

文章编号: 0258-7025(2004)Supplement-0316-03

分光比连续可调的 1×2 偏振光分路器的特性

王黎蒙, 张廷荣, 曹维敏, 张界明

(中国电子科技集团公司第二十三研究所, 上海 200437)

摘要 采用可调的法拉第旋转器,分析了偏振光分路器可调的工作原理和性能,给出了光分路器输出的 *o* 光和 *e* 光的 *CR* 表达式,得到了 $\phi_F \sim D, \phi_F \sim CR_o(CR_e), CR_o(CR_e) \sim D$ 等参量关系的计算曲线。在磁场强度 $H=79580 \text{ A/m}$ 时,位移量的调节精度可达微米量级。该分路器的 *CR* 可以在 0%~100%范围内连续调节,具有分光、衰减两种可调的功能。

关键词 光电子学; 偏振光; 法拉第旋转器; 分路器; 1×2; 分光比; 连续可调

中图分类号 TH74

文献标识码 A

Properties of 1×2 Polarizing Optical Splitter with Continuous Tunable Coupling Ratio

WANG Li-meng, ZHANG Ting-rong, CAO Wei-min, ZHANG Jie-ming

(The 23rd Research Institute, China Electronics Technology Group Corporation, Shanghai 200437, China)

Abstract The operating principle and character for optical splitter with polarization are analyzed by using tunable Faraday's rotator, the expression in ordinary and extraordinary light of coupling ratio of optical splitter are obtained, and the calculated curves for $\phi_F \sim D, \phi_F \sim CR_o(CR_e), CR_o(CR_e) \sim D$ relation parameters are given. The precision adjusted for quantity of displacement can attain to μm order of magnitude when intensity of magnetic field $H=79580 \text{ A/m}$. The coupling ratio to optical splitter will tune continuously in 0%~100% range, and it will be provided with two functions on splitting as well as attenuation.

Key words optoelectronics; polarized light; Faraday's rotator; optical splitter; 1×2; coupling ratio; continuous adjustment

1 引言

光学分路器是一种在光纤通信、光纤传感、光系统与网络技术、光通信仪器仪表和测量技术、光学信息处理、激光技术等领域内广泛使用的光学器件之一。光分路器有固定式和可变式之分,固定式光分路器通常采用相当成熟的光纤熔融拉锥技术来制造,目前该类型的光分路器在插入损耗平坦度、偏振灵敏度、工作带宽、工作效率、可靠性、稳定性、小型化等方面已达到了相当的水平,基本上能满足多种系统的多方面要求。相对而言,可变式光分路器研发的深度和广度远不如固定式光分路器,市场上实用化的产品也较为鲜见,有关的文献报道也相对较少,实际上光分路需要可调的场合还是很多,并不一定限于实验室。例如,如果光分路器在光纤通信系统和网络中可调,将极大地增加系统和网络的可变性、灵活性和多样性。从原理上讲,实现光束的分光可调有多种技术和方法。如:可变透/反射率膜片法、可变光纤耦合长度法、可调声光偏转法、可调电光偏

转法、可调磁光偏转法、可调马赫-曾德尔干涉法等。基于法拉第磁光效应,我们探讨了一种偏振光分路器分光比连续可调的新方法。

2 基本原理

图 1 所示为分光比连续可调式 1×2 偏振光分路器的原理图。图中永磁材料构成的磁环 *H* 可以水平方向左右调节移动, *Y* 为磁光材料(YIG),磁环 *H* 向右(或左)调节时,相对而言,磁光材料 *Y* 将逐步进入(或退出)磁环内部。磁光介质未进入和全部进入磁环时,法拉第旋转角分别为 $\phi_F=0^\circ$ 和 90° ,而部分进入时, ϕ_F 角在 $0^\circ \sim 90^\circ$ 之间变化。*H* 和 *Y* 组成了一个可调的法拉第旋转器,它是分光可调的关键性元件。

根据图 1 所示光路,可以写出输出的 *o* 光和 *e* 光的光强表达式:

$$W_o = W_i \times \exp[-(\alpha_i d_i + \alpha_F d_F + \alpha_{Bz} d_{Bz} + \alpha_o d_o)] \cos^2(\phi_F - \Delta\theta_{io}) \quad (1)$$

$$W_e = W_i \times \exp[-(\alpha_i d_i + \alpha_F d_F + \alpha_{Bz} d_{Bz} + \alpha_e d_e)] \cos^2(\phi_F - \Delta\theta_{ie}) \quad (2)$$

作者简介: 王黎蒙(1961-),男,中国电子科技集团公司第 23 研究所高级工程师,主要从事光纤通信方面的研究。

E-mail: l-m-wang@citiz.net

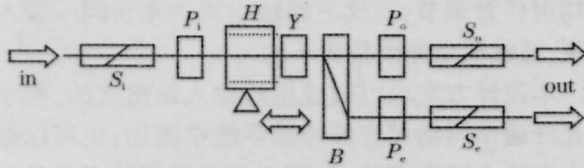


图1 可调式 1×2 偏振光分路器示意图

$P_k(k=i,o,e)$ 偏振器; H 可调磁环; Y 磁光材料(YIG); B 双折射晶体, $S_k(k=i,o,e)$ 自聚焦(GRIN)透镜

Fig.1 Schematic diagram of a 1×2 tunable optical splitter with polarization. $P_k(k=i,o,e)$ polarizer; H : tunable magnetic ring; Y : magneto-optic material (YIG); B birefringence crystal; $S_k(k=i,o,e)$: selfoc (GRIN) lens

式中 W_i 为入射光强; $\alpha_i, \alpha_F, \alpha_{B_0}, \alpha_{B_e}, \alpha_o, \alpha_e$ 和 $d_i, d_F, d_{B_0}, d_{B_e}, d_o, d_e$ 分别为偏振材料、磁光材料、双折射材料 o 光和 e 光、检偏材料的衰减系数及厚度; ϕ_F 为法拉第旋转角; $\Delta\theta_{io}$ 和 $\Delta\theta_{ie}$ 分别为 P_i 与 P_o 和 P_i 与 P_e 之间的夹角, 理想情况下, $\Delta\theta_{io}=0^\circ, \Delta\theta_{ie}=90^\circ$ 。

由法拉第磁光效应, 磁光偏转角 ϕ_F 为

$$\phi_F = V \int \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = VHD \quad (3)$$

式中 V 为 Verdet 系数, 通常它是波长 λ 和温度 T 的函数; H 是磁场强度; D 为磁场条件下光束所走的路径。

应用(1)式~(3)式, 在起、检偏器理想对准条件下, 光分路器的两路输出光的分光比可以写为

$$CR_o = \exp \left[-\frac{4\pi}{\lambda} (\kappa_i d_i + \kappa_F d_F + \kappa_{B_0} d_{B_0} + \kappa_o d_o) \right] \cos^2(VHD) \quad (4)$$

$$CR_e = \exp \left[-\frac{4\pi}{\lambda} (\kappa_i d_i + \kappa_F d_F + \kappa_{B_e} d_{B_e} + \kappa_e d_e) \right] \sin^2(VHD) \quad (5)$$

式中应用了 $\alpha_j = 4\pi\kappa_j/\lambda$ 关系, κ_j 为对应材料的消光系数, λ 为光波长。从(5)式可以看到: 对一定的材料而言, κ_j, d_j, V, H 均为某个常数, 此时分光比 CR 与波长 λ 和磁场中的磁光介质路径相关, 通过改变 λ 或 D 值, 可以达到改变 CR 的目的。如果 D 值可以连续地改变, 那么 CR 值也可以连续地变化, 不过 D 与 CR 的关系并非线性关系, 而是三角函数的平方关系。

3 计算与讨论

为了简捷明了突出连续可变的特性, 假设所有的材料都是无损的, 即 $\alpha_j=0(j=i, F, B, o, e)$; 磁光材料可采用性能优良的石榴石晶体, 它具有光学性能好、透光范围广的特点。

根据(4)式, (5)式, 计算了相关的 $\phi_F \sim D, \phi_F \sim CR_o$

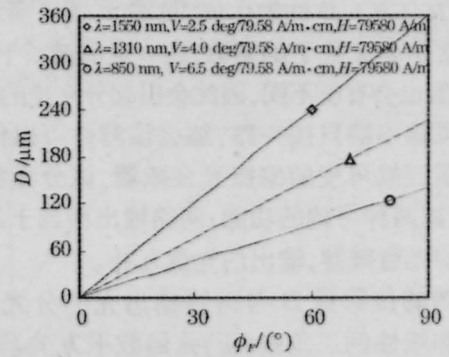


图2 $\phi_F \sim D$ 曲线

Fig.2 Faraday's rotating angle ϕ_F as a function of optical path D under magnetic field conditions

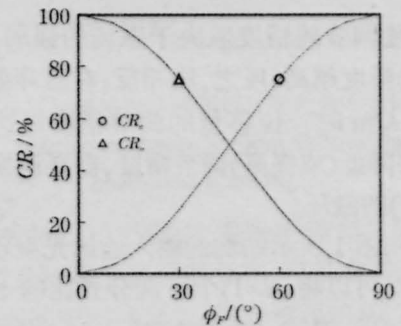


图3 $\phi_F \sim CR$ 曲线

Fig.3 Faraday's rotating angle ϕ_F as a function of coupling ratio CR

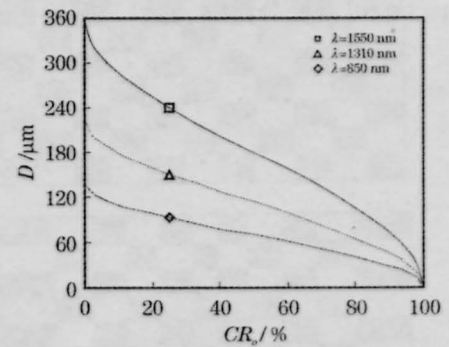


图4 $CR_o \sim D$ 曲线

Fig.4 Coupling ratio CR_o for ordinary ray against optical path D under magnetic field conditions

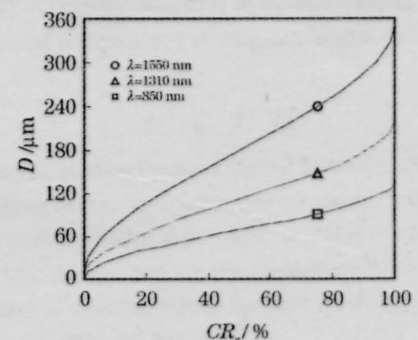


图5 $CR_e \sim D$ 曲线

Fig.5 Coupling ratio CR_e for extraordinary ray against optical path D under magnetic field conditions

$(CR_e), CR_o(CR_e) \sim D$ 性能曲线, 见图 2~图 5 所示。

通常 V 是 λ 及 T 的函数, 在一定的波长下, 温度不同, V 值也会有所不同, 因此会引起分光比的变化。

如果输出端只接一路, 那么该器件可以作为一个衰减量连续可变的偏振光衰减器, 该分光器具有分光、衰减两种可调的功能; 两路输出相当于两个相互关联的光衰减器, 输出的光强互补。

可调的位移量 D 与两路输出光的光分比 CR 之间是非线性的三角余(正)弦函数平方关系, 因此分光比 CR 在位移上呈现出周期性, 周期为 π , 实际上只要用到 $\pi/2$ 即可满足 0%~100%之间的连续调节的要求。

位移量调节的精度取决于磁场的强弱, 磁场越强, 调节的精度越高, 反之, 则相反; 在磁环磁场强度 $H=79580$ A/m 时, 位移量的调节精度可达微米量级, 如果要降低(或提高)调节精度, 需要调换磁场较弱(或更强)的磁环。

注意到图 1 所示结构的输入输出光束均为线偏振光, 因此, 可以将 $(N-1)$ 个可调分光比的 1×2 光分路器串联起来, 构成一个 $1 \times N(N=3, 4, 5, \dots)$ 可调分光比的光分路器, 以满足不同光学系统和网络对可变的多个光束要求。例如, 两个可调 1×2 光分路器可组成一个 1×3 的可调光分路器, 并且三路输出光强大

小均可任意调节, 而这三路输出光均来自同一输入光束, 显然输出光束是相干的。

本设计方案可以做成尾纤输入输出式的, 便于在光纤通信网络和光纤传感系统中使用; 也可以做成光束输入输出式的, 以利于在非光纤的多种激光系统中应用。

该光路经过适当的改变, 也适用于可变的偏振无关光分路器的分析。

参 考 文 献

- 1 R. M. A. Azzam, N. M. Bashara. *Ellipsometry and Polarized Light*[M]. 1st Edition, Beijing: Science Press, 1986
R. M. A. Azzam, N. M. Bashara 著. 椭圆偏振测量术和偏振光[M]. 北京: 科学出版社, 1986
- 2 A. Yariv, P. Yeh. *Optical Wave in Crystals Propagation and Control of Laser Radiation*[M]. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1984
- 3 S. L. Xiao, Q. J. Zeng, Liu Hua *et al.*. Realization technology of tunable optical splitter and its applications [J]. *Optical Communication Technology*, 2003, 27(3): 35~38
肖石林, 曾庆济, 刘 华等. 可调光分路器/耦合器的实现技术及其应用[J]. 光通信技术, 2003, 27(3): 35~38
- 4 Lin Xuehuang *et al.*. *Optical Passive Components* [M]. 1st Edition, Beijing: People's Post Press, 1998
林学煌 等编著. 光无源器件[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1998