

偏振无关型光环行器的研究

关铁梁 何钰泉

(中国西南应用磁学研究所)

提要: 本文报导一种新型偏振无关光环行器的设计及实验结果。器件由偏振分离器、偏振组合器、法拉弟旋转器及半波片组成。对 1.37 微米不同偏振方向入射光, 器件的插入损耗为 2.8 分贝, 隔离为 18~35 分贝。

Investigation of polarization-independent optical circulator

Guan Tieliang, He Yuchuan

(Southwest Institute of Applied Magnetism)

Abstract: The design and experimental results of a new polarization-independent optical circulator are reported. It consists of a polarizing splitter, a polarizing combiner, a Faraday rotator and a half-wave plate. Insertion losses of 2.8 db and isolation of 18~35 db were obtained for different polarization directions of incident light at 1.37 μm .

一、引言

随着光纤通信技术的发展, 利用磁光法拉第效应研究光束传输的非互易现象, 已成为一个新的重要课题。某些光学非互易器件已在光纤通信中普遍使用^[1,2]。

七十年代末, T. Miya 等人^[3]报导了在波长 1.3 及 1.55 微米处, 单模光纤的材料色散与结构色散相抵消, 总色散几乎为零, 传输损耗只有 0.2 分贝/公里。我们认为某些稀土石榴石^[4]是近红外波段理想的旋光材料。基于钇铁石榴石(YIG)的磁光法拉第效应和晶体光学理论, 我们设计了一种新型偏振无关光环行器。早期报导的光环行器^[5]具有偏振相关性, 即器件的传输损耗与入射光

偏振状态有关, 因而限制了它的实际使用。为解决这一问题, 近年来开始研究偏振无关光学非互易传输, 本文给出的设计成功地解决了这一问题。

二、原理

图 1 为光环行器工作原理图, 其中 A 或 D 为偏振分离器或偏振组合器, 它们各自由两块截面分别为梯形和平行四边形的方解石棱镜组成。其光轴与图面垂直, 梯形和平行四边形棱镜用加拿大树脂胶合, 界面为 aa' 和 dd' 。方解石是光学单轴晶体。由端口 1 垂直入射的自然光将被分解为振动方向与主平面垂直的 o 光及与主平面平行的 e 光。在

收稿日期: 1983 年 4 月 27 日。

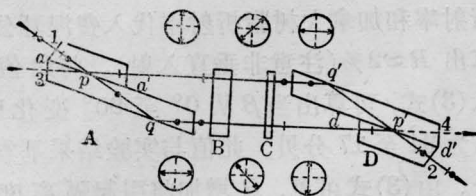


图1 光环行器工作原理图

p 处 o 光被方解石-加拿大树脂界面全反射, 并由梯形棱镜的另一侧面出射。 e 光却透过 aa' 面, 且在 q 处被方解石-空气界面全反射后, 沿与 o 光平行的方向由平行四边形出射。图 1 中还给出沿光束传播方向所视的 o 光和 e 光振动方向的变化。经过法拉第旋转器 B 后, o 光和 e 光的振动面分别转过 45° 。透过半波片 C 后, 各自的振动面又继续获得 45° 旋转。因此原偏振分离器 A 中的 o 光恰好为偏振组合器 D 中的 e 光。反之, A 中的 e 光亦为 D 中的 o 光。

若自然光由端口 2 垂直入射, 此时棱镜 D 为偏振分离器。被分开的 o 光和 e 光先后经过半波片 C 和法拉第旋转器 B 后, 偏振状态不发生任何变化, 最后由端口 3 输出。

依此类推可以看到, 光环行器的正向透射为由端口 $1 \rightarrow 2$, $2 \rightarrow 3$, $3 \rightarrow 4$ 和 $4 \rightarrow 1$, 其余情况如 $1 \rightarrow 3$, $1 \rightarrow 4$, $2 \rightarrow 1 \dots$ 则为反向隔离。

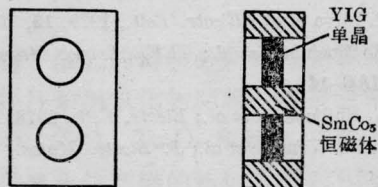


图2 法拉第旋转器

法拉第旋转器如图 2 示, 它是实现光学非互易传输的关键元件。铁石榴石法拉第旋转的机理已有专文论述^[6], 其旋转角 θ 可用下式表达

$$\theta = \alpha_F \cdot t \cdot \cos \psi \quad (1)$$

其中 α_F 为比法拉第旋转, t 为材料厚度, ψ

为磁化方向与光束方向夹角。为使器件插入损耗最小, 晶体厚度应取在饱和磁场中能给出 45° 法拉第旋转的数值。测量表明, 取工作波长为 1.37 微米时, $\alpha_F = 200^\circ/\text{厘米}$, 因此 YIG 晶体被加工成 $\phi 5 \times 2.25$ 毫米的圆柱形。在 SmCo_5 恒磁体两通光孔内, 磁场与轴向平行, 强度可达 1500 高斯。

图 3 为光环外器外形照片。

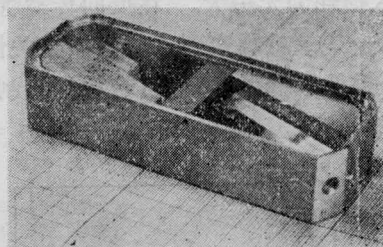


图3 光环外器外形照片

三、实验结果及分析

我们用相敏放大技术^[7]测量了环行器的传输特性。表 1 给出由不同端口入射时, 各出射端口输出光强的损耗。我们还测量了环行器各组成部分的损耗, 结果是: 法拉第旋转器的插入损耗为 0.45 分贝。偏振棱镜损耗为 2×0.8 分贝。其他由晶体厚度误差引起对 45° 法拉第旋转的偏离、棱镜加工精度及各元件的校准误差造成的损失约为 0.7 分贝。

表 1 光环行器传输特性
(1.37 微米自然光入射)

入射端	出射端			
	1	2	3	4
	分 贝			
1		3.0	32.5	26.2
2	25		2.6	31
3	38.5	23.8		2.8
4	2.8	37	23	

图 4 为不同入射偏振方向的光环行器的透过特性, 它由改变入射线偏振光的方向并

测量器件的传输损耗得出，图中给出在端口 1 和 2 之间的测量结果。由于器件结构的对称性，其他端口间的测量结果基本相同。 P_o 和 P_e 分别表示偏振分离器中 o 光和 e 光的强度。由图可见，正向传输(端口 1→2)有良好的偏振无关性。为便于比较，图中还用虚线给出偏振相关器件正向传输的理论曲线。当入射光偏振方向与所要求方向垂直时，插入损耗为无穷大。在反向传输特性中(端口 2→1)，虽观察到某些偏振相关性，但约 20 分贝的最低隔离，已可有效地抑制光纤通信中的串音。

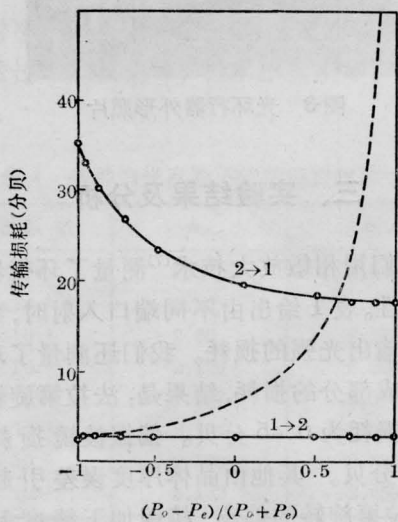


图 4 光环行器传输损耗与入射偏振的关系

反向传输中存在的某些偏振相关性主要由偏振棱镜中 e 光在方解石-加拿大树脂界面上的部分反射造成的。设这个界面对 e 光的反射率为 R ，简单的理论计算表明，由此造成的器件插入损耗 L 和隔离度 I 分别为：

$$L = -10 \log [(1-R)(1+R \cos^2 \beta)] \quad (2)$$

$$I = -10 \log [R(\sin^2 \beta + R \cos^2 \beta)] \quad (3)$$

其中 β 为入射偏振方向与偏振分离器中 e 振动方向的夹角。将 1.37 微米的方解石 e 光

折射率和加拿大树脂折射率代入费涅耳公式算出 $R \approx 2\%$ (注意非垂直入射)。将此值代入(3)式，可算出当 β 从 0° 至 90° 变化时， I 为 34 至 17 分贝，此值与实验结果基本符合。由(3)式可见， R 增加将引起隔离度下降。为进一步提高器件性能，可在梯形棱镜和平行四边形棱镜被胶合以前，先镀以对 e 光的抗反射涂层。

在某些研究光环行器的报导中^[8]，偏振分离器给出的 o 光和 e 光具有一定夹角。因而必须使用两个单独的磁体分别为两块晶体提供磁场。每块晶体都要受到非轴向磁场的影响。本文提出的偏振分离器可给出平行的 o 光和 e 光，克服了上述缺点，性能也有所提高。

由于旋光材料 YIG 在波长 1.1~4 微米范围内光吸收系数为 0.1 厘米^{-1} ，方解石及石英晶体在波长 3 微米以下光吸收也很低^[9]。因此，只要改变 YIG 晶体及半波片厚度，本文给出的设计可在 1.1~3 微米波长范围内使用。

参 考 文 献

- [1] Masataka Shirasaki *et al.*; *Appl. Opt.*, 1982, **21**, 4296.
- [2] 白崎正孝;《电子通信学会论文志》,C, 1981, **J64-C**, 60.
- [3] T. Miya *et al.*; *Electr. Lett.*, 1979, **15**, 106.
- [4] Ho Yuchuan *et al.*; *IEEE Trans. Magn.*, 1978, **MAG-14**, 457.
- [5] A. Shibukawa *et al.*; *Electr. Lett.*, 1978, **14**, 816.
- [6] S. H. Wemple *et al.*; *J. Electr. Mater.*, 1974, **3**, 243.
- [7] 关铁梁, 何钰泉;《激光》, 1981, **8**, No. 7, 11.
- [8] T. Matsumoto *et al.*; *Appl. Opt.*, 1980, **19**, 108.
- [9] [苏]И. П. 彼得洛夫, 北京玻璃研究所译;《红外光学材料手册》, 国外红外与激光技术编辑组出版, 1973 年。