

文章编号:1001-5078(2008)10-1011-04

· 光电材料与器件 ·

偏振保持型磁光光开关的设计方案

叶小华¹, 叶会亮², 黄旭光¹

(1. 华南师范大学光子信息技术实验室, 广东 广州 510006; 2. 南昌大学理学院光信息科技专业 04 级, 江西 南昌 330031)

摘要:提出并分析了偏振保持型(PM)1×2磁光开关的设计方案,采用该设计易于获得紧凑的结构及有效降低器件成本。理论分析了其实现原理以及各个光学参数,并由实验证实了该方案的有效性。设计结果表明,采用该方案能获得低损耗且结构简单的偏振光开关,其不同通道的串扰小,消光比性能优良,易于装配且适于在通信系统中集成。

关键词:光开关;偏振;消光比;串扰;接入损耗

中图分类号: O482.55; TN602 **文献标识码:** A

Design of A Polarization-maintaining Optomagnetic Switch

YE Xiao-hua¹, YE Hui-liang², HUANG Xu-guang¹

(1. Laboratory of Photonic Information Technology, South China Normal University 510006, China;
2. Optical Information Sciences and Technology 04, School of Science, Nanchang University, Nanchang 330031, China)

Abstract: Proposed in this paper is the design and fabrication for novel polarization-maintaining (PM) optomagnetic switches. Herein two scheme are presented which are 1×2 devices respectively. Theoretical analysis shows its working principle and optical performance. Experiment validations demonstrate their effectiveness in addition. Results obtained show that the switch devices can be more compact and easily assembled by adopting proposed scheme, and the optical performance of the design is excellent which featured by their ultra-low channel crosstalk, super polarization extinction ratio (PER) and insertion loss (IL) as well.

Key words: optical switches; polarization; extinction ratio; crosstalk; insertion loss

1 引言

随着密集波分复用技术的迅猛发展,日益复杂的光纤网络拓扑结构需要更加可靠、灵活的网络管理方式,而光交叉互连(OXC)、光上下路(OADM)、全光路由就是其中的关键技术,它们用于解决光网络节点处光信号的上传/下载、光交叉连接、信号的路由选择以及自愈保护等方面的问题。光开关是实现这些技术的关键器件,与电开关相比,光开关减去了光/电、电/光的转换过程,因而简化了系统设备,提高了网络的可靠性,并使信号路由更加灵活。虽然目前的通信系统大多数仍采用光电转换技术,但未来发展趋势必然需要用全光开关替代光电转换,实现信号全光路由,提高网络传输速率,并实现协议的透明性。

综上所述,光开关具有广阔的市场前景,是未来最具发展潜力的无源器件之一,因而成为各研究机构和通信企业的研究热点。目前实现光开关的主要技术有:机械式^[1]、MEMS^[2]、磁光^[3]、声光^[4]、电光^[5]、热光^[6]、全息^[7]、气泡^[8]、液晶^[9]以及基于马赫-泽德干涉仪结构的全光开关^[10]等。现有的各种光开关技术中,机械式光开关应用最广泛,其结构简单,损耗、串扰、偏振敏感性、可靠性方面均较好,但开关速度慢,为毫秒量级,且扩展性差,只能靠

基金项目:广东省自然科学基金(No. 07117866);国家自然科学基金(No. 60507007)资助。

作者简介:叶小华,男,北京邮电大学光通信与光波技术教育部重点实验室博士,目前研究领域为全光信号处理技术。E-mail: yexh@tom.com

收稿日期: 2008-04-11

器件级联方式来实现;声光、电光及全息光栅开关等技术方案实现的光开关交换速度快,为亚微秒级,其中电光开关能实现纳秒级交换速度,但这些方案功耗较大,且往往需要高压供电,不利于实际应用;热光、气泡等技术方案实现的器件开关速度较慢;MEMS光开关将微机械结构、微制动器和微光学元件在同一衬底上集成,具有耦合损耗小、串音干扰低、与工作的波长和偏振态无关以及不受通信中所采用的数据格式限制,其结构紧凑、质量轻、易于扩展,因而受到业界大力推崇,并引起广泛的研究兴趣,但其交换速度也属于机械式开关的毫秒及亚毫秒量级;磁光开关是利用法拉第旋光效应,由外加磁场改变磁光晶体对入射偏振光的旋光方向,实现光路切换的功能。磁光开关不仅具有传统机械式光开关驱动电压低、功耗小、损耗及串扰参数优良等相同的优点,而且具有开关速度快、稳定性高且具有较好的扩展性等优越条件。因此,在未来磁光开关将成为一种有竞争力的光开关选择方案。

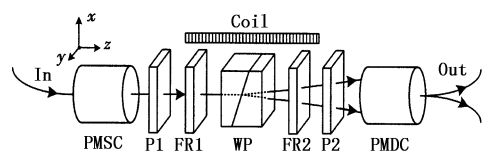
本文提出新型偏振保持型(PM)磁光开关的设计方案。相对于传统的磁光开关器件,该方案没有采用尺寸较大的晶体棱柱进行偏振分光,改用小尺寸的渥拉斯顿棱镜既可进行偏振分光,又可实现与双光纤准直器的角度耦合,因而大幅度缩减了器件体积,且光学参数优良。我们通过理论分析及实验论证了该方案的可行性。

2 设计结构及原理分析

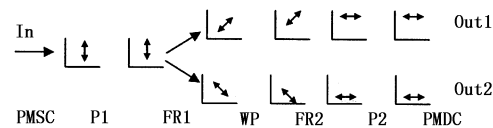
图1(a)、图1(b)给出了偏振保持型(PM) 1×2 磁光开关的设计方案及偏振态转变示意图。其中,图1(a)为 1×2 的光路设计;图1(b)是器件通光时偏振态转变示意图。由图可看出,组成该光开关器件的元件依次为:一个PM单光纤准直器PMSC、一个PM双光纤准直器PMDC,两个偏振片 P_1 和 P_2 ,其起偏方向相互垂直,两个法拉第旋光片 FR_1 和 FR_2 及环绕其外围的金属线圈(Coil),以及一个渥拉斯顿棱镜WP。其中PMSC为光束入射端,而PMDC提供两个偏振光输出口,两个准直器中间的部件完成光束偏转及切换的功能。从整体看,器件结构紧凑且光路简单,易于组装。

我们对图1所述设计的实现原理作一阐述,如图1所示,由PMSC入射的线偏振光束平行于 z 轴方向传输,经过偏振片 P_1 后,其偏振消光比(PER)上升至50dB以上,经 FR_1 后偏振方向旋转 45° ,之

后经过渥拉斯顿棱镜WP,由于WP的斜面垂直于 $x-z$ 平面,因此出射光在该平面上产生一个偏折角,之后通过 FR_2 ,光束偏振方向再次旋转 45° ,之后经过偏振片 P_2 , P_2 的起偏方向设计与 P_1 的方向相互垂直。这样偏振光能够低损耗地通过 P_2 ,且偏振消光比再次提高。设计PMDC的光束偏折角与WP对偏振光的偏折角度一致,则光束可以低损耗耦合至PMDC的一根输出光纤中;当改变外置线圈的电压极性,FR的旋光方向反转,则偏振光在WP中产生的偏折角也相应改变,该角度与PMDC另一束光的偏折角度相同,因此光束能够耦合到PMDC的另一个通道内,由此实现PM光束在两个通道的切换功能。图中所示的器件中两个旋光片 FR_1 和 FR_2 可以由同一个金属线圈提供磁场驱动,这样有利于使器件结构更加紧凑。



(a) 1×2 型光开关结构及光路原理



(b) 器件通光时偏振态转变示意图

图1 偏振保持型磁光开关设计结构及光路原理示意图

光开关的主要性能表现在:光束交换速度、损耗、串扰、偏振敏感性、可靠性、开关矩阵规模以及可扩展性等方面。其中,属于光学方面的参数为器件接入损耗IL,通道串扰CT以及偏振消光比PER等,以下我们对此作一理论分析。

器件的IL为组成器件的各元件对入射光束产生散射、偏折及吸收等带来损耗的叠加,可表示为:

$$IL = IL_c + 2 \cdot IL_p + 2 \cdot IL_{FR} + IL_{WP} \quad (1)$$

其中, IL_c 为PMSC和PMDC的耦合损耗,典型值为0.15dB左右; IL_p 为单个偏振片的损耗,对于偏振方向平行于其起偏方向的线偏振光而言,其典型值小于0.1dB; IL_{FR} 为单个FR的损耗,其典型值小于0.05dB,但由于其偏振旋转角度为波长的函数,因此偏振光通过FR后不同波长的光束具有不同偏振方向,再经过偏振片时,损耗将产生变化; IL_{WP} 为WP带来的损耗,典型值为0.05dB。

由上述,器件的损耗参数可推导为:

$$IL = 0.3 + 10 \cdot \log(1 - 10^{-2.5}) + 2 \cdot IL_{FR} \quad (2)$$

$$IL_{FR} = -10 \cdot \log \left[\left| \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \cos R & -\sin R \\ \sin R & \cos R \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \sqrt{2}/2 \\ \sqrt{2}/2 \end{pmatrix} \right|^2 \right]$$

$$= -10 \cdot \log((\sin R + \cos R)^2 / 2) \quad (3)$$

其中, R 是 FR 的旋光角度, 为波长和温度的函数, 可表示为:

$$R = 45 + c_t(t - T_0) + c_f(\lambda - \lambda_0) \quad (4)$$

式中, c_t 和 c_f 分别为 FR 的温度旋光系数及波长旋光系数; t, λ 分别为器件所处环境温度及通光波长; T_0, λ_0 分别为 FR 旋光 45° 时对应的温度及波长值。

器件的通道串扰主要为 FR_1 旋光角度随温度及波长的变化而带来, 可以推导为:

$$CT = -10 \cdot \log((\sin R - \cos R)^2 / 2) \quad (5)$$

而 PER 参数主要由器件接收端的两个元件 P_2 和 PMDC 的 PER 参数决定, 由于偏振片的 PER 通常有超过 55dB, 而 PMDC 的 PER 参数一般为 28dB 左右, 因此, 器件的 PER 通常与 PMDC 的 PER 值相同。

我们仿真了器件的 IL 及 CT 参数随波长变化的关系曲线, 如图 2 所示, 在 1525 ~ 1575nm 波长范围内, 器件的 IL 均小于 0.38dB, 且随波长的变化幅度小于 0.01dB。这里仅考虑了 FR 的波长特性对于 IL 随波长变化的影响, 实际情况中由于光束在各元件光学端面干涉等原因, 器件 IL 随波长的变化幅度通常要大于 0.01dB。此外, 还可发现在 50nm 波段内, 器件的相邻通道串扰值超过 30dB, 能够满足实际应用需求。

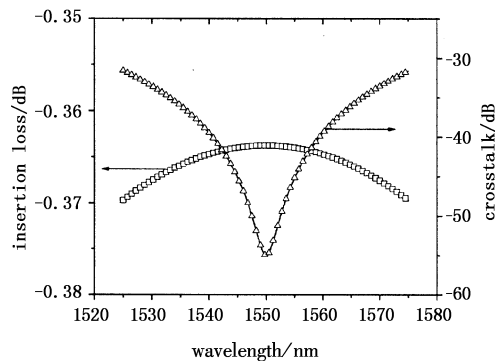


图2 器件的 IL 和 CR 参数随入射光波长的变化关系

图 3 给出了器件的 IL 及 CT 参数随工作环境温度变化的数值模拟, 可以看到, 当 T_0 处于工作环境温度范围的中心值时, 器件的 IL 和 CT 曲线较为对称, 整体性能要优于 $T_0 = 25^\circ\text{C}$ 时的情况。实际应用时可以根据器件所工作场合的温度范围选择适当 T_0 参数的 FR 元件, 以获得最佳工作性能。

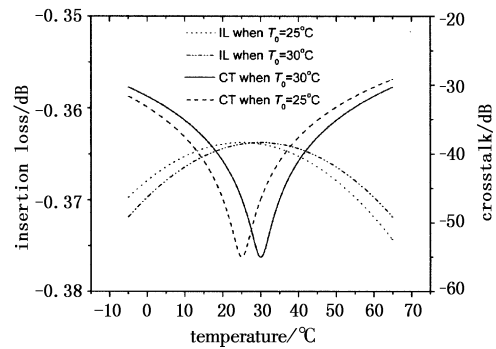


图3 器件的 IL 和 CR 参数随工作环境温度的变化关系

3 实验结果

我们对上述磁光开关进行实验验证。实验中所采用的元件参数如下: 偏振片 P_1 和 P_2 采用美国康宁的 Polarcor 偏振片, 尺寸为 $1\text{mm} \times 1\text{mm} \times 0.5\text{mm}$; 旋光片采用日本三菱的 J-Type 型号的磁光晶体材料; 渥拉斯顿棱镜采用两个斜角为 9° 的 YVO_4 晶体组合而成, 其光轴在通光面上, 与棱边成 45° 角, 这种斜角的渥拉斯顿棱镜对偏振光的偏折角度与光纤准直器中常用的 0.23 节距的梯度折射率透镜 (Grin lens) 配合两根并排的光纤入射光束产生的偏振角度相同; 一个 PM 单光纤准直器以及一个双光纤准直器。图 4 给出了光开关切换两路输出端时的 IL 参数随波长变化的实验测试结果。由图可看出, 两路通光损耗在 50nm 波长范围内小于 0.57dB, 波长相关性在 0.1dB 范围内, 适于实际通信使用需求。我们发现从输入端至输出端口 2 的损耗比输入至输出端 1 的性能略差, 主要是由于 WP 角度与 PMDC 角度的匹配差异造成。这里两路光的参数差异在 0.05dB 范围内, 属于可接受范围。我们测得器件在 1550nm 中心工作波长处的其他光学参数如下: 输出光束偏振消光比大于 25dB; 通道串扰小于 -50dB ; 回波损耗大于 60dB。器件装配方面, 整个器件不含光纤的长度可在 25mm 之内, 横向直径 5mm。结构如此紧凑且参数优良的器件将给偏振光通信系统的提供一个有竞争力的选择方案。

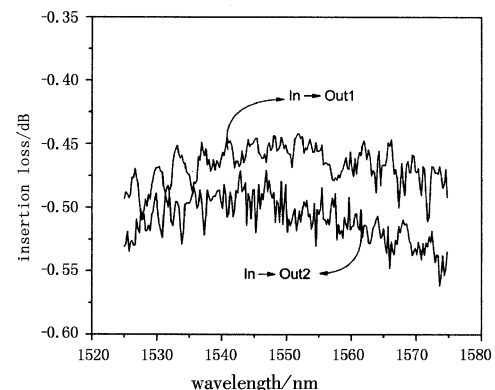


图4 光开关切换两路输出端时的 IL 参数随波长变化的实验测试结果

4 结 论

本文提出了偏振保持型 1×2 磁光开关的设计方案,通过在保偏准直器之间设置偏振片和渥拉斯顿棱镜以获得小体积、低成本且易于实现的器件。光学参数方面,该器件的接入损耗小;不同通道串扰低,偏振消光比性能优良。理论和实验验证了该方案的可行性。

参考文献:

- [1] Lee S U, Seo W S. Design of an optical cross-connect architecture [C]//Proc. of 6th IEE Conference on Telecommunications, Apr. ,1998;198 - 201.
- [2] Tze-Wei Yeow, Law K L E, Goldenberg A. MEMS optical switches[J]. IEEE Communications Magazine, 2001, 39: 158 - 163.
- [3] Didosyan Y S, Hauser H, Reider G A. Magneto-optical switch based on orthoferrite [C]//Proc. of INTERMAG Europe Magnetism Conference, May, 2002, DS4.
- [4] Herrmann H, Schafer K, Sohler W. Polarization independent, integrated optical, acoustically tunable wavelength filters/switches with tapered acoustical directional coupler [J]. IEEE Photonic Technology Letters, 1994, 6: 1335 - 1337.
- [5] Zhang Xiongjun, Wu Dengsheng, Zheng Kuixing, et al. Investigation and progress of one-pulse-process driving large aperture electro-optical switch [J]. Proc. of LEOS, Aug, 2005; 820 - 821.
- [6] Xiaohua Ma, Geng sheng Kuo. Optical switching technology comparison: optical MEMS vs. other technologies [J]. IEEE Communications Magazine, 2003, 41: 16 - 23.
- [7] Crossland W A, Manolis I G, Redmond M M, et al. Holographic optical switching: the "ROSES" demonstrator [J]. Journal of Lightwave Technology, 2000, 18: 1845 - 1854.
- [8] Makihara A M, Shimokawa F, Kaneko K. Strictly non-blocking $N \times N$ thermo-capillarity optical matrix switch using silica-based waveguide [C]//OFC2000. Baltimore, , 2000, TuM 2: 1 - 3.
- [9] Skinner J, Lane C H R. A low crosstalk microoptic liquid crystal switch [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1988, 6: 1178 - 1185.
- [10] Zhao Yongpeng, Ye Peida. All-optical OTDM add/drop multiplexing using semiconductor optical amplifier based Mach-Zehnder interferometer with improved extinction ratio [J]. Journal of Optical Communications, 2001, 22(4): 122 - 126.

第十一届全国 LED 产业与技术研讨会在镇江举行

第十一届全国 LED 产业与技术研讨会于 2008 年 9 月 17 日至 21 日在江苏镇江召开,同时还召开了中国光协光电器件分会第六届会员大会以及分会成立二十周年的庆典。大会由中国光学光电子行业协会光电器件分会与中国物理学会发光分科学会联合主办,由江苏稳润光电有限公司和晶能光电(江西)有限公司联合承办。

参加本次会议的有 120 个单位,其中港台 4 家,出席会议人数 228 人。工业和信息化部电子信息司王勃华副巡视员、国家半导体照明重大专项管理办公室阮军副主任、江苏省科技厅王秦厅长与镇江市冯士超副市长到会祝贺并发表了热情洋溢的讲话。王勃华巡视员充分肯定了本行业协会过去所做的工作,并对协会今后的工作寄予厚望,强调协会是连接政府与企业的桥梁,加强组织建设、加强基础数据统计工作、进行知识产权和标准研究、提高国际化水平、引导行业健康有序发展等方面可大有作为。

本次会议共有 8 个邀请报告,报告人分别是中科院半导体所陈良惠院士、南昌大学江风益教授、中电集团第十三所张万生教授、台湾晶元首席技术官陈泽澎博士、复旦大学方志烈教授、香港应用科技研究院蔡振荣博士、ASM 公司李明博士、中国照明电器协会半导体照明专业委员会唐国庆先生。陈良惠院士强调要发展“泛半导体照明”,在发展半导体照明的同时,注意相关材料器件如 GaN 衬底、半导体蓝色激光器的发展、相关设备如 MOCVD 制造业的发展,他还指出:半导体照明终将成为照明的主导光源;普通照明节能是照明节能的根本出路;半导体照明与传统光源共同为节能做出贡献;提高效率 and 降低价格不可松懈;不分民营国营,给重大创新以重奖;建立国家级领导机制和国家级公用技术平台;两岸携手缔造共赢机制。

(中国光协供稿)