

文章编号:1673-1255(2005)03-0045-04

平面光波导器件及应用分析

刘光灿¹, 白廷柱²

(1. 长沙学院, 湖南 长沙 410003; 2. 北京理工大学信息科学技术学院光电工程系, 北京 100081)

摘要:分析了平面光波导器件的关键技术及其应用情况. 介绍了平面光波导器件的几种不同种类, 包括硅基体沉积二氧化硅光波导, 铌酸锂镀膜金属膜光波导, 聚合物(Polymer)光波导等组成. 利用平面光波导技术, 可制造出波分复用器、解复用器、光开关、耦合器、阵列波导光栅等各种不同的集成光学器件.

关键词:平面光波导; 集成光学; 光通信器件; 阵列波导光栅

中图分类号: TN929.11

文献标识码: A

Analysis of Planar Optical Waveguide Devices and Its Application

LIU Guang-can¹, BAI Ting-zhu²

(1. Changsha College, Changsha 410003, China; 2. Department of Optical Engineering, School of Information Science and Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: The key technology and application of planar optical waveguide are analyzed, and different kinds of planar optical waveguide devices including silicon-based silicon dioxide deposition waveguide, LiNbO₃ waveguide incorporating a metal film, polymer waveguide, are presented. The integrated optical communication devices, such as WDM/De WDM, optical switch, coupler, AWG, can be manufactured by using planar optical waveguide technology.

Key words: planar optical waveguide; integrated optics; optical communication device; AWG

在电子技术领域, 分立器件发展为集成电路的历史改变了电子产业生产模式. 同样, 在光学技术领域, 目前单一形式的各类光学元件走向未来集成光学之路, 也将大大改变当前传统光学技术的现状, 对军事及民用信息系统的开发产生深远影响.

在集成光学的拼图板块中, 光有源器件中的发光源已经采用半导体激光器, 薄弱之处是光无源器件. 平面光波导技术, 因采用半导体制程, 不仅具有低成本潜力, 而且具有整合器件能力, 被视为集成光学拼图中重要的一块. 本文将介绍平面光波导关键技术及应用情况.

1 平面光波导材料

由于平面光波导(PLC)是通过控制折射率来

设计器件, 因此材料的选择成为重点. 目前在材料上主要有二氧化硅(Silica)、绝缘硅(SOI)、铌酸锂(LiNbO₃)与高分子(Polymers)等数种材料. 各种材料之特性, 如表 1 所示. 其中二氧化硅材料稳定度好, 其折射率与厚度控制皆较容易^[1,2].

表 1 各种 PLC 材料比较

| | Silica | Silicon | LiNbO ₃ | Polymers |
|-----------------------|--------|---------|--------------------|----------|
| 晶圆尺寸 (Size) | 8" | 12" | 3" | 3" |
| 良率 (Yield rate) | Middle | Middle | Low | Low |
| 材料稳定度 (Uniformity) | Good | Good | Middle | Good |
| 成本 (Cost) | Low | Low | High | Low |

收稿日期: 2005-02-21

作者简介: 刘光灿(1958-), 男, 湖南人, 长沙学院教授, 北京理工大学博士研究生, 研究方向为光电技术.

从这类波导材料和器件研制情况来看,大 Δ (Δ 为波导芯层和限制层的相对折射率差)材料是发展的一个方向.大规模的平面光波导集成电路(Planar lightwave circuit, PLC)要求各分立光波导器件尺寸最小化,另一方面,许多分立光波导器件通常由弯曲波导相连接.弯曲波导的弯曲半径决定了整个波导回路的尺寸,弯曲半径越小,集成回路的尺寸越小.然而,弯曲半径越小,弯曲所带来的辐射损耗越大.由于弯曲损耗随着 Δ 的增大而指数级地减小,同时,大 Δ 的材料对光场的限制更强,也有利于制作尺寸紧凑的分立波导器件,因而大 Δ 的波导材料成为当前平面光波导器件研究的一个热点.

Little Optics 公司报道了一种高 Δ 的 SiON 材料,采用这种材料可以大大减小传统的 PLC 的尺寸.图 1 是他们报道的实际器件.单个器件

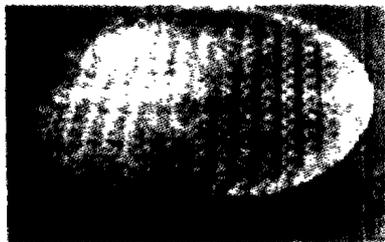


图 1 6 mm \times 25.4 mm 硅片上制作的 200 个 40 通道 100GHz 阵列波导光栅(AWG)

的尺寸只有 5 mm \times 5 mm.与传统的 Ge 掺杂 SiO₂ 波导材料制作的 AWG 相比,器件性能并没有下降.例如,表征材料折射率和厚度变化的 filter noise floor 小于 -55 dB,随机相差低于 8 nm^[3].

铌酸锂的优点是反应速度快,适合做光调变器等.不过因铌酸锂是属双折射率材料,经过长距离传输后,极化模态色散(Polarization - mode dispersion; PMD)较严重.

新型聚合物材料是平面波导技术发展的另一个方向.传统的 SiO₂ 平面波导技术具有损耗低、稳定性好的优点,但由于高温工艺引起的材料双折射, SiO₂ 基器件通常具有大的偏振依赖性,同时, SiO₂ 的热光系数较小,无法制作数字热光开关,更不能制作电光调制器件.与之相比,聚合物材料通常具有较大的热光系数和电光系数,可以制作低串扰、低偏振依赖性、带宽大的数字光开关.聚合物波导器件的不利之处在于其较

大的损耗.

由于光通信器件对于器件的稳定性要求严苛,目前平面光波导的材料在稳定度方面仍有疑虑,所以如何提高材料稳定度是未来工作的重点.

2 平面光波导制程

平面光波导器件根据不同的材料,而有不同的制程.首先是用二氧化硅为材料,在制程中可分为两种,一是化学气相沉积(Cheical Vapor Deposition; CVD)结合反应离子蚀刻(Reactive Ion Etching; RIE),二是火相水解沉积(Flame Hydrolysis Deposition; FHD)同样结合反应离子蚀刻来做平面光波导器件^[1,2].

利用化学气相沉积 CVD 做 PLC 的技术是由 AT&T 最早开发出来.其方法是在气体中进行化学反应,沉积到硅晶圆上形成低折射率薄膜,再掺入硅化合物(SiO₂ - P₂O₅),形成折射率薄膜.然后盖上光阻,用反应离子蚀刻(RIE)的方式,将其它部分蚀刻掉,最后再盖上覆盖层,形成波导光路.

火相水解沉积(FHD)的技术是由 NTT 最早开发出来,其制程如图 2 所示.此方法是利用火焰燃烧硅化合物与水蒸气,两者反应后在硅基板上形成两层高低折射率的二氧化硅薄膜.然后再利用反应离子蚀刻蚀刻出所需的波导光路,最后再盖上低折射率的覆盖层.

富士通公司报道了采用飞秒激光直写技术在纯 SiO₂ 玻璃上制作的低损耗波导.飞秒激光器的工作波长为 800 nm,脉宽 15 fs,重复频率 200 kHz,图 3 是功率为 80 mW 的激光直写制作的 SiO₂ 波导的传输特性,在工作波长 1580 nm 处传输损耗为 0.12 dB/cm,波长依赖损耗为 0.01 dB/cm,偏振相关损耗在 C 段为 0.02 dB,在 L 波段为 0.08 dB.采用飞秒激光直写技术,他们还制作了 1 \times 8 光分束器,整个器件长度为 30 mm, S 型弯曲波导的弯曲半径为 50 mm,输入和输出直波导分别为 9.1 mm,图 4 是器件的输出映像,输出不均衡性最大为 4.3 dB,其原因可能是制作 Y 分支时由于第二次直写造成的分支处折射率分布不均衡所致^[4].

用铌酸锂材料制作平面光波导,其制程如图 5 所示,因为铌酸锂是非线性光学材料,所以并

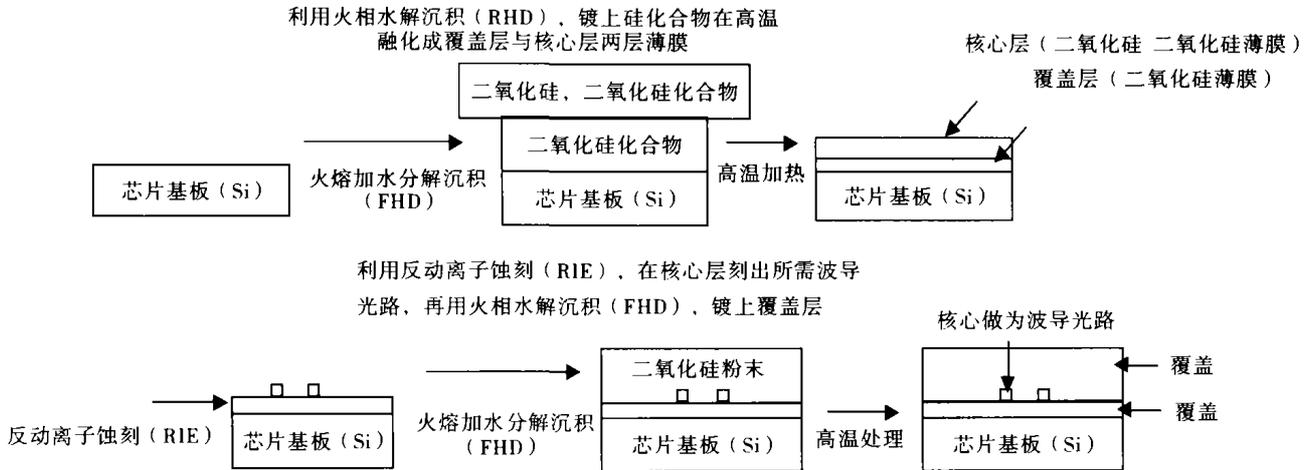


图 2 平面光波导中二氧化硅材料制程

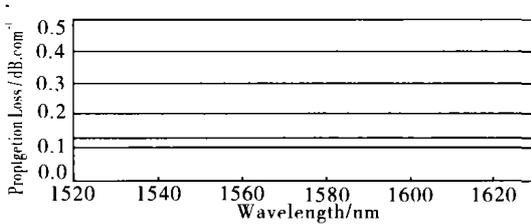


图 3 激光直写制作的 SiO₂ 波导的传输特性

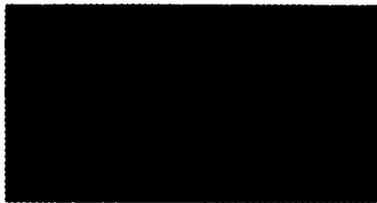


图 4 激光直写制作的 1×8 光分束器的输出映像
不易蚀刻. 因此在制程上, 是通过 UV 光照射光阻, 再镀上金属层, 将光阻洗掉留下金属部分, 最后利用扩散方式渗入铌酸锂之中, 形成高折射率的波导光路.

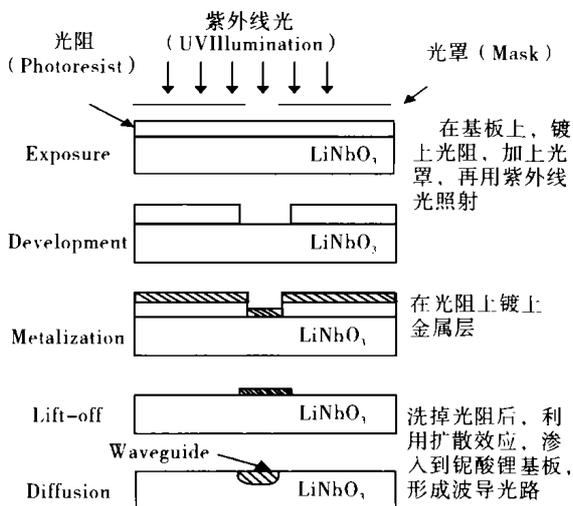


图 5 平面光波导中铌酸锂的制程

高分子材料是聚合物材料, 具低成本潜力, 因此也吸引众多厂商、研究机构投入. 美国加利福尼亚大学洛杉矶分校 (UCLA) 采用极化诱导直写技术在 APC-CPW1 聚合物材料上首次制备了具有自对准电极的 Mach-Zehnder 干涉型模式选择器. 相比于其它制作聚合物光波导器件的方法, 如 RIE、紫外漂洗、电子束直写、激光直写等, 极化诱导直写技术工艺更加简单. 图 6 所示为他们采用该技术制作的 MZ 波导调制器的结构示意图. 在极化前, 材料对 TM 和 TE 模式的折射率分别为 1.60 和 1.62, 极化后材料对 TM 和 TE 模式的折射率分别为 1.62 和 1.59. 制作的宽度为 6 μm 和 7 μm 的沟道波导的近场

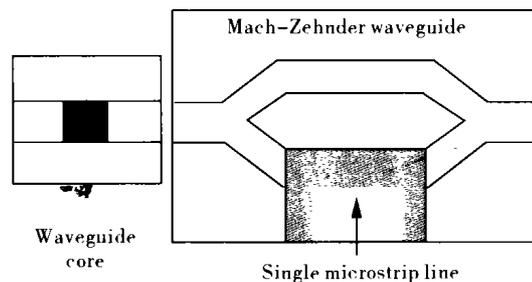


图 6 极化诱导直写制作的 MZ 波导调制器结构示意图



图 7 极化诱导直写制作的宽度为 6 μm 和 7 μm 的沟道波导的近场输出

输出如图7所示,对模式的选择比分别为18.0 dB和22.9 dB.制作的Mach-Zehnder干涉型调制器的半波电压为3.5 V,调制器的消光比为10 dB左右.

3 平面光波导的耦合^[2]

对于以光纤为传输媒介的应用,平面光波导器件必须与光纤耦合.目前的方法分为分离式与固定式两种,分离式是将光纤放在光纤夹具上,再与平面光波导芯片连接,连接方法可用激光器焊接、UV胶或是用倒装芯片连接(Flip-Chip Bonding)方式,来固定平面光波导(PLC)器件与光纤数组.

激光器焊接方式需将光纤数组放在金属壳上才能作焊接,UV胶方式则是通过紫外线照射UV胶使其固化,而此种UV胶需要是光学等级的,要求透光度高且不易老化的UV胶,才不会因光纤与波导光路之间有胶,而妨碍光的传输.

倒装芯片方式在半导体器件制备中将内存晶粒直接接在印刷电路版上,用在光器件上时,将激光二极管与平面光波导器件,放在共同基版上.而激光二极管则放在波导前面,采取无源耦合对光方式,形成单一器件.

固定式是直接接在波导上,蚀刻出V型或U型凹槽,将光纤放到凹槽上面,来做耦合动作.其中V型槽又较U型槽更易固定.而V型凹槽的规格上,其两个中心点的间距为250 μm .但亦有厂商提出127 μm 的规格.

4 平面光波导的应用范围^[2]

利用平面光波导技术,可开发出各种不同的集成光学产品,如图8所示.主要可分为多任务器/解多任务器(Mux/DeMux),分光/耦合器(Splitter/Coupler)以及整合性器件(Hybrid integration)等.

在波分复用器/密集波分复用器方面,主要可做成阵列波导光栅(Arrayed Waveguide Grating;AWG)芯片,利用AWG芯片来做高波道数的密集波分复用器(DWDM)产品.其次是整合性器件方面,则是利用倒装芯片等方式,可将激光二极管、AWG芯片与可调式光衰减器(VOA),做成整合性的单一器件.

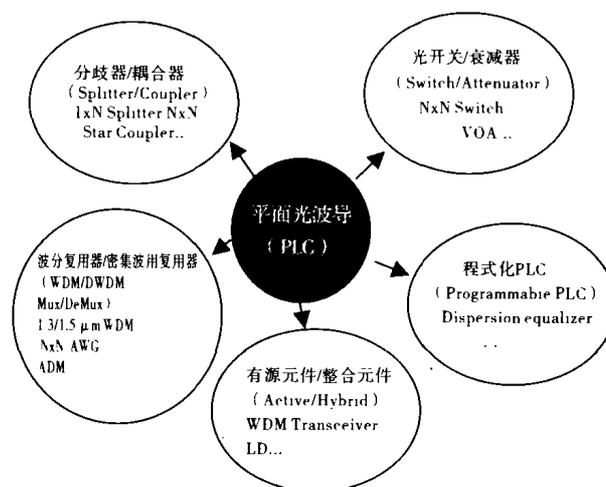


图8 平面光波导(PLC)技术的五大应用领域

5 结束语

平面光波导技术将若干无源光波导器件制作在同一个基片上,通过平面波导互连,构成一定的功能回路,是未来的DWDM光网络系统中非常实用化的技术.光器件的集成不仅使器件性能,如响应速率、耦合效率、功耗、串扰等特性得到根本性改善,同时,由于采用成熟的半导体工艺,使整个功能芯片的稳定性、可靠性和成品率得到大幅度提高,从而也使芯片的成本大幅度降低.目前的平面波导技术正朝寻求高 Δ 波导材料以减小整个PLC回路尺寸,改善波导材料和器件制作工艺以提高器件性能,改进波导结构以提高整个功能PLC芯片性能的方向迈进.新材料、新工艺的出现必将进一步促进平面波导技术的发展及其在DWDM光网络中的应用.

参 考 文 献

- 1 催凤林.光集成器件[M].北京:科学出版社,2002.
- 2 Little.A VLSI Photonics Platform[A].OFC2003[C], ThD1,2:444-445.
- 3 K Sakuma,S Ishikawa,T Shikata, et al. Ultra Low - Loss Waveguides of 0.12 dB/cm Directly Written in pure Silica Glass by Femtosecond Laser Pulses[A]. OFC2003[C], ThD2,2:445-446.
- 4 S Kim,K Geary,D Chang, et al. TM - Pass Electro - Optic APC - CPW Polymeric Modulators with Poling-Induced Waveguides and Self - Aligned Electrodes[A]. OFC2003,[C], WD2.1:319-320