

基于微流控光开关的波导结构分析与优化

徐 宁, 陈 思, 涂兴华, 陈 陶, 梁忠诚, 关建飞
(南京邮电大学 光电工程学院, 江苏 南京 210003)

摘 要:光开关是全光网的关键器件,提出一种全新基于微流控技术的波导型光开关设计。通过电控方法改变光波导结构,实现光路变化。基于有限元方法,重点研究了光开关插入损耗、串扰、透过率等参数,对波导层光传输性能进行评价。优化结果表明,当波导层以一定角度斜交叉时,透过率提高,插入损耗降低,最低降到0.18dB,实现了光开关的结构优化。由于采用微流控技术和有机光学材料,这类开关体积小、结构简单、成本低,易于集成大规模光开关阵列。

关键词:光开关;微流控;光波导;有限元

中图分类号:TP39

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2011)09-0121-03

Analysis and Optimization on an Optical Switch Based on Micro-Fluidic Technology

XU Ning, CHEN Si, TU Xing-hua, CHEN Tao,
LIANG Zhong-cheng, GUAN Jian-fei

(College of Photoelectric Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications,
Nanjing 210003, China)

Abstract: A micro-fluidic optical switch is proposed. Change the structure of waveguide layer by electronical control method, to the light direction. The performance of waveguide layer is evaluated by insertion loss, crosstalk, transmittance. The simulation result shows that when two parts of the waveguide layer cross each other obliquely, the optical switch shows better performance. This kind of optical switch not only has smaller size, more simple structure, lower price, but also can be arrayed easily.

Key words: optical switch; micro-fluidic; optical waveguide; finite element

0 引言

近年来,随着互联网数据下载、在线音频、视频等业务的迅速发展,给现有的网络带来了很大的压力,未来网络需要能够处理上千个波长^[1]。OADM设备、OXC设备是全光网的重要设备和组成部分,用于解决光网络节点处光信号的上传/下载、路由以及交叉连接问题,这一切的实现依赖于元器件的发展,需要各种性能优良、价格低廉的光器件。在光纤通信系统中,光开关阵列的突出特点在于它可以在网络出现拥堵时通过自动保护倒换功能为网络预留备份通道,实现系统的可靠性工作;并且实时监测网络性能和元器件性能^[2,3]。

文中提出一种基于微流控技术的光开关模型,并

对光开关波导层进行理论分析及仿真,为微流控阵列光开关制作提供理论依据。由于光开关阵列应用微流控技术,所以和MEMS光开关^[4,5]相比,它没有机械磨损,使用的开关次数更多、可重复性好、结构简单,有利于光开关集成化、微型化,且工作稳定,控制电路简单。因此具有研究意义和研究价值。

1 光开关结构与工作原理

文中提出的光开关结构是“光波导层+底导电层+带导电模块的绝缘层+上盖板”的夹心结构^[6,7],其结构示意图如图1所示,其中(a)为光开关结构示意图,(b)为底部结构示意图。这种光开关的主要组成部分有电极、通气孔、液体注入孔、盖板、绝缘层、导电小膜块、光波导层、细管、储液小槽、基底、导电膜、通气孔、凹槽、电极孔、注液孔。该模型结构中,第一层为盖板,上面留有通气孔、液体注入孔和电极孔,底部还有用微流道工艺制作的凹型小槽;第二层为绝缘层,上面镀有导电膜块,以及与盖板上小孔对应匹配的通气孔和液体注入孔;第三层是光波导层,除了微流道外,中部是

收稿日期:2011-02-23;修回日期:2011-06-04

基金项目:国家自然科学基金(60977069,60878037);江苏省自然科学基金(BK2009424);江苏省高校自然科学基金(TZ208014)

作者简介:徐 宁(1960-),女,副教授,研究生导师,主要从事光纤通信与光波技术的研究。

储液小槽及与储液小槽相通的细管;第四层为底板,底板上镀有一层小的导电膜块。基底材料选用 PDMS, PDMS 具有良好的弹性、透光性,在 300 纳米以上有很好的透光性。选用硅油作为液体材料,硅油具有很好的耐热性、电绝缘性、耐候性、疏水性、生理惰性和较小的表面张力。

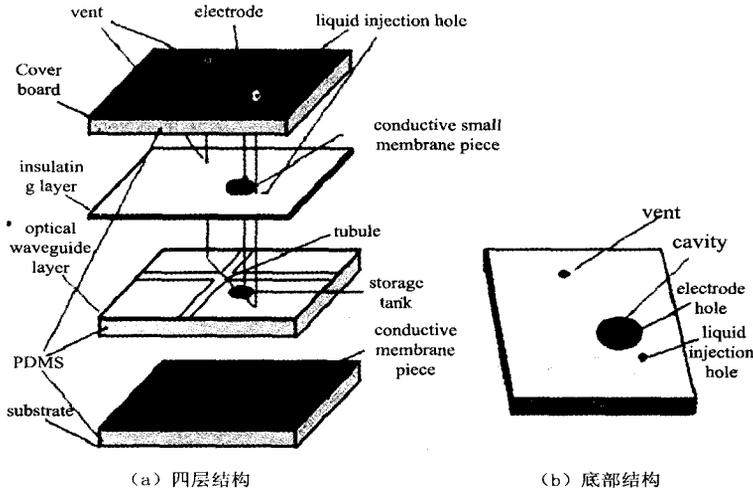


图 1 光开关结构示意图

光开关的工作过程:在盖板上的电极施加正电压,使绝缘层的小膜块带正电,与带负电的底板之间存在引力,把小槽中的硅油压入细管,光直接穿过细管传播,不改变光束的传播方向,实现光开关的“关”动作;在盖板上的电极加负电压,使绝缘层的小膜块带负电,与带负电的底板之间存在排斥力,于是绝缘层对储液小槽的硅油产生向上的吸引力,使绝缘层向上鼓起,使细管中的硅油流回储液小槽,光在细管壁上发生全反射,进入另一流道,实现光开关的“开”动作。

2 理论分析

采用 Comsol^[8,9] 软件对光开关的波导层的传输性能进行仿真分析。Comsol 是一款基于有限元方法^[10]的多物理场仿真软件。波导层所用材料折射率范围在 1.45 ~ 1.5(如没有特别说明,仿真折射率采用 1.49,波长设定为 1.55 μm)。建立几何模型并对波导层传输性能进行理论仿真。

$$\text{定义 } \eta = P_{\text{out}}/P_{\text{in}} \quad (1)$$

为光功率的透过率,式中 P_{out} , P_{in} 分别为输入端和输出端的光功率。插入损耗定义为

$$IL(\lambda) = -10\log[P_{\text{out}}(\lambda)/P_{\text{in}}(\lambda)] \quad (2)$$

式中, $P_{\text{out}}(\lambda)$ 为输出端口的光功率, $P_{\text{in}}(\lambda)$ 为输入端口收到的光功率。串扰定义

$$XT_i(\lambda) = 10\log[P_i(\lambda)/P_{\text{in}}(\lambda)] \quad (3)$$

式中, $P_i(\lambda)$ 为非输出端口 i 收到的光功率, $P_{\text{in}}(\lambda)$ 为输入端口的光功率。

光开关工作原理:当细管中注入硅油时,其折射率为 1.49,光束在波导层直线传播,即为光开关的“关”状态,分别计算输入端口(端口 1)和输出端口(端口 3)的光功率 P_{in} , P_{out3} (由于是 2D 模型,因此计算的是线平均光功率),由式(1)计算得出 $\eta = P_{\text{out3}}/P_{\text{in}} = 2.13 \times 10^{-8} \text{ N/s} / 2.2 \times 10^{-8} \text{ N/s} = 96.8\%$,计算端口 3 的插入损耗 $IL_3 = 0.12 \text{ dB}$,计算端口 2 和端口 4 的光功率分别为 $2.54 \times 10^{-11} \text{ N/s}$, $1.17 \times 10^{-11} \text{ N/s}$,由式(3)分别计算端口 2 和端口 4 的串扰, $XT_2 = -29.4 \text{ dB}$, $XT_4 = -32.7 \text{ dB}$ 。

除去细管中的硅油,使其中呈真空,则其折射率为 1,光束传至细管时在管壁形成全反射,即可实现光开关的“开”状态,仿真结果如图 4 所示。分别计算输入端口(端口 1)及输出端口(端口 4)的光功率,由式(1)计算透过率 $\eta = 1.86 \times 10^{-8} \text{ N/s} / 2.23 \times 10^{-8} \text{ N/s} = 84.9\%$,由式(2)计算端口 4 的插入损耗, $IL_4 = 0.75 \text{ dB}$;计算端口 2 和端口 3 的光功率分别为 $1.26 \times 10^{-10} \text{ N/s}$, $1.26 \times 10^{-9} \text{ N/s}$,由式(3)分别计算端口 2 和端口 3 的串扰, $XT_2 = -22.4 \text{ dB}$, $XT_3 = -12.4 \text{ dB}$ 。

3 优化分析

(1)细管偏转角度对波导层传输性能的影响分析。

在光开关“关”状态下,细管折射率和波导层折射率相同,透过率不变。

研究光开关“开”状态时的情况。定义反射面与波导层夹角为 45°时, $\theta = 0$;反射面逆时针偏转时, θ 为负值;反射面顺时针偏转时, θ 为正值。分别计算 θ 从 -5°变化到 +5°时,光功率的透过率的变化情况,得出曲线关系如图 2 所示。

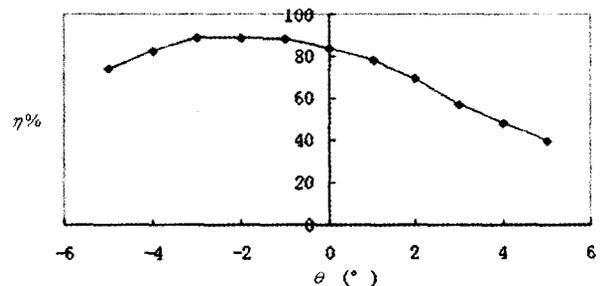


图 2 细管偏转角度对透过率的影响(开状态)

由图 2 可知,反射面逆时针偏转 2 ~ 3 度时,透过率最大,这是由于光束到达反射面时会产生穿透深度;而反射面发生顺时针偏转时,透过率减小,随着顺时针偏转角度的增大,光束已不能形成全反射。

(2)波导层的结构改变对光传输性能的影响分析。

由 Goos-Haenchen 位移理论^[11,12], 光束传播到反射面时会产生一定的穿透深度。改变光开关的结构如图3所示, 使 y 方向波导层与 x 方向波导层的夹角小于 90 度, 同时改变细管的偏转角。光传输性能如图4所示。

由图4可知, 这种结构优化在光开关“关”状态下变化不明显; 而在光开关“开”状态下, 大大提高了透过率, 当 x 方向波导层和 y 方向波导层夹角在 77.5° 附近时, 透过率最高达到 95.5% 。由式(3)计算光开关“开”状态下端口2和端口3的串扰, $XT_2 = -27.3\text{dB}$, $XT_3 = -21.8\text{dB}$, 由式(2)计算光开关“开”状态下输出端最小插入损耗, $IL' = 0.2\text{dB}$, 插入损耗比之前没有进行结构优化时减小了 0.55dB 。

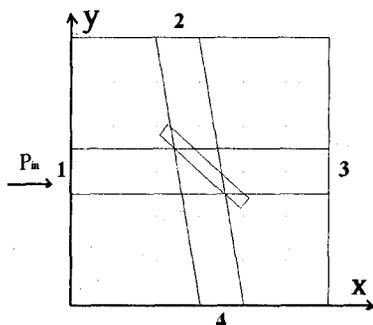


图3 斜交叉模型

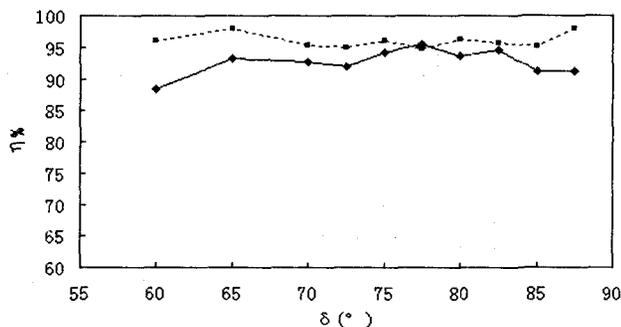


图4 x, y 方向波导夹角对透射率的影响
综合结构的优化和波导材料折射率的变化对波导层传输性能进行分析, 得出光开关“开”状态时波导层传输性能的曲线关系如图5所示。

由图5可知, 波导材料折射率为 1.5 时的透射率高于折射率为 1.45 时的透射率。且 x 方向波导层和 y 方向波导层夹角在 77.5° 附近时, 透过率最高为 96.0% , 此时端口4的插入损耗为 $IL' = 0.18\text{dB}$ 。

4 结束语

文中提出一种新型光开关结构及工作原理, 运用

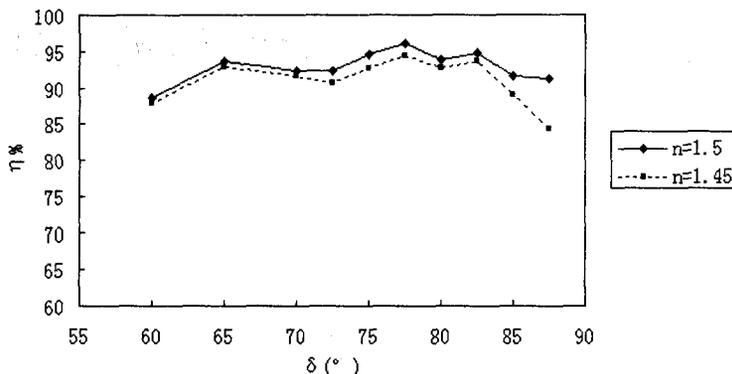


图5 优化结构下折射率对透过率的影响(开状态)

电磁场理论, 对光开关波导结构进行理论分析和仿真计算。仿真结果表明, 波导层折射率为 1.5 时, 插入损耗最小; x 方向波导和 y 方向波导夹角 77.5° 时, 可减少光开关的插入损耗。由于光开关阵列应用微流控技术, 具有体积小易于集成, 易构成大容量交换矩阵, 可重复性好、结构简单、制作成本低, 因此具有研究意义和研究价值。

参考文献:

- [1] Yu Y F, Bourouina T, Liu A Q. A micro-fluidic-optical switch using multi-droplet resonators array [C]//Transducers 2009. Denver, CO, USA; [s. n.], 2009.
- [2] Saha D. Efficient wavelength reservation protocol for lightpath establishment in all-optical networks [C]//IEEE Global Telecommunications Conference. [s. l.]: [s. n.], 2000: 1264-1268.
- [3] Gles C R, Aksyuk V, Barber B, et al. A silicon MEMS optical switch attenuator and its use in lightwave subsystems [J]. Selected Topics in Quantum Electronics, 1999 (2): 23-25.
- [4] 赵继德, 李应良. 全光网络中的 MEMS 光开关 [J]. 激光杂志, 2005, 26(3): 10-12.
- [5] 赵波. 面向 OXC 的 MEMS 光开关设计与分析技术 [D]. 南京: 东南大学, 2004.
- [6] 梁忠诚, 徐宁, 涂兴华, 等. 微流控阵列光开关芯片: 中国, 200710191063 [P]. 2009.
- [7] 徐宁, 涂兴华, 梁忠诚, 沈鹏, 李培培, 陈金秋. 电控光开关阵列微流控芯片的制作方法: 中国, 200710191064 [P]. 2009.
- [8] Yang Shibin, Stefan S, Li Qifu. Finite element analysis of SMA beam bending using COMSOL [C]//Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. [s. l.]: [s. n.], 2009: 109-111.
- [9] David P S, Nathan D S, Jeffrey D W. Using COMSOL multiphysics software to model anisotropic dielectric and metamaterial effects in folded-waveguide traveling-wave tube slow-wave circuits [C]//IEEE International Vacuum Electronics

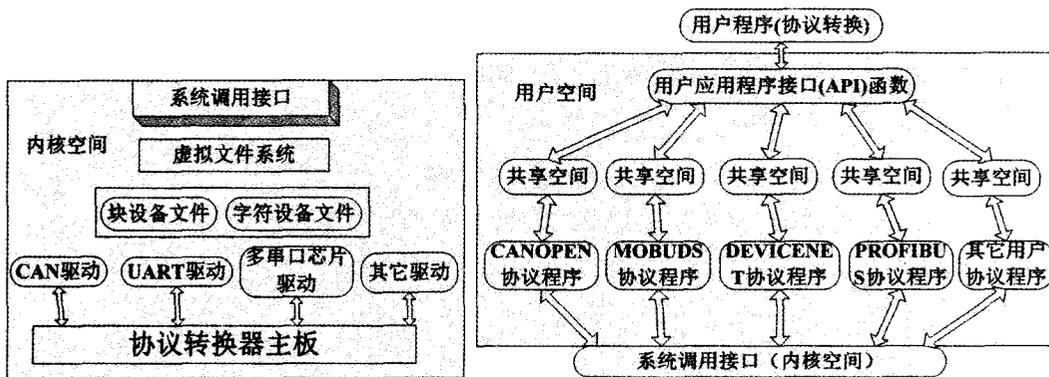


图5 系统软件体系结构(左:内核空间,右:用户空间)

个驱动。当转换器运行后首先执行引导程序,然后装载内核系统和文件系统以及启动操作系统,操作系统启动成功后开始加载上述各部件的驱动程序,当驱动程序加载完成之后,就要运行各种用户程序及相应协议程序,实现相应用户需要的功能。文中只对部分 CAN 接口驱动程序做列举。

CAN 总线 open 方法(部分驱动程序):

```
int openupcan(struct inodes * inodes, struct file *
filps)
{
if (usagecan == 0)
{ return -ABUSY;
}
usagecan++;
MODINCUSECOUNT;
return 0; }
```

3 结束语

本设计的多协议转换器适用于采用 CAN 总线及 RS-485 和 RS-232 接口设备的多种工业现场通信网络,只需要根据不同环境进行用户程序的二次开发后即可,使用方便,成本低廉。主要适用于小型工业企业的工业生产控制中,并能带来不错的经济效益。目前,该转换器目前已经在实际自动化仪表应用现场中测试,并工作稳定。由于考虑经济成本,本转换器未采用显示部分硬件模块以及对以太网的支持,如在实际应用中需要,可在硬件电路中直接进行相应扩展。

参考文献:

- [1] 刘建昌,周 玮,王明顺. 计算机控制网络[M]. 北京:清华大学出版社,2006.
- [2] 谢昊飞,李 勇,王 平. 网络控制技术[M]. 北京:机械工业出版社,2009.
- [3] Philips Semiconductors LPC2292/LPC2294, Rev. 03-1[M]. [s. l.]:[s. n.],2005.
- [4] 刘 森. 嵌入式系统接口设计与 Linux 驱动程序开发[M]. 北京:航空航天大学出版社,2006.
- [5] 李广鑫,秦贵和,刘文静,等. CAN 总线网关的设计与实现[J]. 吉林大学学报(信息科学版),2010,3(2):166-170.
- [6] 苗俊杰,乔 毅,张春光. 基于 ARM 的嵌入式混合网关的设计[J]. 工业控制计算机,2010,23(1):77-78.
- [7] 李 茜,姜秀柱,谷新尧. 嵌入式复合型工业总线网关的 CAN 口设计[J]. 微计算机信息,2008,24(9-2):33-35.
- [8] 钟鸣泉,黄学武,郑华耀. 基于 ARM 微处理器的多串口多协议网关设备设计[J]. 上海海事大学学报,2008,29(1):62-66.
- [9] 唐年庆,刘益和. 基于微处理器的协议转换网关的系统设计[J]. 微计算机信息,2008,24(5-2):27-28.
- [10] 王昊轶,赵国材,季 楠. 面向串行通信的实时数据转储网关的设计与实现[J]. 计算机系统应用,2010,19(7):130-134.
- [11] Free Scale Semiconductor, Inc. Using MSCAN on the HCS12 Family Application Note [M]. Austin, Texas: Free scale Semiconductor Inc, 2005.
- [12] Riihijarvi J, Mahonen P. Providing Network Connectivity for Small Appliances: A Functionally Minimized Embedded Web ServServer[J]. IEEE Communications Magazine, 2001(39):150-153.

(上接第 123 页)

Conference. NJ:[s. n.],2008:162-163.

- [10] Koch T B,Davies J B,Wickramasinghe D. Finite element/finite difference propagation algorithm for integrated optical device[J]. Electronics Letters,1989,25:514-516.
- [11] 余守宪. 导播光学物理基础[M]. 北京:北京交通大学出

版社,2002:16-17.

- [12] Kaiser R, Levy Y, Fleming J, et al. Resonances in a single thin dielectric layer: Enhancement of the Goos-Haenchen shift[J]. Pure and applied optics, 1996,23:891-898.