

# 光纤传输用的磁光隔离器

关铁梁 何钰泉

(西南应用磁学研究所)

**提要:** 本文报导了光纤通信用光隔离器的研究工作。隔离器由稀土铁石榴石法拉第旋转器及两只方解石棱镜组成。在波长为 1.15 微米时, 器件插入损耗为 2.4 分贝, 隔离比为 34.8 分贝。讨论了使用不同的复合稀土铁石榴石材料及采用不依赖偏振光技术对器件性能的改进。

## Magneto-optic isolator for optical fiber transmission

Guan Tielian He Yuquan

(Southwest Research Institute of Applied Magnetism)

**Abstract:** The investigation of a magneto-optic isolator for fiber communication is reported. The isolator consists of a Faraday rotator made of rare-earth iron-garnet single crystal and two calcite prisms. Insertion loss of 2.4 db and isolation ratio of 34.8 db were obtained at 1.15  $\mu\text{m}$  wavelength. The improvement of isolator properties by using some rare-earth substituted iron-garnets and polarization-independent techniques are also discussed.

### 一、引言

近年来,随着光纤通信技术的迅速发展,光隔离器、光环行器等光学非互易器件的研究十分活跃。这些器件可以抑制光学元件后向反射对激光器输出特性的影响<sup>[1,2]</sup>,降低误码率及实现双向传输<sup>[3]</sup>。因此在光纤通信、光学数据处理及检测设备中都是必不可少的。

几年前,有不少关于在可见光及 0.8 微米波长范围内适用的非互易器件的报导<sup>[4]</sup>。最近有人发现在波长为 1.3 微米及 1.55 微米附近,光纤传输损耗出现两个极小值而且色散几乎为零<sup>[5]</sup>,因此近两年来许多国家集中精力研究并发展了 1.27~1.32 微米的光

学非互易器件<sup>[6,7]</sup>。我们认为在这个波段,某些稀土铁石榴石是最理想的旋光材料。这些材料的磁光性能,我们已在 1978 年召开的国际磁学会议上报导过<sup>[8]</sup>。在 1.15~5 微米波长范围内,这些材料有一个透射窗口,吸收系数  $\alpha$  一般可达  $10^{-1}\sim 10^{-2}$  厘米<sup>-1</sup>,法拉第旋转角  $\theta_F$  为  $2\times 10^2\sim 10^3$  度·厘米<sup>-1</sup>。目前这是其他材料无法比拟的。

作为第一阶段的工作,本文报导了我们研制的一种结构简单的磁光隔离器,并探索了提高器件性能的各种途径。

### 二、器件结构

光隔离器的原理是基于磁光法拉第效

收稿日期: 1980 年 11 月 18 日。

应, 这里不再赘述。器件结构如图 1 所示。图中 1 和 2 为透光方向长 18 毫米的偏振棱镜, 其偏振轴夹角为  $45^\circ$ 。3 和 4 为沿轴向磁化的 Sm-Co 永磁环, 内外径分别为 7 毫米和 13 毫米, 厚为 3 毫米, 用来给旋光材料提供适当的磁化场。6 为掺镓钇铁石榴石旋光材料。尺寸为  $2 \times \phi 6$  毫米, 饱和磁化强度 600 高斯。晶体两透光表面镀有减反膜。7 为非铁磁材料垫套, 用来固定晶体位置。5 为磁轭, 起会聚磁场作用。光隔离器的实体照片见图 2。

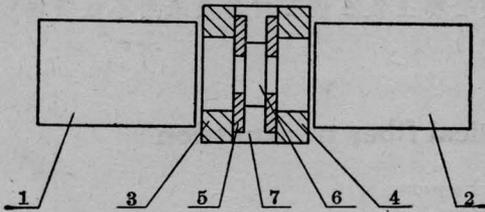


图 1 光隔离器结构简图

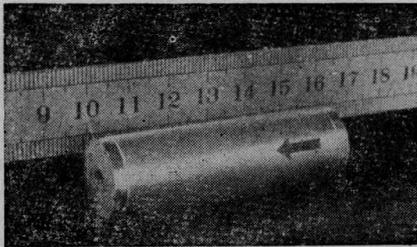


图 2 光隔离器外形照片

### 三、实验及结果

我们用红外显微镜观察并选出无包杂的钇铁石榴石晶体(GaYIG)作为旋光材料进行实验。旋光材料使光束偏振面旋转过的角度与外加磁场及材料厚度有关。为使器件插入损耗最小, 材料厚度应取在饱和磁场中, 能给出  $45^\circ$  旋转的数值。GaYIG 晶体在饱和磁化时, 法拉第旋转角为  $220 \text{ 度} \cdot \text{厘米}^{-1}$  (见表 1)。因此我们取厚度为 2.04 毫米的晶体。当两个 Sm-Co 永磁环相距 2 毫米时, 可给出强度为  $1400 \sim 1500$  高斯的磁场, 足以使旋光材料磁化到饱和。把法拉第旋转器(即图 1 中除去两个偏振棱镜的部分)放入红外自动旋

光仪中<sup>[9]</sup>。对法拉第旋转角进行精确测量, 反复修正晶体厚度, 直到使旋光仪自动读数指出  $45.0^\circ$  为止。

器件装调好后, 在图 3 所示测量系统中进行测量, 图中  $L$  是输出波长为 1.15 微米 He-Ne 激光器;  $C$  为英制 ORTEC Brookdeal 9479 型斩光盘, 斩光频率在  $1 \sim 1000$  赫芝之间可调。光束经  $C$  调制后, 通过光隔离器  $I$  进入 PbS 光敏电阻探测器  $D$ 。得到的电信号经 ORTEC Brookdeal 9452 型精密交流放大器  $A$  放大, 与斩光盘给出的参考信号一起送入相敏检波器  $P$ 。最后由 AC9/3 型直流复射式检流计  $G$  读出探测到的光束强度。此测量系统完全避免了杂散光的影响, 工作稳定可靠。

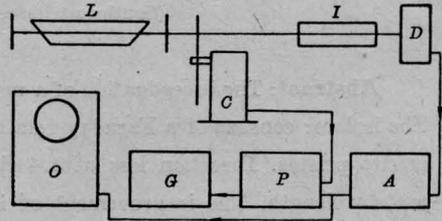
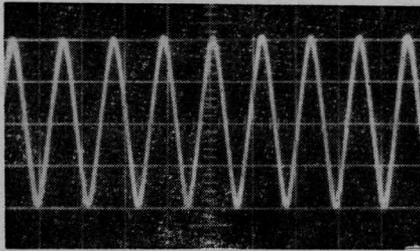


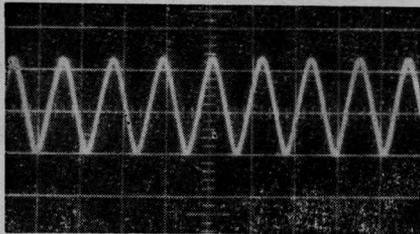
图 3 测量系统方框图

设光隔离器不在光路中直接测量光束强度时, 检流计读数为  $i_0$ 。在光路中正向及反向放置隔离器时, 测量透过光强分别为  $i_1$  及  $i_2$ 。则器件的插入损耗为  $10 \log \frac{i_0}{i_1}$  分贝, 隔离比为  $10 \log \frac{i_0}{i_2}$  分贝, 消光系数为  $\frac{i_1}{i_2}$ 。按上述定义测得器件插入损耗为 2.4 分贝, 隔离比为 34.8 分贝, 消光系数为 1600。图 4 为由监测示波器  $O$  拍下的被调制过的激光束未经光隔离器以前及透过正向放置的光隔离器以后的波形照片。图 5 为在上述相同情况下从 42BX101 型红外变象管屏幕上拍下的光束截面照片。由图可见, 经过隔离器后除强度有衰减外, 光束没有发生畸变。

实验中还分别测量了隔离器各部分引起的损耗。测量结果为: 由偏振棱镜造成的损



(a)



(b)

图4 被调制的激光束通过光隔离器以前(a)和以后(b)强度的变化



图5 激光束经过隔离器以前(上)和以后(下)的光束截面照片

耗为  $0.4 \times 2$  分贝, 材料损耗 1.5 分贝, 其他损耗 0.1 分贝。

#### 四、讨 论

为了比较使用不同的旋光材料对器件性能的影响, 我们测量了助熔剂法生长的纯钇铁石榴石、钆镨镱铁石榴石、镱钇铁石榴石和钆镨铋镱铁石榴石的吸收系数  $\alpha$  及法拉第旋转角  $\theta_F$ 。表 1 列出了在波长为 1.15 微米时, 上述材料的吸收系数及法拉第旋转角的测量值和材料的品质因数  $Q$ , 即两倍的法拉第旋

转角与吸收系数之比。品质因数越高, 对作为旋光材料越有利。

表 1 几种稀土铁石榴石的某些磁光参数

材料的标称组分	$\alpha$ (厘米 <sup>-1</sup> )	$\theta_F$ (度· 厘米 <sup>-1</sup> )	$Q = \frac{2\theta_F}{\alpha}$
$Y_3Fe_5O_{12}$	0.62	250	806
$Y_3Ga_{0.9}Fe_{4.1}O_{12}$	0.8	220	550
$Gd_{1.7}Pr_{1.3}Ga_{0.65}Fe_{4.35}O_{12}$	0.9	402	893
$Gd_{1.7}Pr_{1.15}Bi_{0.15}Ga_{0.65}Fe_{4.35}O_{12}$	1	522	1044

不难发现, 我们在上述实验中选用的旋光材料镱钇铁石榴石, 是表 1 所列几种材料中品质因数最低的一种。得到的器件性能比 1978 年报导的结果<sup>[3]</sup>有所提高。若选用表中第一种或第四种材料作旋光物质, 并减少其他光学元件的反射损失, 器件的插入损耗还可大大下降。

这里所报导的器件与入射光偏振状态有关, 即如果是自然光入射, 会造成 3 分贝的起偏损失。因此在测量光隔离器的插入损耗和隔离比时是使用线偏振光入射, 而且隔离器输入端偏振棱镜的偏振轴与入射光偏振方向一致。但光在光纤传输过程中, 偏振状态与传输距离有关<sup>[10]</sup>。因此最近有不少关于偏振无关的光学非互易器件的报导<sup>[11, 12]</sup>。其基本原理是当自然光或部分偏振光入射时, 起偏镜将其分为振动面相互垂直的  $o$  光和  $e$  光。但并不象一般尼科尔棱镜那样只利用其中一种偏振光, 而是将  $o$  光、 $e$  光分别引出, 使它们分别或一起经过法拉第旋转器、半波片或补偿板等光学元件, 最后在另一棱镜中又把它们组合起来。这一过程的逆过程是不能实现的, 因而起到了隔离作用。实际上, 把经过起偏镜后的  $o$  光和  $e$  光设法都利用起来的最初设想是由 R. C. Jones<sup>[13]</sup> 提出的。根据上述基本考虑, 我们设计了一种新的不依赖偏振光的隔离器和环行器, 并正在研究用液相外延技术生长的某些稀土铁石榴石薄膜作旋光材料的波导型器件。

上述讨论都是对 1.15 微米波长而言。当使用 1.3 微米或 1.55 微米波长时, YIG 单晶吸收系数小于  $0.03 \text{ 厘米}^{-1}$ , 器件性能会进一步提高。

### 参 考 文 献

- [1] I. Ikushima, M. Maeda; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1978, **QE-14**, 331.
- [2] A. Shibukawa *et al.*; *Electr. Lett.*, 1977, **13**, 721.
- [3] A. Shibukawa, M. Kobayashi; *Electr. Lett.*, 1978, **14**, 816.
- [4] M. Seki *et al.*; Technical papers of the topical meeting on optical fiber communication, 1979,

Washington DC, 56.

- [5] T. Miya *et al.*; *Electr. Lett.*, 1979, **15**, 106.
- [6] A. Shibukawa, M. Kobayashi; *Appl. Opt.*, 1979, **18**, 3700.
- [7] T. Matsumoto; *Electr. Lett.*, 1980, **16**, 8.
- [8] Ho Yu-chuan *et al.*; *IEEE Trans. Magn.*, 1978, **MAG-14**, 457.
- [9] 何钰泉, 关铁梁; 《磁性材料及器件》1981, No. 1, 39.
- [10] L. G. Cohen; *Bell. Syst. Tech. J.*; 1971, **50**, 23
- [11] T. Matsumoto, Ken-ichi Sato; *Appl. Opt.*, 1980, **19**, 108.
- [12] T. Matsumoto; *Trans. IECE Japan*, 1979, **J62-C**, 505.
- [13] R. Clark, Jones; *J. Opt. Soc. Am.*, 1962, **52**, 747.

## 1982年第六届全国激光学术 报告会征文通知

为活耀学术气氛, 加强激光技术交流, 促进和推动激光科研与生产应用的发展, 检阅我国两年来激光理论和激光技术方面所取得的新成就, 经中国光学学会和中国电子学会商定, 拟于 1982 年 5 月前后在安徽省召开第六届全国激光学术报告会。

会议的筹备工作委托安徽光机所、上海光机所、北京物理所、中国科技大学、南开大学、华北光电所和五机部 209 所等单位负责, 安徽光机所召集。

考虑到本届会议规模所限, 而今年下半年又已安排有关全国性的激光技术专题报告会, 因此, 拟选择下列专题作为会议主要征稿内容:

1. 激光器: 固体激光器、气体激光器、半导体激光器、可调谐激光器、超短脉冲激光器、准分子激光器、自由电子激光器、X-射线激光器等。

2. 激光光谱学: 高分辨光谱学、喇曼光谱学、分子光谱学、微微秒光谱学、激光光谱技术等。

3. 非线性光学: 强光在介质——原子、金属蒸气、等离子体和凝聚态介质中的非线性效应、四波混频位相复共轭、光学双稳态、瞬态相干效应、激光的表面非线性效应。

4. 激光参数测试技术以及激光大气传输、大气化学、激光生物、化学、物理、全息、工程应用等最新科研成果。

截稿期前已在全国专题性学术会议上交流过和在杂志上公开发表过的论文报告, 原则上不再选用, 但其中有较突出新进展者以及上述征稿范围外具有突出成果的论文报告亦可提出申请。

提出论文报告单位, 请将报告题目、作者姓名与 800 字以内的内容提要一式六份, 于 1981 年 12 月 31 日前寄安徽合肥市 25 号信箱“第六届全国激光学术报告会筹备组”, 过期不予安排。

第六届全国激光学术报告会筹备组