构 的组装和测试,证实了该结构隔离器的实用性。在 波长1550 nm 处,其具有优良的性能,整体满足设 计要求。

## 参考文献:

- [1] CUI Liang, LI Xiaoying, FAN Haiyang, et al. Photonic crystal fiber source of quantum correlated photon pairs in the 1550 nm telecom band [J]. Chin Phys Lett, 2009, 26(4): 044209.
- [2] YURCHENKO A V, GORLOV N I, ALKINA A D, et al. Research of the additional losses occurring in optical fiber at its multiple bends in the range waves 1310 nm, 1550 nm and 1625 nm long[J]. J Phys: Conf Ser, 2016, 671: 012001.
- [3] MACHIDA K, ASAHARA Y, ISHIKAWA H, et al. Magneto-optical properties of Bi-substituted epitaxial rare-earth iron garnet thick films[J]. J Appl Phys, 1978, 61(8): 3256-3258.
- [4] 杜伟, 郭阳宽, 祝连庆, 等. 一种可调节的双级偏振 无关光隔离器[J]. 光电子技术, 2015, 35(3): 184-186.
  - DU Wei, GUO Yangkuan, ZHU Lianqing, et al. An adjustable dual stage polarization independent optical isolator[J]. Optoelectronic Technology, 2015, 35(3); 184-186.
- [5] HANSEN P, WITTER K, TOLKSDORF W. Magnetic and magneto-optical properties of bismuth-substituted gadolinium iron garnet films[J]. Phys Rev B, 1983, 27(7): 4375-4383.

fracture problem of a multiferroic composite[J]. International Journal of Solids & Structures, 2015(54):31-41.

- [11] LI Y D, KANG Y L. Effects of magneto-electric loadings and piezomagnetic/piezoelectric stiffening on multiferroic interface fracture [J]. Engineering Fracture Mechanics, 2010, 77(5):856-866.
- [12] ZHONG X C, LI X F. A finite length crack propagating along the interface of two dissimilar magnetoelectroelastic materials[J]. International Journal of Engineering Science, 2006, 44(18/19):1394-1407.
- [13] LAN M, WEI P. Band gap of piezoelectric/piezomagnetic phononic crystal with graded interlayer[J]. Acta Mechanica, 2014, 225(6):1779-1794.