

·学科进展与展望·

攀登之路:聚合物平面波导技术将在远程通讯革命中起先导作用吗?

王植源

(卡尔顿大学化学系,加拿大渥太华 K1S 5B6)

[摘要] 介绍了聚合物平面波导技术和聚合物作为必需材料在高性能、低成本集成光学线路中应用的研究进展。展望了聚合物平面波导技术在大都市光网络和远程网络发展中的应用前景。

[关键词] 聚合物平面波导,光电功能高分子,光通讯

光子学技术已渗透到通讯、航天、汽车、生物医学和制药等几乎整个工业体系。在因特网发展的驱动下,密集波分复用技术(DWDM)和随之而来的带宽激增技术在通讯中的应用正在从网络核心扩展到大都市光网络和远程网络。然而,远程通讯正在经历从加速增长到突然的停滞,是什么影响了远程通讯市场呢?答案是高成本。

密集波分复用系统允许以不同波长的光传输不同的信息频道,这样可以大幅度增加网络容量,但是这也导致了所用光学部件数目快速增长,例如,一个平均40个波长的光信号分离器约有120个分立的部件,目前都必须通过手工连接。为使纤维光学技术和密集波分复用技术转移到都市网络,必须对一种基体赋予多个功能以减少每种功能的成本,简化加工制造过程以降低设备和材料成本,并实现高水平的自动化。人们已意识到远程通讯平面波导技术代表着今后10年更为重要的技术,能够解决如劳动成本、部件密度和光损耗等问题。更为重要的是:此技术将把新颖的聚合物和杂化材料应用到低成本集成光学部件^[1]。大多数部件制造者都在采用此技术,试图去获得更高层次的光集成^[2],平面波导对在单一基底上集成许多光学部件是至关重要的,因为平面波导能在器件间传输光信号,一个简单的例子是二极管激光与一个电子吸收调制器的集成,不能以电路连接这两个器件,但可通过在绝缘半导体上制备的波导器件进行光集成。

1 平面波导器

“平面”源于在平板基底上进行薄膜波导制备。实际上平面波导器厚度与宽度之比非常小,具有与矩形“波导器”完全不同的纵横比。矩形几何主要是波导厚度决定了其性质,在光导纤维中,平面光波导限制在折光指数不同的两个透明材料之间,波导薄膜夹在低折光指数材料之间(如空气和基底之间),捕获的光沿着其长度方向传输,有以下几种制备薄膜波导的途径:

- (1)在基底中掺杂将能增加掺杂区折光指数的材料;
- (2)用光刻技术沉积高折光指数材料条带,同时将低折光指数材料层置于条带侧;
- (3)脊状波导:高折光指数材料层沉积在基底上层,在基底表面形成凸起的波导条带;
- (4)埋藏式波导:低折光指数层沉积在脊状波导高折光指数材料表面。

图1是制备平面波导器件的基本过程示意图,在硅片上非常均一的沉积芯层和包覆层材料(典型办法:聚合物材料通过旋涂法;无机材料以热解或气相沉积)。芯层和包覆层材料光纤束中的芯和包覆材料类似,芯层折光指数不同于包覆层材料,因此光被约束在芯层中。用标准光刻技术在芯层表面形成波导器件图形掩膜,除去掩膜图形以外的芯层得到具有波导器件图形的芯层,最后用包覆层将波导

* 本文于2002年2月25日收到。

图形芯层完全盖住。

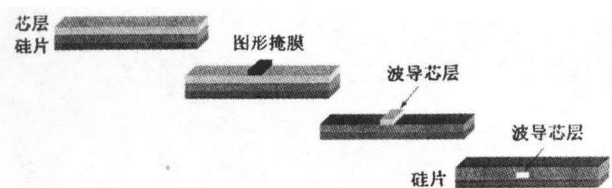


图1 波导器件制备过程

可用多种材料制备平面波导,主要有两类材料:无源介电材料和有源半导体。最近已制备出低折光指数波导聚合物。掺杂型铌酸锂常用在调制器和开关等有源器件中。材料的选择及其加工也影响到器件特性。表1列举了一些选择材料的要点。一般来讲,硅材料因其低损耗特性在阵列型波导光栅中占主导地位,而聚合物则在某些开关功能方面得已使用。

表1 光学波导材料性能比较

晶体(LiNbO ₃)	高速调制 > 10 GHz 性能优异;极化度和集成度有限
石英和玻璃	低损耗,有源功能不够高,无源部件如信号分离器性能极好
有机聚合物	损耗比石英高,可极化度有限,对毫秒光学开关更有效,在高速调制 > 40 GHz 方面富有潜力
Ⅲ/V族化合物半导体	对有源元件、激光检测器、纤维耦合件的集成最有潜力

2 聚合物光波导

以前人们认为聚合物是价廉物美的石英光纤的替代材料,随着电光、发光和导电聚合物的发现,认识到聚合物不仅具有硅材料的功能而且具有超出硅材料和半导体材料的易加工、低成本等特点。

开发用于光路集成波导聚合物的主要目标是在远程通讯波段(1 310 nm 和 1 550 nm)光学损耗低和热稳定性好。波导聚合物的光学损耗形成的主要原因有:微晶散射、双折射和相分离以及因分子中普遍存在的 C-H 和 N-H、O-H 谐波引起的本征红外吸收与极化。用 C-D 键取代 C-H 键,可使本征红外吸收减少约一个数量级。然而,合成全氟代聚合物非常困难且产物非常贵,用 C-F 或 C-Cl 键取代 C-H 可在 1 310 nm 和 1 550 nm 的吸收大幅度降低,现代氟化学的发展已能批量合成氟代单体和前驱体,使氟代聚合物已成为波导聚合物材料。另一个实用化关键是光学性能热稳定性,因为有机聚合物需要承受器件封装时 250℃ 和长期使用 120℃ 的温度条件。

用聚合物制备集成器件能使整个加工和人工费

用降低,高折光指数聚合物使其更易于与半导体基器件集成。用带有与光纤形状匹配端子的梯度折光指数聚合物波导,可很好的改善聚合物平面波导的光学性能。

虽然适用于远程通信部件的高分子的研究规模化工业生产尚未实现,但是已经有多种聚合物被用于光波导和集成光学研究,例如氟代双丙烯酸酯^[3](Allied Signal),氟化聚酰亚胺^[4](NTT),全氟代环烯烃^[5](PFCB, Dow Chem.)。分子式如图2所示:

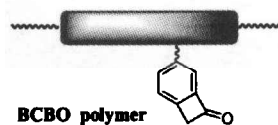
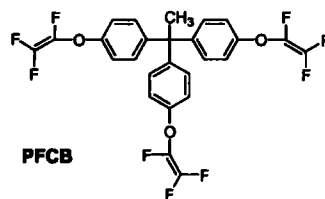
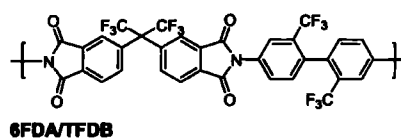
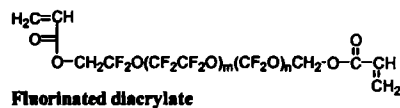


图2 已开发的用于光波导的单体和聚合物

这些聚合物显现出较低的光学损耗,一般通过光固化或反应性离子刻蚀(RIE)加工成波导结构。

含有悬垂在链上的反应性烯酮基团苯并环丁烯酮(benzocyclobutenone)的新型可固化光聚合物(BCBO 聚合物(表2)已开发成光子集成波导材料^[6]。与其他材料不同的是:BCBO 聚合可在室温下无需光引发剂进行光化学交联而且可在高温热固化(如 250℃)。更重要的是:BCBO 基团可与许多聚合物反应(例如,聚丙烯酸酯、聚烯烃、聚酯和聚酰亚胺),使其具有用户所需的光学性质(如折光指数和热光系数),从而使许多普通聚合物变成具有应用前景,而且可以以直接光成图像过程加工而用于波导。无需一般波导制备过程中必需的烘烤步骤,就完成了光成像图形,当在远程通讯波长范围能以大量获得 BCBO 聚合物且宽范围的折光指数时,许多用 BCBO 聚合物作为核和包层材料的波导器件和互连

器件就可实现。随着不断改进光学性质,基于 而成为光集成的平台技术^[1]。
BCBO 光聚合物的平面波导技术将能超越硅基技术

表 2 光波导聚合物的关键性能

聚合物	图像化技术	折光指数	光学损耗	热稳定性
氟化双丙烯酸酯 (AlliedSignal)	光固化/湿刻蚀, RIE, 激光烧蚀	1.301—1.524 (1 550 nm)	0.25 dB/cm (1550 nm)	125℃ 几年 < 0.1 dB
6FDA/TFDB(NIT)	RIE	1.520—1.610 (1 310 nm)	< 0.3 dB/cm (TE) < 0.7 dB/cm (TM)(1 310 nm)	T _g = 309℃
PFCB (Dow Chemical)	热固化 RIE	1.488 (1 550 nm)	< 0.25 dB/cm < 0.20 dB/cm (1 550 nm)	T _g = 400℃ (固化后)
BCBO 聚合物 (TWLinks)	光固化, 热固化	1.35—2.00 (1 550 nm)	< 0.2—0.5 dB/cm (1 550 nm)	T _g > 150—350℃ (固化后)

结论 尽管难以预测什么时候远程通讯市场会全面恢复并再一次成为热点,但可以肯定的是互联网发展中光通讯网络正在迅速进入都市,在未来的都市光网络革命中,先进的光活性聚合物一定将在多种高性能、低成本集成光学线路中作为必需材料之一获得应用。

参 考 文 献

[1] Photonic integration: fashionable or practical?, Lightwave, April, 2001.

[2] Integration of multifunctional planar lightwave circuits, Lightwave, March, 2001.
 [3] (a) Eldada L. IEEE J. Selected Topics in Quantum Electronics, 2000, 6:54; (b) Tardley J T, Eldada L, Stengel K M T et al. SPIE, 1997, 3 005:155.
 [4] (a) Kobayashi J, Matura T, Sasaki S et al. Appl. Opt., 1998, 37: 1 032; (b) Kobayashi J, Matura T, Hida Y et al. J. Lightwave Technol., 1998, 16:1 024.
 [5] Fischbeck G, Moosburger R, Kostrzewa C et al. Electron. Lett., 1997, 33:518.
 [6] Wang Z Y, Kuang L, Gao J P. US and Canadian patents pending. The product information is available at www.twlinksinc.com.

ON THE CREST OF A WAVE: WILL POLYMER PLANAR WAVEGUIDE TECHNOLOGY TAKE THE LEAD IN THE TELECOM REVOLUTION?

Wang Zhiyuan

(Department of Chemistry, Carleton University, Ottawa, Ontario, Canada K1S 5B6)

Abstract The progress on planar waveguide technology and the polymer used for this technology were introduced. In the anticipated wave of the metro optical networking revolution, advanced optical polymers will certainly gain a niche footing as one of essential materials in many high-performance, low-cost integrated optical circuits.

Key words polymer planar waveguide, opto - electronic active polymers, optical communication