

平面单片集成 声光波导光开关

朱京平 著



科学出版社
www.sciencep.com

TN2/22

2008

平面单片集成声光波导光开关

朱京平 著

西安交通大学出版基金资助
国家自然科学基金资助项目

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书主要论述了新型集成声光波导光开关理论及关键技术问题。全书共分6章。第1章对光开关国内外发展现状和存在问题进行了分析;第2章至第5章分别就声光开关的基本机构单元有关的理论及设计问题进行了研究,其中,第2章讨论短程透镜,第3章研究声光互作用,第4章着重研究扩散平板光波导,第5章专门讨论光纤与平板光波导耦合;第6章就整体开关的结构设计、指标确定及 1×4 开关的实现进行了研究。书中每章后有小节,便于把握全章。

本书可供光电子技术、光通信技术领域的科研人员、工程技术人员以及相关专业的教师、研究生、高年级本科生等参考阅读,对于从事集成光波导器件研究、模拟、设计及开发的人员,亦有所帮助。

图书在版编目(CIP)数据

平面单片集成声光波导光开关/朱京平著. —北京:科学出版社,2008
ISBN 978-7-03-020044-0

I. 平… II. 朱… III. 光电子技术 IV. TN2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 003284 号

责任编辑:王志欣 孙 芳 潘继敏 / 责任校对:陈丽珠

责任印制:刘士平 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008年2月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2008年2月第一次印刷 印张: 12 1/2

印数: 1—3 000 字数: 239 000

定价: 32.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈明辉〉)

前 言

目前,随着传输领域波分复用等技术的成熟,光纤的传输容量越来越大,但信息交换与路由选择的速度却远远不能满足光信息网络的要求,光开关技术成为光信息网络发展的瓶颈,越来越多地受到学术界、企业界和政府的关注。

人们对光开关的研究已有约 30 年的历史,由于器件材料、工作原理等各方面的不同,光开关呈现机械光开关、电光开关、声光开关、热光开关、磁光开关、液晶光开关和半导体光放大器(SOA)光开关等多元化发展的趋势,并且大多数尚处于研究阶段。目前,商用的光开关方案以机械光开关为主,其存在稳定性差、开关速度慢(ms 量级)、对温度依赖性大等缺点,仅适用于网络重构、线路交换、保护倒换、线路监控等,远不能满足光分组交换的要求,所以迫切需要发展其他类型的光开关。其中,集成光波导型光开关具有体积小、重量轻、与光纤适配等优势,成为光开关的重要研究方向之一。

作者密切关注国内外光开关方面发展动态,通过深入研究分析国内外文献,针对现有光开关开关速度、开关信道数、可扩展性、集成度等诸方面无法兼顾的缺陷,提出一种基于光波导短程透镜光路和多通道高分辨可调声光偏转机制的 $N \times N$ 互连路由光波导开关。这种光开关将短程透镜光路与声光偏转装置巧妙结合,一方面具有短程透镜易于在薄膜波导芯片上集成、可消球差和色差、孔径角大等优点,另一方面还具有可调声光偏转器 $1 \times N$ 基本结构、偏角大等优点,整个器件是一种表面薄膜结构,集成度高、工艺重复性好、性价比高,克服了现有的条型光波导光开关结构庞大、互连困难、驱动复杂、加工与集成困难、开关路数少、并行处理能力差等缺陷,并且经进一步研究还发现,这种结构不仅可以实现光开关的单片集成、多路开断与互连,还可能实现波分路由功能,在光通信、光信息处理、光计算等领域具有广阔的应用前景。这一工作得到国家自然科学基金“平面单片集成 $N \times N$ 互连路由光开关研究”(项目编号:60007006)和“新型短程透镜——二元光栅型光波导波分复用器研究”(项目编号:60377020)的资助。本书是对有关研究工作的总结和发展,阐述了器件设计思想,进行了一系列基础研究,主要包括以下内容。

(1) 短程透镜方面。建立了光波导短程透镜系统射线光学传输规律,推导了短程透镜基点与主面表达式及相关性质,确立了短程透镜射线光学成像规则;建立了短程透镜聚焦效果分析的相位变换模型,并用 BPM 方法分析了光在其中的传输及聚焦效果;比较研究了几种不同短程透镜解析法设计方案。研究表明,短程透镜在大的有效口径内具有优异的聚焦性质,其主点位于光波导短程透镜旋转轴上,主平面为以焦点为圆心、以焦距为半径、在 origin 相切的圆被透镜口径截出的两段圆

弧;短程透镜的成像规则与传统光学透镜成像规则类似而有所区别,就此根据基点与基面性质可以确立短程透镜物象关系的作图法求取原则。这一原则不仅可以在近轴区成立,而且在远轴区亦成立,弥补了以往短程透镜仅有针对特定共轭物象点的传递关系的缺陷,大大方便了短程透镜在所需系统中的应用。

(2) 声光互作用方面。通过比较分析几种声光互作用理论研究方法,优选出计算过程简单、计算结果直观的分步傅里叶变换法和多重平面波散射理论进行声光互作用过程的数值模拟分析。用分步傅里叶变换法研究了入射光的散射以及叉指换能器的声场激励和声场衍射对衍射效率的影响,分析了各种声光互作用参数变化对声光衍射的影响,计算了两片相互倾斜的叉指换能器声场分布情况,以及 Gauss 型入射光与这种声场的相互作用;用多重散射理论分析不同情况下声光衍射的耦合波方程,用龙格-库塔方法编程对平面光场与平面声场的声光互作用过程进行了详细数值模拟分析,验证了特征长度在声光器件设计中的正确性。通过对声场的激励问题研究,证实了声表面波虽是椭圆偏振的瑞利波,但在 y 切 z 传(声场)铌酸锂中将声场进行平面波近似是合理的。分析了声光开关各主要参数变化对各级衍射光相对强度的影响,为叉指换能器的优化设计及激励源功率的选取提供了理论依据。

(3) 光纤与平板波导的耦合方面。建立了耦合模型,提出利用理想光纤端接微透镜进行光纤-芯片的端面高效耦合,推导出理想光纤端接微透镜母线表达式,对其光传输特性分别通过蒙特卡罗模拟、BPM 仿真与 FDTD 仿真进行了较详细的数值分析,通过计算结果的对比得到了理想情况下的光纤端面微透镜结构。建立了光纤-平板光波导耦合结构模型,对平板波导与光纤端接微透镜的耦合问题进行了系统的 BPM 分析计算,发现光纤端面微透镜可以大大提高光纤与波导的耦合效率。这为进一步研究光纤-波导耦合过程的优化设计打下了良好的基础。

(4) 提出一种新型平面单片集成 $N \times N$ 声光开关结构思想,分析了其工作原理,根据各章理论及数值模拟结果分析了其各个组成部分的参数选择原则与方法,并以 1×4 光开关、 4×4 波长路由光开关为例分析了选材、结构设计、具体参数设计、工艺等问题。

本书是作者在师从西安交通大学唐天同教授完成的博士学位论文、师从中国科学院西安光学精密机械研究所侯洵院士完成的博士后出站工作报告及承担并完成的国家自然科学基金研究报告的基础上,加以整理、修改而成。本书出版付梓之际,对国家自然科学基金委员会信息科学部的资助,对唐天同教授、侯洵院士的教导,对课题组工作人员、历届研究生的辛勤劳动,对西安交通大学电子与信息工程学院、中国科学院西安光学精密机械研究所瞬态光学技术国家重点实验室、中国科学院半导体研究所集成技术中心、中国光学学会纤维光学与集成光学专业委员会及集成光电子与光通信领域的各位同仁这些年来给予我的支持和帮助,一并表示

衷心的感谢！同时，感谢西安交通大学专著出版基金的资助！

本书是一部关于新型声光波导光开关总体及其组成部分的理论及关键技术的探索性著作，希望本书的工作能给光开关及光波导研究工作者带来点滴的启示，起到抛砖引玉的作用。由于有些工作尚待深入，希望借本书的出版，能搭建一个平台，以利与感兴趣的有关同仁进行深入探讨，促进相关研究的进一步开展，以期对我国的光通信事业做出一点绵薄的贡献。

由于作者水平有限，书中难免存在不妥之处，敬请读者批评指正。

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究目的及意义	1
1.2 光开关的主要性能指标	2
1.2.1 整体指标	2
1.2.2 器件性能参数	3
1.3 光开关研究国内外发展动态	3
1.3.1 传统机械式光开关	3
1.3.2 MEMS 光开关	5
1.3.3 光纤、固体波导型光开关	5
1.3.4 其他类型光开关	8
1.4 主要研究内容	9
第 2 章 光波导短程透镜射线光学传输理论与消像差透镜设计	10
2.1 概述	10
2.2 短程透镜微分方程	13
2.3 短程透镜中光传输的射线光学分析	16
2.3.1 短程透镜的焦点与主面	16
2.3.2 焦点与主面性质分析	19
2.3.3 短程透镜物像关系求取的作图法	20
2.3.4 讨论	22
2.4 消球差短程透镜解析设计理论	22
2.4.1 母线方程 $l(r)$ 表达式与入、出射光线经度角差 $F(\psi)$ 间的关系	22
2.4.2 $F(\psi)$ 表达式	24
2.5 过渡纬圈上曲率半径不为零的透镜设计	25
2.5.1 最初的解析解	25
2.5.2 解析改进解——纬圈上曲率不为零的透镜设计	26
2.5.3 最优解设计	28
2.5.4 完全无曲率奇点的短程透镜的设计	29

2.5.5 几种解析设计结果比较分析	31
2.6 短程透镜聚焦效果数值分析	39
2.6.1 光波导中光场传输的数值分析方法概述与方法选择	39
2.6.2 相位变化法分析模型构建	41
2.6.3 模拟结果	42
2.6.4 结果讨论	44
2.7 小结	46
第3章 声光相互作用理论及数值模拟分析	47
3.1 概述	47
3.2 声光相互作用的定性描述	48
3.2.1 光栅模型	48
3.2.2 量子模型	50
3.3 声光相互作用的基本理论	52
3.3.1 基于 Maxwell 方程的简单理论	52
3.3.2 积分方程方法	54
3.3.3 耦合波方法	57
3.3.4 傅里叶变换方法	58
3.3.5 分步傅里叶变换方法	61
3.3.6 多重平面波散射理论	62
3.3.7 讨论	67
3.4 声光相互作用的分步傅里叶变换方法数值模拟	68
3.4.1 声光相互作用基本方程通式	68
3.4.2 实际分析中的假设及相应表达式	69
3.4.3 分步傅里叶变换处理	70
3.4.4 平面波声场与 Gauss 型光场相互作用的数值模拟	72
3.4.5 实际声场与 Gauss 光的相互作用	78
3.5 声光相互作用的多重平面波散射理论数值模拟	88
3.5.1 多重平面波散射理论	89
3.5.2 声光相互作用过程数值模拟与分析	92
3.5.3 IDT 各参数对衍射效率的影响	104
3.6 小结	108
第4章 扩散平板光波导传输特性与等效阶跃平板光波导模型	109
4.1 引言	109

4.2 扩散离子浓度分布与折射率分布	109
4.2.1 钛离子(Ti^{4+})浓度分布	109
4.2.2 扩散波导的折射率分布	110
4.3 有效折射率法对扩散光波导的处理	112
4.3.1 有效折射率与模式色散方程	113
4.3.2 模式色散方程的归一化处理	114
4.4 扩散平板光波导 MATHCAD 模拟结果及分析	115
4.5 扩散波导的等效阶跃平板波导模型	120
4.6 小结	123
第5章 基于微透镜机构的单模光纤-芯片耦合机制	124
5.1 光纤-芯片耦合现状	124
5.2 光纤端接微透镜与芯片耦合模型建立	127
5.2.1 光纤端接微透镜原理模型	127
5.2.2 光纤-芯片耦合模型	128
5.3 完全消球差的光纤端接微透镜	129
5.4 光纤-平板光波导耦合的蒙特卡罗模拟分析	131
5.4.1 平板波导位置优化	131
5.4.2 蒙特卡罗模拟过程分析	134
5.4.3 小结	144
5.5 光纤端接微透镜特性的光束传输法(BPM)模拟	144
5.5.1 光纤端接微透镜聚焦特性 BPM 计算模型	145
5.5.2 光纤端接微透镜聚焦特性全矢量模拟(TE/TM)	146
5.5.3 光纤端接微透镜与芯片耦合过程的 BPM 模拟	157
5.6 小结	162
第6章 平面单片集成声光波导光开关设计与实现	163
6.1 $N \times N$ 型集成平面波导开关的结构与工作原理	163
6.2 各组成结构单元设计思路与参数确定原则	164
6.2.1 光输入/输出耦合单元	164
6.2.2 波导	164
6.2.3 短程透镜	165
6.2.4 叉指换能器	166
6.3 4 信道声光波导开关	169
6.3.1 1×4 声光波导开关结构	169

6.3.2 4×4 声光波长路由光开关	170
6.3.3 部分工艺实现	171
6.4 小结	175
参考文献	176
附录	189

第1章 绪论

1.1 研究目的及意义

随着知识经济时代的到来,信息量、信息传递速度和控制复杂程度急速增长,这无疑对光传输、信息切换与路由选择系统提出了革命性的要求。目前,光子器件与光学系统在测量、通信、电信、图形识别、信号处理、光计算等领域的应用正在不断增加,导致光信息系统(包括光纤通信、光存储、光计算与光信息处理等)发展非常迅速,应用日益广泛。光信息系统的重要组成部分是传输光网(最有代表性的是光纤网)、光路切换与路由选择部分。在传输领域中,以光缆取代电缆的革命取得了巨大的成就,于是,人们对能否将光子学用于信息切换或路由选择系统产生了极大兴趣。

器件是系统的基础,一种新型器件的出现往往会有力地促进光信息系统的跨越式进步。正如掺铒光纤放大器与波分复用器在光传输领域中的作用一样,信息切换或路由选择系统的核心器件是光开关。目前,随着传输领域波分复用等技术的成熟,光纤的传输容量越来越大,但信息交换与路由选择的速度却远远不能满足光信息网络的要求,导致光开关技术成为光信息网络发展的瓶颈,受到越来越多的政府与学者关注。

光开关用于实现大量高速信息在网络光路中的分组切换与选择吸收,它可以集成到各种不同的光网元中,在光通信领域里的应用非常广泛,如自动保护倒换、网络监视、元器件测试、光上下路复用(OADM)、光交叉连接(OXC)、光路由器等。随着信息高速公路的启动,不久的将来,光纤入户等业务呼唤功能更全、指标更先进的高速纯光开关消除光电转换,完成信号路由功能,以实现网络的高速率和协议的透明性。同时,随着光信息系统向高速度、大容量发展,迫切需要光开关向集成光波导器件方向发展。

集成光波导型器件是利用类似半导体集成电路的制造技术,把光学元件以薄膜形式集成在同一基片上,构成的具有独立功能的微型光学系统。它对信号进行直接处理,从而具有体积小、重量轻、易于实现控制、适合于光信息处理、能与光纤传输系统配合使用、可极大提高光学系统快速响应能力和信噪比等优势,但以往由于光波导的各种损耗不容易做到很小,限制了它的发展。近年来,由于时代的需求,加之微电子、光电子微细加工技术的发展,光波导制备技术日益成熟,目前光波导制备技术已经使波导各种损耗之和小于 0.1dB/cm ,较10年前的 $1\sim 5\text{dB/cm}$ 有

了质的飞跃,因此,各种光子集成器件已经展现在人们面前,引起光电子设计制造者、系统设计者、系统经营者的高度重视。集成光波导化光开关成为光通信与光通信系统的重要研究方向之一。

本书提出一种基于光波导短程透镜光路和多通道高分辨可调声光偏转机制的 $N \times N$ 互连路由光开关,整个器件是一种表面薄膜结构,克服了现有的条型光波导光开关结构庞大、互连困难、驱动复杂、加工与集成困难、开关路数少、并行处理能力差等缺陷,还能实现波分路由功能,在光通信、光信息处理、光计算等领域具有重要科学意义和应用价值。

1.2 光开关的主要性能指标

光开关的主要性能参数包括两大类:一类为光开关的整体性能指标,另一类为光开关的器件参数。

1.2.1 整体指标

光开关的整体指标主要包括以下方面。

(1) 交换矩阵。反映光开关的交换能力。网络不同位置要求的交换矩阵大小不同,如骨干网上 $>1000 \times 1000$ 。大交换容量开关可以通过小容量开关叠加而成。

(2) 交换速度。衡量光开关性能的重要指标。故障重新选择路由时间一般在ms级,而光互联网的分组交换时间要求达到ns级。

(3) 损耗。影响光开关的级联,限制光开关的扩容能力。包括端口耦合的损耗、自身材料损耗等。一般来说,自由空间光交换的损耗低于波导交换光开关损耗,如液晶/MEMS光开关损耗 $1 \sim 2\text{dB}$,铌酸锂固体光开关损耗约 4dB 。

(4) 交换粒度。反映光开关交换业务的灵活性。根据网络业务需求不同分为:波长交换、波长组交换和光纤交换。

(5) 无阻塞特性。光开关的任一输入端能在任意时刻将光波输出到任意输出端的特性。大型或级联光开关的阻塞特性更为明显。

(6) 升级能力。根据需要随时增加光开关容量的能力。很多开关结构可容易地升级为 8×8 或 32×32 ,但却不能升级到成百或上千的端口,因此,只能用于构建OADM或城域网的OXC,而不适用于骨干网上。

(7) 可靠性。某些极端情况,光开关可能需要完成几千、几万次的频繁动作;有些情况(如保护倒换),光开关倒换的次数可能很少,此时,维持光开关的状态是更主要的因素。

1.2.2 器件性能参数

光开关器件的性能参数主要包括以下几个。

(1) 插入损耗。输入和输出端口之间以 dB 表示的光功率的减少值,表示为与开关的状态有关。

(2) 消光比。两个端口处于导通和非导通状态的插入损耗之差。

(3) 开关速度。开关端口从某一初始态转为通或断所需的时间,开关时间从在开关上施加或撤去转换能量的时刻起测量。

(4) 回波损耗。从输入端返回的光功率与输入光功率的比值,与开关的状态有关。

(5) 隔离度。某端口输入的光在两个相隔输出端口光功率的比值。

(6) 远端串扰。光开关接通端口的输出光功率与串入另一端口的输出光功率的比值。

(7) 近端串扰。当其他端口接终端匹配,连接的端口与另一个名义上是隔离的端口的光功率之比。

另外,对于机械式光开关,还有回跳时间、寿命、重复性等参数;对于波导型开关,还有偏振相关性、温度稳定性、耐冲击与振动性及环境性能等参数。

1.3 光开关研究国内外发展动态

人们对光开关的研究已有二三十年的历史,目前,在光传送网中,各种不同交换原理和实现技术的光开关被广泛地提出,它们具有不同的特性,适用于不同的场合。根据开关结构可分为传统机械光开关、MEMS 光开关、固体光开关等;依据不同的光开关原理可分为机械光开关、热光开关、电光开关、磁光开关和声光开关等;依据光开关的交换介质可分为自由空间交换光开关和波导交换光开关;根据阻塞特性可以分为严格非阻塞型、可重排非阻塞型、阻塞型;根据开关机制可以分为波长选择型、波长互换型、内调制型;根据光开关的设计技术可以分为集成光学光开关、全光纤光开关、微光学光开关和混合光开关。随着新技术的发展,将有更多类型的光开关出现。本书采用光开关结构分类的方式。

1.3.1 传统机械式光开关

传统机械式光开关靠光纤或光学元件移动,使光路发生改变。它又可分为移动光纤式(动纤式)、移动套管式、移动反射镜式、移动棱镜式,如图 1-1 所示。

机械式光开关的结构优点是插损低($\leq 2\text{dB}$)、隔离度高($\geq 45\text{dB}$)、不受偏振和波长影响;缺点是速度慢($s \sim ms$)、体积大、受机械结构限制严重。

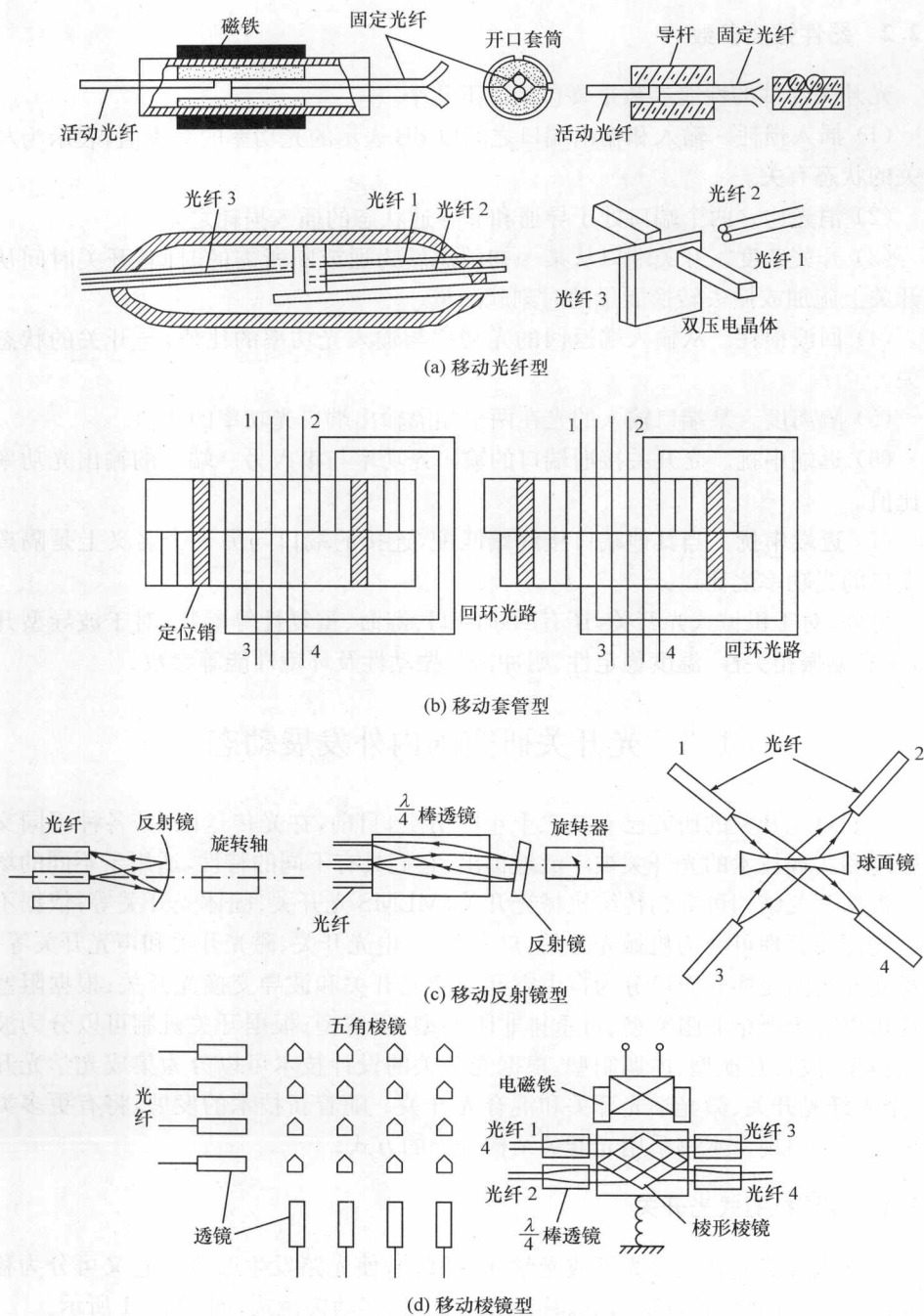


图 1-1 传统机械式光开关结构

1.3.2 MEMS 光开关

为了解决传统光开关的缺陷,人们于 20 世纪 90 年代提出微机械式光开关(MEMS 光开关),它利用微镜的机械转动来实现开关功能,图 1-2 所示是几种典型的结构。图 1-2(c)是很有代表性的 OMM 公司的 8×8 MEMS 光开关,在中间芯片上集成了微镜阵列,以斜线表示,通过施加静电力可控制其旋转,图中有 5 个微镜处于反射状态,用于实现不同路径的切换,其中所有的信号传播都是双向的,其插入损耗小于 4dB,开关时间小于 10ms。这种二维技术受光程损耗的限制,最大可以实现 32×32 端口。总之, MEMS 光开关的优点是体积较传统机械式小,开关速度加快(ms 级);缺点是任何机械摩擦、磨损及外部振动都可能使其可靠性降低,且驱动结构非常复杂,成本也随之增加。

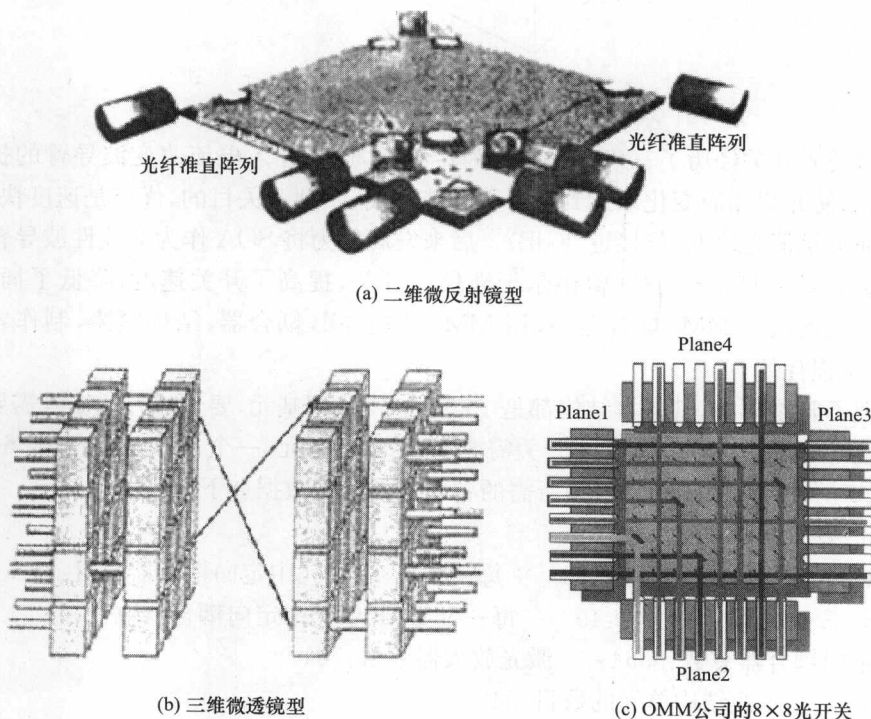


图 1-2 MEMS 光开关

1.3.3 光纤、固体波导型光开关

非机械式光开关,又称固体光开关,利用电光、声光、磁光、热光等效应工作,优点是体积小、重量轻、易于实现控制、适合光信息处理及与光纤传输系统配合使用;缺点是技术难度大,成本高。这类光开关分电光开关、声光开关、热光开关等。人

们认为这类光开关代表光开关的未来发展方向。

(1) 电光开关。

电光开关中最为典型的是马赫-曾德尔干涉仪型开关(如图 1-3 所示)。

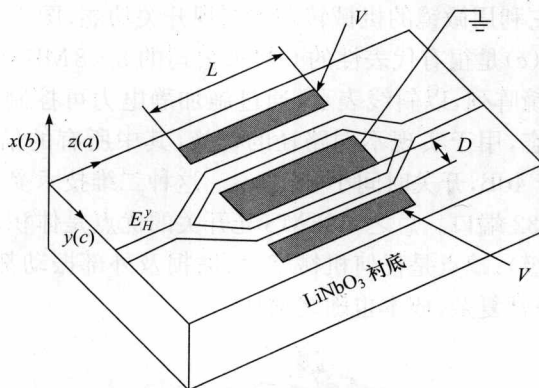


图 1-3 马赫-曾德尔干涉仪型电光开关

这类光开关经历了三代。第一代为传统型,通过注入电流改变波导臂的折射率,从而使光程相应变化以达到相干增强或相消,实现开关目的,优点是速度快(ns级),缺点是消光比低(仅接近 20dB)。后来发展成为将 SOA 作为非线性波导臂的混合集成对称型电光马赫-曾德尔干涉仪型开关,提高了开关速度,降低了插损。之后又发展成为 MMI 耦合器型,用 MMI 替换 3dB 耦合器,结构紧凑,制作容差大,功率损耗低。

但不管是哪类,其基本结构都是 1×2 或 2×2 型基元,要形成开关矩阵需要通过微电子累加集成,一个 4×4 开关需要 6 个 2×2 基元,一个 8×8 开关需要 64 个 2×2 基元,而 128×128 光开关所需的各类器件统计数据如下。

① 有源器件数目合计。

4×7 开关矩阵模块数:176 每一个 4×7 单元中定向耦合器数目:28

8×8 开关矩阵模块数:49 每一个 8×8 单元中定向耦合器数目:64

定向耦合器总数:8064 激光放大器数目:784

4×4 积木式结构单元的数目:548

② 无源单模连接数目合计。

互连接点/蝴蝶型连接(包括放大器):1568 导波接线总数:4288

所有 4×7 单元中的导波线:224 无放大器时的光插入损耗:48dB

可见,元部件总数庞大,8064 个分立定向耦合器的电驱动令人生畏,在矩阵需要快速复位以处理时间复用数据的情况下更是如此;组件的大插入损耗使得必须用两排放大器才能将信号强度提升恢复到一个可接受的水平,这使结构更加复杂。

(2) 热光开关。

热光开关常在介质材料,如玻璃或硅片上,先制作波导结构,再蒸镀金属薄膜加热器,金属薄膜通电发热,导致其下面的波导的折射率发生变化,从而实现光的开关动作。其分为数字式光开关(digital optical switches, DOS)和干涉式光开关(interferometric switches)两类,后者结构紧凑,但对波长敏感,需要进行温度控制。热光开关现有水平为插损 3~4dB,消光比为 20dB。目前,研究的热点正由硅转向有机聚合物,其缺点是开关速度慢(ms 级),基本结构为 1×2 型,需要通过集成累加形成开关阵列。供应商主要有 NTT Electronics、JDSU、Corning、Alcatel、Akzo Nobel 等公司。

(3) 磁光开关。

磁光开关的工作原理是法拉第旋光效应。通过外加磁场的改变来改变磁光晶体对入射偏振光偏振面的作用,从而达到切换光路的作用。其优点包括:相对于其他的非机械式光开关,具有驱动电压低、串扰小等优势;相对于传统的机械式光开关,具有开关速度快、稳定性高等优势。

(4) 声光开关。

声光开关是利用声光衍射来工作的一类固体光开关。这类光开关分微小光学型、光纤型、光波导型三类,具有开关速度快、插入损耗低、串扰小、消光比高、透明性好、功耗小、由于没有移动部分从而可靠性较高等优点,但现有缺点是成本较高且不易扩展。经过各国研究者多年的努力,已取得了不少进步,但以光纤型和微小光学型声光开关进展更快。波导型声光开关大都是声光可调滤波器结构,建立在条型光波导基础上,开关基元为 1×2 型。现有声光开关交换速度从 500ns 到 10 μ s,损耗低于 2.5dB。1996 年,Smith 等采用分开 TE 模式和 TM 模式的方法得到一种 2×2 声光开关。同年,Jackel 等研制的 8 通道声光开关,波长间隔达到 2nm。1997 年,Culverhouse 等先后提出了全光纤的对偏振不敏感的 2×2 和 3×3 声光开关结构。1998 年,日本丰桥技术科学大学研制的共线型声光开关,在互作用长度为 10mm 时,开关时间为 1.5 μ s。1999 年,清华大学电子系用单模光纤研制的声光开关其消光比 24dB,插入损耗 0.1dB,开关时间 20 μ s。2000 年,北京大学研制出一种可同时得到高消光比和高开关速度的声光开关,其消光比达 32dB,开关时间 300ns。2002 年,韩国的 Park 等研制了一种全光纤的波长可调声光开关,由一个声光可调滤波器和一个模式选择耦合器构成,开关时间 40 μ s,串扰 20dB,损耗 2dB。2004 年,贝尔实验室研制了一种新的光开关结构,使用外差接收器作为子系统,可以实现同时面向多端口的广播功能。LMGR 公司声称其 1×1024 光纤线性声光开关无机械部分,使用电和计算机控制声光偏转装置,能在几个微秒内将输入信号送到输出端,转向器可以任意转向。Brimrose 公司的 1×2 声光开关交换速度 525ns,相对损耗 2.5dB。目前,供应商有 Gooch and Housego、Light