

高性能三端口全光纤开关

姚寿铨 王子华

(上海大学光纤研究所, 上海 201800)

摘 要 提出采用 2×2 和 3×3 单模光纤耦合器组合成的马赫-陈德尔干涉仪来制作全光纤开关。解决了在连续熔融拉伸两个耦合器组成马赫-陈德尔干涉仪的过程中, 由于干涉的作用而无法监视光功率来控制第二个耦合器的分束比的问题。并且由于是连续熔融拉伸, 保证了两条单模光纤干涉臂长度的一致, 从而提高了单模光纤马赫-陈德尔干涉仪的性能, 使得用其做成的三端口压电陶瓷电控全光纤开关具有宽频带的特性, 其最小交调达到 30 dB, 附加损耗为 0.23 dB。

关键词 单模光纤耦合器, 马赫-陈德尔干涉仪, 光开关。

1 引 言

光开关在宽频带光通信系统及网络中起着十分重要的作用。在光通信网络中直接使用光开关切换光信号避免了光-电和电-光的转换过程, 从而提高了光通信容量的限制, 提高了开关速度, 并保持了光波长的不变。尽管电控^[1]及温控^[2]的集成光学开关已经有商品问世, 但是它们与光纤连接时损耗较大而导致不必要的信号衰减。全光纤开关没有光纤与平面光波导耦合的问题, 它是一个全光纤马赫-陈德尔干涉仪, 是用两根长度相等的单模光纤连接两个 3 dB 定向耦合器而成的。开关的过程是通过改变这两条单模光纤形成的干涉臂之间的相位差为 π 来实现的。目前有两种全光纤开关, 比较早期的一种是用电阻片加热使得干涉仪一臂的光纤改变长度和折射率来实现干涉臂光程 π 相位差变化^[3]。这种方法由于热传导需要一段时间, 所以其开关速度较慢。最近出现的一种全光纤开关是用压电陶瓷粘贴在光纤干涉臂上^[4], 用压电陶瓷在加电压时的伸长来改变光纤干涉臂之间的相位差为 π 来实现“开”和“关”的。然而要进一步提高光开关的性能遇到两个困难: 第一是两个单模光纤定向耦合器的分束比必须严格为 1:1, 第二是作为干涉仪两臂的单模光纤长度必须完全一样。干涉臂长度稍有差别, 整个干涉仪随光波长变化就很敏感, 使得光开关的性能下降。Fang 和 Taylor^[4]采用两个分束比误差非常小 ($\delta \leq 2\%$) 的售品耦合器, 先用相干光时域反射计测量光纤长度, 然后再把它们熔接起来, 但是最终两条光纤干涉臂的长度还是很难严格一致。Boucouvais 和 Georigiou^[3]将两根相同的单模光纤放在一起, 在相隔 10 cm 处用同一个工艺装置接连制造两个 3 dB 定向耦合器。第一个耦合器的分束比可以用光功率监视加以控制, 但是第二个耦合器的分束比只能依赖于同前者相同的工艺条件来保证。由于熔锥型耦合器分束比的工艺重复性不高, 因此第二个耦合器的分束比误差较大, 这样会引起较大的信号交调(在“关”状态时, 还有较大的

残余信号通过)。

本文提出一种新的全光纤压电陶瓷电控开关结构和制造工艺。将两根相同的单模光纤先制造第二个熔锥型 3 dB 定向耦合器, 再在制造第一个耦合器时, 在这两根光纤中间并排嵌入第三根同类单模光纤, 将这个耦合器制造成一个特殊的 3×3 定向耦合器^[5], 再将它改成一个 3 dB Y 型分叉器, 最后得到一个两条干涉臂长度相等的三端口马赫-陈德尔干涉仪, 再配上压电陶瓷, 就可得到一个三端口全光纤开关。在工艺上由于两个耦合器的分束比都可以用光功率监控, 两条干涉臂又是一样长, 这样提高开关性能的两个困难同时得以克服。因此这种全光纤压电陶瓷电控开关具有频带宽、交调小、插入损耗低的优点。

2 工作原理和制造工艺

三端口全光纤开关如图 1 所示, 平面型 3×3 定向耦合器 C_1 、2×2 定向耦合器 C_2 组成一个

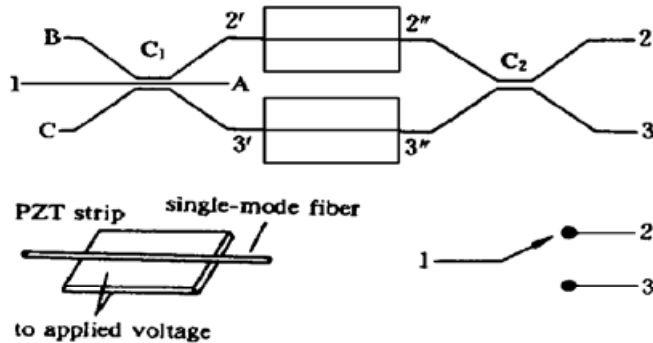


Fig. 1 Configuration for the three-port all-fiber switch

个马赫-陈德尔干涉仪。干涉仪两臂分别粘结在两块尺寸相同的压电陶瓷片上。2'2''臂的压电陶瓷调整开关的初始状态。3'3''臂的压电陶瓷控制开关的“开”和“关”。 C_1 耦合器的 A、B、C 三个端口是空置的, 1、2'、3'三个端口实际上构成一个 3 dB 的 Y 型分叉器。光信号由 1 端输入, 经 C_1 后, 在 2'和 3'两端得到等幅同相的两路信号, 再分别经 2'2''和 3'3''两条等长的干涉臂后在 C_2 耦合器内进行干涉, 再由 2 和 3 端口输出。由于 2×2 耦合器的直

通光和耦合光之间存在有 $\pi/2$ 附加相位移, 再加上两条等长的干涉臂的光学长度不可能绝对一样, 所以需要在 2'2''臂上的压电陶瓷加上一个初始直流电压, 使得臂 2'2''有一初始相移, 此相移正好使得输出端口 2(或 3)处于“关闭”状态。电控开关电压加在 3'3''臂的压电陶瓷上, 此电控电压的大小正好使得 3'3''臂伸长 $\lambda/2$, 即产生 π 相移。这样就使得输出端口 2(或 3)由初始的“关闭”状态转为“开启”状态, 而形成三端口光开关。

C_1 、 C_2 两个耦合器及两条干涉臂是用相同的常规单模光纤加工而成, 中间无焊接点。 C_2 是按常规的熔融拉伸方法制作, 在熔融拉伸时通光进行光功率监视, 使得其分束比为 1:1。而 C_1 就无法按上述制造 2×2 耦合器的方法在熔融拉伸时通光监视它的分束比。这是因为 C_1 在熔融拉伸过程中其输出光是相干信号, 已能通过 C_2 一起进行干涉, 即从 2、3 端口监视到的输出光功率是无法确定 C_1 耦合器的分束比的。所以在实际制作时, C_1 是一个 3×3 耦合器。从图 1 中的 A 端注入监视光功率, 在 B、C 和 1 端口同时监视输出光功率。熔融拉伸 C_1 , 使得 1 端口的输出光功率由未熔拉时的满功率到零, 并可观察到 B 和 C 端口的输出光功率相等, 并均近似于注入监视总光功率的 50%, 见文献[5]的图 5。在这样的制作过程中, 监视光功率没有通过 C_2 耦合器参与干涉, 并且由于 C_1 是平面型 3×3 耦合器, 由互易和对称原理, 并经实际证明, 制作好的 C_1 在 1 端注入光功率时可得 A 端的输出光功率为零, 2'和 3'输出的光功率一定相等, 都近似于 1 端注入光功率的 50% (器件 C_1 有少量的附加损耗)。这样把 A、B、C 三端的光纤打掉, C_1 就成了一个 1、2'、3'三个端口的 Y 型分叉器, 并和 C_2 一起组成一个优质的马赫-陈德尔干涉仪。

3 实验结果与讨论

最后制成的全光纤开关的实验样品如图 2 所示。单模光纤采用美国康宁公司 SMF-28TM 光纤, 截止波长 $\lambda_c < 1.3 \mu\text{m}$ 。光纤外径 $125 \mu\text{m}$, 芯径 $2a = 9.3 \mu\text{m}$ 。压电陶瓷由上海大学材料学院提供, 尺寸为 $30 \times 20 \times 0.2 \text{ mm}^3$, 用市售百得胶把两条干涉臂分别胶在这两块相同的压电陶瓷上。光开关的交调通过下述方法测量: 先在干涉臂 2'2" 上的压电陶瓷两面加 7.1 V 的初始直流电压使 2 端口输出光信号最小(3 端口输出的光信号为最大), 3'3" 臂上的压电陶瓷两面加开关电压 21.8 V, 使得 2 端口输出的光信号最大(3 端口输出光信号为最小)。用上海冶金所生产的带单模尾纤的 PIN 管作光接收器, 光电转换效率 $\eta \cong 0.5 \mu\text{A}/\mu\text{W}$, 再通过 $I \sim V$ 转换后显示。光源采用波长为 $1.3 \mu\text{m}$ 、线宽大约 2 nm 的多纵模激光二极管时, 测得开关的交调为 30.6 dB。当光源采用 $1.3 \mu\text{m}$ 、线宽大约 20 nm 的发光二极管时, 测得开关的交调为 23.0 dB。这说明在宽光谱光源时开关仍能较好地运行。开关的动态特性是在 2'2" 臂的压电陶瓷上加 9.1 V 直流电压, 在 3'3" 臂的压电陶瓷上加 2 V ~ 23.8 V 的方波电压进行测量的, 这时在光开关 3 端口接收到的光信号波形示于图 3。图中光信号开关时间约 1 ms, 它比文献[4]所示的开关上升的时间长。这是由于本文使用的压电陶瓷较薄, 电容较大(约 $0.1 \mu\text{F}$) 的缘故。采用截断法测得光开关的附加损耗为 0.23 dB。

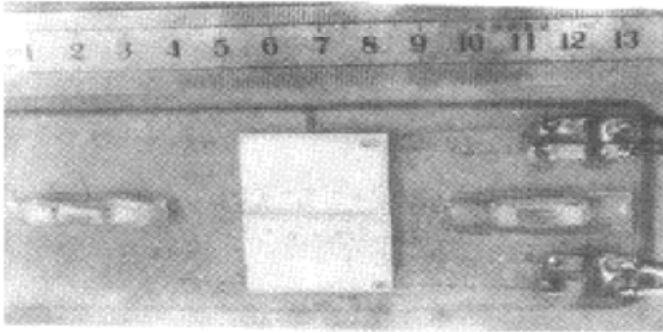


Fig. 2 Photo of the all-fiber switch

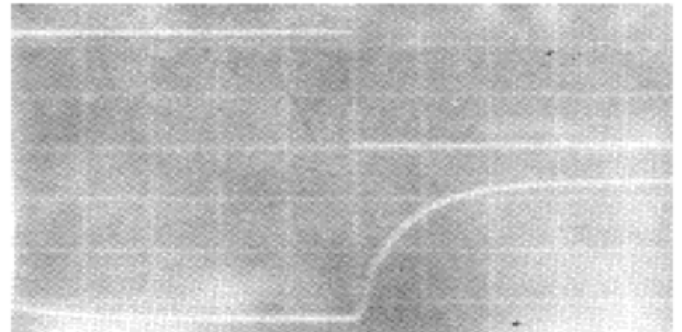


Fig. 3 Dynamic response of the all-fiber switch to a square-wave voltage pulse, horizontal axis 0.5 ms/division

总之, 作者用一个 3×3 耦合器取代马赫-陈德尔干涉仪中的第一个 2×2 的 3 dB 耦合器, 制成了一个三端口压电陶瓷电控的全光纤开关。由于在制造马赫-陈德尔干涉仪时既采用连续熔融拉伸法来制造两个耦合器以保证两条干涉臂长度的一致, 又能实际监视每个耦合器的分束比, 使它们的分束比都保证为 1:1, 因此所得到的光开关具有以下优点: 1) 光开关在关闭时漏过的残余信号很小, 交调达到 30 dB; 2) 器件能在较宽频带内运行, 带宽为 20 nm 的发光管作光源时, 交调仍能达到 23 dB。在光源改用由单色仪分光后注入开关时, 单色仪波长从 $1.28 \mu\text{m}$ 改变至 $1.34 \mu\text{m}$ 时, 通过重新调整起始状态电压及开关电压, 仍能得到优于 23 dB 的交调; 3) 与集成光开关大于 3 dB 的插入损耗相比, 本光开关 0.23 dB 的插入损耗是很小的。

参 考 文 献

- [1] E. Voges, A. Neyer, Integrated-optic devices on LiNbO_3 for optical communication. *J. Lightwave Technol.*, 1987, **5**(9) : 1229~ 1238
- [2] M. Kawachi, Silica waveguides on silica and their application to integrate-optic components. *Opt. & Quantum Electron.*, 1990, **22**(5) : 391~ 416
- [3] A. C. Boucouvals, G. Geougiou, Fiber-optic inteferometric tunable switch using the thermo-optic effect. *Electron. Lett.*, 1985, **2**(11) : 512~ 514
- [4] S. P. Fang, H. F. Taylor, High-performance single-mode fiber-optic switch. *Opt. Lett.*, 1994, **19**(16) : 1204~ 1206
- [5] 姚寿铨, 王 勇, 陆善达, 熔锥直线型 3×3 单模光纤定向耦合器的光功率耦合分析. *光学学报*, 1990, **10**(11) : 1040~ 1046

High-Performance Three-Port Fiber-Optic Switch

Yao Shouquan Wang Zihua

(Institute of Optical Fiber, Shanghai University (Jiading), Shanghai 201800)

(Received 30 December 1997; revised 24 February 1998)

Abstract A three-port fiber-optic switch using a 2×2 and a 3×3 directional coupler to form Mach-Zehnder interferometer is presented. In the consecutive fabrication of two fused couplers, not only the equal splitting ratio for both couplers, but the equal length of two single-mode fiber arms have been fabricated, which improved the switch performance a lot. The swich is PZT electrically controlled and has broad band. The mininum cross-talk reaches to 30 dB and the insertion loss is 0.23 dB.

Key words single-mode fiber couplers, Mach-Zehnder interferometer, optical switch.