

全光学偏振自动控制器

刘德明 黄德修 聂刚

(华中理工大学光电子工程系, 武汉 430074)

提 要

本文报道新近研制的一种单模光纤偏振控制器, 该器件采用全光学的方法对光纤输出光信号的任意偏振态进行自动调整, 使其成为一沿给定方向偏振的线偏振态; 器件插入损耗小于 1 dB, 与半导体激光放大器耦合损耗可小于 5.5 dB, 其偏振灵敏度不大于 0.5 dB.

关键词 单模光纤, 偏振控制器.

1 引 言

相干光通信、光纤传感器、半导体激光放大器以及许多光无源与有源波导器件(例如调制器、光开关等等), 都对入射光信号的偏振态有较严格的要求. 以半导体激光放大器为例, 其 TE 模增益 G_{TE} 与 TM 模增益 G_{TM} 有较大差异(可达 5~10 dB), 为保证放大器输出稳定, 抑制偏振噪声, 就需要与之耦合的单模光纤输出信号具有稳定的偏振态.

目前, 光纤偏振控制技术主要采用以下几种方法^[1~6]:

1) 保偏光纤控制法, 即利用保偏光纤保持输出的光波偏振态稳定不变; 其缺点是成本高、损耗大、难连接且不易确定光信号偏振方向, 其应用受到很大限制.

2) 偏振分离接收机法, 即在接收端将偏振信号分为互相正交的偏振分量, 分别与具有稳定偏振态的本振光相干后, 再将两个已解调信号复合. 这种方法仅适用于光通信系统, 且是以两台接收机的代价换取偏振稳定性, 从经济上讲不合算.

3) 接收端偏振控制法, 这是目前多数研究中所采用的方法. 这种方法是利用检偏系统测试光纤输出偏振态, 当偏振态不符合要求时即由微处理系统进行计算分析, 发出调整信息, 由驱动器带动执行机构对光纤偏振态进行调整. 这种控制方法涉及到光、机、电以及磁性元件, 结构复杂且不稳定, 而且成本昂贵.

本文介绍作者新研究的一种全光学偏振控制器, 不需要外加任何控制系统, 采用纯光学的方法即可控制光纤输出信号的偏振态, 使其沿所需要的方向偏振.

2 原理与结构

在单模光纤中传输的 TE_{01} 基模实际上是由两个相互正交的线偏振模 TE_{01} 和 HE_{01} 所构成. 在理想情况下, 两者相速相同, 具有相等的位相, 其合成光为线偏振光. 但是, 实际上光纤中

与两偏振模相应的折射率 n_x 和 n_y 不可能相等,因此就产生了双折射现象,即合成光偏振态可能出现椭圆偏振或圆偏振;同时,又由于光纤的微弯、扭曲等不规则扰动,使得 n_x 和 n_y 产生随机的变化,导致光纤中传输的基模偏振态呈现复杂的任意变化.然而,在光纤输出端,无论光的偏振态如何,总可以分解为两相互正交偏振态的叠加.若选定其中一种偏振态(例如 HE_{11})为控制偏振方向,并利用相位补偿的方法使另一偏振态(HE_{11} 偏振方向发生旋转,调整为与 HE_{11} 相同的偏振态(即 $HE_{11} \rightarrow HE_{11}$),则可获得一稳定的线偏振光,从而达到偏振控制之目的.

根据上述原理研制的偏振控制器结构如图 1 所示.由单模光纤输入的任意偏振光被偏振分光镜分成偏振方向相互垂直的两束线偏振光(I 和 II);当这两束线偏振光进入选择旋光晶体时,光束 I 的偏振方向将保持不变,而光束 II 的偏振方向将自动旋转 90° ,与光束 I 的偏振方向平行.这样,经过选择旋光元件之后的两光束就具有相同的偏振态,再经双光束耦合光即可输出一恒定的线偏振光.

设光纤输出场矢量为:

$$E = E_x e_x + E_y e_y \quad (1)$$

式中 E_x 和 E_y 分别是 HE_{11} 和 HE_{11} 模场分量幅值, e_x 与 e_y 分别为 x 与 y 方向的单位矢量,并有:

$$E_x = E_i \cos \theta(t), \quad E_y = E_i \sin \theta(t) \quad (2)$$

式中 $\theta(t)$ 为 E 与 x 轴(垂直于纸面)的夹角,是时间 t 的函数; E_i 为合成场矢量幅值.若光束 I 和光束 II 的透射率分别为 T_1 和 T_2 ,在理想情况下,偏振控制器输出端沿 y 方向偏振的光强度为:

$$P_y = P_i [T_1 \sin^2 \theta(t) + T_2 \cos^2 \theta(t)] \quad (3)$$

式中 $P_i = E_i^2$ 为输入光强度.因此,当使光束 I 和光束 II 透射率相等,即 $T_1 = T_2 = T$ 时,有:

$$P_y = P_i T \quad (4)$$

即输出偏振光强度与输入光偏振无关,实现了光的偏振态自动控制.

上述偏振控制器结构简单,偏振态控制却极为有效.且该器件不含任何电学或磁性元件,全部由光学元件构成,因此装配尺寸可以很小,极易与半导体激光放大器或其它要求控制输入偏振态的光波导器件集成,构成一紧凑的偏振无关器件.

3 器件性能及测试

偏振控制器的性能指标主要有两个:插入损耗与偏振灵敏度.

3.1 插入损耗

插入损耗 α 是器件各光学元件内部吸收、表面反射以及光路耦合所带来的附加损耗有:

$$\alpha = -10 \log (P_o/P_i) \quad (5)$$

式中 P_i 为单模光纤输入光功率; P_o 为偏振控制器输出的沿指定方向偏振的光功率.当偏振控制器与波导器件集成时,还应考虑与波导的耦合效率,这时 P_i 是注入进波导的偏振光功率.

3.2 偏振灵敏度

偏振灵敏度描述了由于偏振态调整误差及光路损耗的不对称性而引起的输出偏振态依赖于输入偏振态的程度,可表示为:

$$S = -10 \log \left[1 - \left| \frac{P_{yy}/P_{yy} - P_{yz}/P_{yz}}{P_{yy}/P_{yy} + P_{yz}/P_{yz}} \right| \right] \quad (6)$$

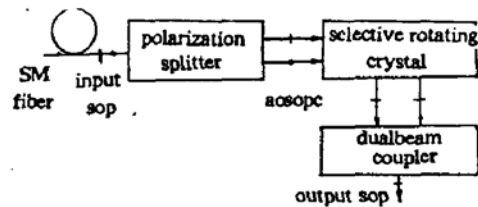


Fig. 1 All-optics state-of-polarization controller

式中 P_{yy} 和 P_{yy} 分别为沿 y 方向偏振的输出与输入光功率; P_{yz} 和 P_{yz} 分别为沿 y 方向偏振的输出光功率与沿 x 方向偏振的输入光功率(如图 2 所示).

3.3 测试系统

图 3 示出器件特性测试系统. 由 LD 发出的稳定功率激光束注入单模光纤; 以机械式偏振控制器来改变入射光偏振态; 用检偏器来探测输出偏振光功率 P_y 或 P_{yy} 和 P_{yz} ; 利用光纤活动连接器来测试入射光偏振态及光功率 P_x 或 P_{yx} 和 P_{yz} ; 为保证测试功率稳定, 采用了锁相放大器.

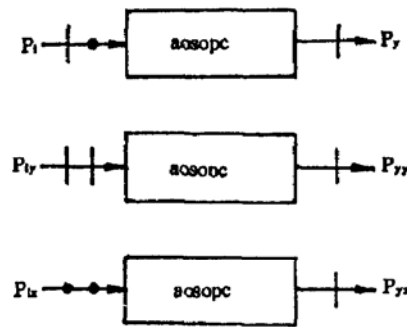


Fig. 2 Measurement of the insert loss and polarizing sensitivity

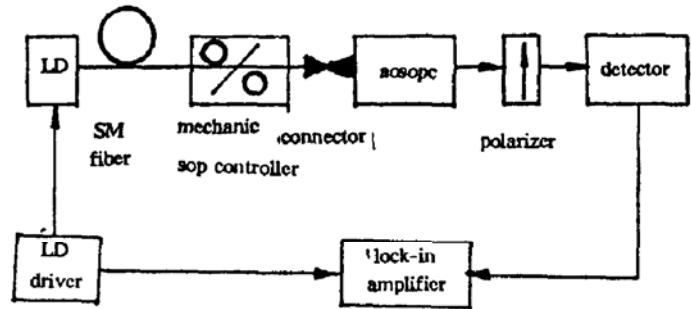


Fig. 3 Diagram of experimental setup for measuring the characteristics

在所研制的全光学偏振自动控制器中, 选用优质材料制作各光学元件, 并采取有效的减反射措施降低各光学表面菲涅尔反射, 使得器件本身插入损耗降至 1 dB 以下; 在器件中还采用了精密的位相补偿与损耗补偿措施, 使器件偏振灵敏度降至 0.5 dB 以下; 器件外部尺寸为 $8 \times 10 \times 35$ mm, 采用激光定位焊接封装工艺, 使器件性能稳定可靠.

以该器件与半导体激光放大器耦合, 构成一种与偏振无关的半导体激光放大器, 光信号由单模光纤耦合进入放大器的总损耗可低于 5.5 dB, 偏振灵敏度小于 2 dB. 该器件也可与其它条形光波导耦合, 构成各种偏振无关波导器件. 由于条形波导截面尺寸一般要比半导体激光放大器芯片有源区大几倍乃至十几倍, 因此可以预计耦合损耗将大为降低.

结 论 利用全光学元件研制成功光纤偏振自动控制器, 获得理想的控制效果. 器件插入损耗小偏振灵敏度低, 结构小巧紧凑, 特别适于与要求控制输入偏振态的波导器件集成, 构成与偏振无关波导器件, 对于改善器件稳定性、抑制偏振噪声将起十分重要的作用.

参 考 文 献

- [1] T. Matsumoto, H. Kano, Endlessly rotatable fractional-wave devices for single-mode-fiber optics. *Electron. Lett.*, 1986, 22(2): 78~79
- [2] N. G. Walker, G. R. Walker, J. Davidson, Endless polarization control using an integrated optic lithium niobate device. *Electron. Lett.*, 1988, 24(5): 266~268
- [3] N. G. Walker, G. R. Walker, Polarization control for coherent communications. *J. Lightwave Technol.*, 1990, 8(3): 438~458
- [4] S. H. Rumbaugh, M. D. Jones, L. W. Casperson, Polarization control for coherent fiber-optic systems using nematic liquid crystals, *J. Lightwave Technol.*, 1990, 8(3): 459~465
- [5] H. Shimizu, K. Kaede, Endless polarization controller using electro-optic waveplates. *Electron. Lett.*, 1988, 24(7): 412~413
- [6] A. Siddiqui, H. Sherief, Liquid crystal polarization controller for use in fiber communication systems. *Proc. OFC' 89*, (Houston, TX), 1989, WQ21

All-optical fiber polarization automatical controller

LIU Deming HUANG Dexiu NIE Gang

(*Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074*)

(Received 7 December 1992; revised 3 March 1993)

Abstract

An all-optical fibre state-of-polarization controller (AOFSOPC) is first presented in this paper, which effectively changes the random state-of-polarization (SOP) of the single-mode fibre into a stable linear SOP. The SOP control is achieved without any mechanical, electrical or magnetical device. The characteristic parameters of the AOFSOPC fabricated experimentally have been measured with the insert loss and polarization sensitivity less than 1 dB and 0.5 dB, respectively.

Key words single-mode fibres, polarization control.