

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G02B 6/10 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 02809197.3

[45] 授权公告日 2008 年 7 月 30 日

[11] 授权公告号 CN 100406935C

[22] 申请日 2002.4.4 [21] 申请号 02809197.3

[30] 优先权

[32] 2001. 5. 1 [33] US [31] 09/846,691

[86] 国际申请 PCT/US2002/010946 2002. 4. 4

[87] 国际公布 WO2002/088795 英 2002. 11. 7

[85] 进入国家阶段日期 2003. 10. 31

[73] 专利权人 纳幕尔杜邦公司

地址 美国特拉华州

[72] 发明人 K·W·贝森 G·布多希安

L·埃尔达达 D·潘特

[56] 参考文献

US5896484A 1999. 4. 20

US5940568A 1999. 8. 17

EP961139A1 1999. 12. 1

US5291574A 1994. 3. 1

US5837804A 1998. 11. 17

US6210867B1 2001. 4. 3

审查员 崔尚科

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 王景朝 郭广迅

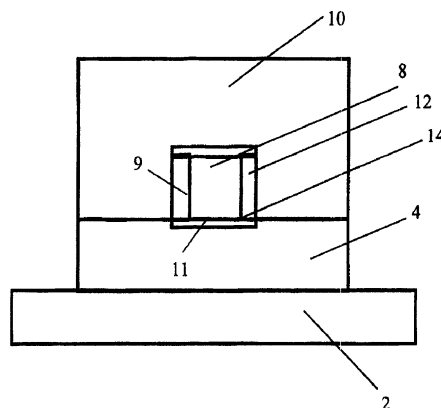
权利要求书 4 页 说明书 18 页 附图 3 页

[54] 发明名称

优化的多层光波导系统

[57] 摘要

由平版印刷术形成的、使用低传播损耗聚合材料的单模光波导。该光波导具有衬底(2)，介于衬底表面上的、折射率为 n_b 的聚合缓冲层(4)，直接位于包覆层表面的、折射率为 n_c 的带图案的透光芯层(8)，和位于芯的上表面、芯的侧壁和缓冲层的暴露部分的、折射率为 n_o 的上包覆层(10)，其中 $n_b < n_o < n_c$ 并 $= n_c - n_o$ 。



1. 一种制于衬底上的单模光波导，该衬底确定表面，该单模光波导包括：

位于衬底表面上的聚合缓冲层，该聚合缓冲层确定表面且折射率为 n_b ；

直接位于缓冲层表面上的带图案的透光芯层，该带图案的透光芯层确定上表面和一对侧壁，该带图案的透光芯层的折射率为 n_c ；

位于芯上表面、芯的一对侧壁和缓冲层上的上包覆层，该上包覆层的折射率为 n_o ，使得 $n_b < n_o < n_c$ 且 $\Delta n = n_c - n_o$ ，其中 Δn 值于光学通信波长处产生单模波导；

介于带图案的透光芯层的一对侧壁中的每一个和上包覆层之间的侧面界面区域，该侧面界面区域的折射率为 n_s ；和

介于带图案的透光芯层的底层和聚合缓冲层之间的底层界面区域，该底层界面区域的折射率为 n_f 。

2. 权利要求1的单模光波导，其中芯具有横截面宽和横截面高，且其中横截面宽和横截面高与 Δn 值一起选择，以使波导对于所有大于约1300nm的光通信波长均为单模。

3. 权利要求1的单模光波导，其中芯具有横截面宽和横截面高，且其中横截面宽和横截面高与 Δn 值一起选择，以使波导对于所有大于约1520nm的光通信波长均为单模。

4. 权利要求1的单模光波导，其中带图案的透光芯层的折射率 n_c 与聚合缓冲层的折射率 n_b 的差为至少约1.5倍 Δn 。

5. 权利要求1的单模光波导，其中 n_c 与 n_b 的差为至少约2倍 Δn 。

6. 权利要求1的单模光波导，其中 n_c 与 n_b 的差为至少约3倍 Δn 。

7. 权利要求1的单模光波导，其中聚合缓冲层的厚度为至少约3微米。

8. 权利要求1的单模光波导，其中 Δn 为约0.0031至约0.079。

9. 权利要求1的单模光波导，其中带图案的透光芯层具有横截面宽和横截面高，其各自为约2 μm 至约10 μm 。

10. 权利要求1的单模光波导，其中带图案的透光芯层具有横截面宽和横截面高，其各自为约2 μm 至约10 μm ，且其中横截面宽不大于高的约两倍，

且高不大于横截面宽的约两倍。

11. 权利要求1的单模光波导, 其中带图案的透光芯层具有横截面宽和横截面高, 其各自约为 $6\mu\text{m}$ 至约 $8\mu\text{m}$ 。

12. 权利要求1的单模光波导, 其中带图案的透光芯层具有横截面宽和横截面高, 横截面宽约等于横截面高, 且其中横截面宽和横截面高各自选自约 $2\mu\text{m}$ 、约 $4\mu\text{m}$ 、约 $5\mu\text{m}$ 、约 $6\mu\text{m}$ 、约 $7\mu\text{m}$ 、约 $8\mu\text{m}$ 和约 $10\mu\text{m}$ 的尺寸。

13. 权利要求1的单模光波导, 其中带图案的透光芯层具有高和宽, 且带图案的透光芯层在各个宽和高向均为单模。

14. 权利要求1的单模光波导, 其中 n_s 约等于 n_f 。

15. 权利要求1的单模光波导, 其中 n_s 从最接近带图案的透光芯层的一对侧壁中的相邻侧壁的部分侧面界面区域处的约 n_c 降低至最接近上包覆层的部分侧面界面区域处的约 n_0 。

16. 权利要求1的单模光波导, 其中 n_f 从最接近带图案的透光芯层的底层的部分底层界面区域处的约 n_c 降低至最接近聚合缓冲层的部分底层界面区域处的约 n_0 。

17. 权利要求1的单模光波导, 其中 n_s 从最接近带图案的透光芯层的一对侧壁中的相邻侧壁的部分侧面界面区域处的约 n_c 降低至最接近上包覆层的部分侧面界面区域处的约 n_0 ; 及

n_f 从最接近带图案的透光芯层的底层的部分底层界面区域处的约 n_c 降低至最接近聚合缓冲层的部分底层界面区域处的约 n_0 。

18. 权利要求17的单模光波导, 其中分度折射率 n_s 大约与分度折射率 n_f 相匹配。

19. 一种微光电器件, 包括:

权利要求1的波导; 及

位于上包覆层上表面上的加热器。

20. 一种微光电器件, 包括:

权利要求1的波导; 及

在聚合缓冲层、带图案的透光芯层或上包覆层中至少一层中形成图案的表面起伏或体积光栅。

21. 一种于衬底上形成单模光波导的方法, 该衬底确定表面, 该方法包

括如下步骤:

于衬底表面上沉积聚合缓冲层, 该聚合缓冲层确定表面且折射率为 n_b ;

于聚合缓冲层表面上直接沉积带图案的透光芯层而不带任何中间层, 所述带图案的透光芯层确定具有上表面和一对侧壁的芯, 该带图案的透光芯层的折射率为 n_c ; 和

于带图案的透光芯层上表面上, 带图案的透光芯层的侧壁上, 和一部分聚合缓冲层上沉积上包覆层, 该上包覆层的折射率为 n_o , 使得 $n_b < n_o < n_c$ 且 $\Delta n = n_c - n_o$;

其中芯层的至少部分透光材料迁移进入缓冲层, 因而形成介于芯的底层和缓冲层之间的底层界面区域, 该底层界面区域的折射率为 n_r , 和形成介于芯的侧壁和上包覆层之间的侧面界面区域, 该侧面界面区域的折射率为 n_s 。

22. 一种于衬底上形成单模光波导的方法, 所述衬底确定表面, 该方法包括如下步骤:

于衬底表面上沉积缓冲层, 该缓冲层由折射率为 n_b 的聚合材料制造, 所述缓冲层确定表面;

于缓冲层表面上直接沉积芯层而不带任何中间层, 该芯层由折射率为 n_c 的透光材料制造;

使芯层成图案以确定具有上表面和一对侧壁的芯并暴露部分缓冲层; 及

于芯层上表面、芯层的侧壁、和缓冲层的暴露部分上沉积上包覆层, 该上包覆层的折射率为 n_o , 使得 $n_b < n_o < n_c$ 且 $\Delta n = n_c - n_o$, 其中 Δn 值于光通信波长处产生单模波导;

其中芯层的至少部分透光材料迁移进入缓冲层, 因而形成介于芯的底层和缓冲层之间的底层界面区域, 该底层界面区域的折射率为 n_r , 和形成介于芯的侧壁和上包覆层之间的侧面界面区域, 该侧面界面区域的折射率为 n_s 。

23. 一种于衬底上形成光波导的方法, 所述衬底确定表面, 该方法包括如下步骤:

于衬底表面沉积聚合缓冲层, 该聚合缓冲层确定表面且折射率为 n_b ;

于聚合缓冲层表面上直接沉积光敏芯层而不带任何中间层, 该光敏芯层确定上表面, 光敏芯层折射率为 n_c ;

按成象方式将透光芯层曝光于光化辐射;

显像光敏芯层以除去光敏芯层的未成像区域而不除去光敏芯层的成像区域，从而形成带图案的透光光波导芯，其具有一对位于聚合缓冲层上的侧壁，并部分显露聚合缓冲层的曝光部分；及

于带图案的透光光波导芯上表面上，带图案的透光光波导芯的所述一对侧壁上，和聚合缓冲层的曝光部分上沉积上包覆层，该上包覆层的折射率为 n_b ，使得 $n_b < n_o < n_c$ 且 $\Delta n = n_c - n_o$ 。

24. 一种制于衬底上的单模光波导，该衬底确定表面，该单模光波导包括：

位于衬底表面上的聚合缓冲层，该聚合缓冲层确定表面且折射率为 n_b ；

直接位于缓冲层表面上的带图案的透光聚合芯层，该带图案的透光芯层确定上表面和一对侧壁，该带图案的透光芯层的折射率为 n_c ；

位于芯上表面、芯的一对侧壁和缓冲层上的聚合上包覆层，该上包覆层的折射率为 n_o ，使得 $n_b < n_o < n_c$ 且 $\Delta n = n_c - n_o$ ，其中 Δn 值于光学通信波长处产生单模波导；和

在带图案的透光聚合芯层和聚合上包覆层中形成图案的体积光栅。

25. 权利要求24的单模光波导，其还包括在聚合缓冲层中形成图案的体积光栅。

优化的多层光波导系统

发明背景

发明领域

本发明涉及平面或“集成”光波导，尤其涉及使用有机和聚合材料的平版印刷术形成的单模波导。

背景技术

多层光波导结构被用于构成集成光学电路以发送和控制光纤通信系统中的光信号。在光通信系统中，信号通过使用诸如激光和发光二极管光源产生的载波以红外光频率传输。这些光通信系统有利是因为它们提供了若干相对于使用铜线或同轴电缆的电子通信系统的优点。它们具有大大提高的通信频道数，及以比电子系统更高的速度传输信号的能力。

本发明是关于透光的光波导器件的形成。光波导的操作是基于这样的事实，即当光透明的芯介质被另一个具有较低折射率的包覆层介质围绕或以其它方式接界时，沿芯介质轴引入的光在围绕的包覆层介质的边界处被高度反射，因此产生光导效应。

有可能生产通过光路或光纤网传输光信号的聚合光波导和其它光学器件。一种用于形成光波导器件的方法包括应用标准光刻工艺。光聚合物尤其有利于光学应用，因为它们可以通过现有技术中公知的光刻技术形成图案。光聚合物也提供了更简单、成本更合理的制造工艺的机会。平版印刷工艺用于确定沉积在衬底上的含有光聚合物的光敏层中的图案。该层本身可由相同或不同的具有不同折射率的聚合材料组成的数层组成，以形成芯、上包覆层和下包覆层或结构件。

在许多已知的光聚合物中，丙烯酸酯材料已被确定适合用于光波导是由于其是光透明性、低双折射，且容易得到宽范围的单体。

平面聚合物波导一般包括精确折射率的低损耗光学材料层。步长指数和梯度指数波导结构都是现有技术中已知的。对于平面聚合物和玻璃波导，步长指数结构最容易通过不同折射率材料的连续涂覆获得。典型地，芯的折射率比其

上包覆层高0.5%到2%。设定该折射率差值(Δn)的大小以优化平面波导的性能,或以匹配从平面器件转换到光纤的光模。

实际上,在大部分平面波导结构具有的构造中,缓冲层应用于硅衬底,然后下包覆层应用于缓冲层,随后是芯层的使用和形成图案,最后使用上包覆层。在一些情况下,缓冲层可以作为下包覆层。

如果这些多层没有优化,则会产生若干问题。这些问题包括由于光被衬底吸收而导致的高光损耗;与高偏振有关的损耗(PDL);如果采取加热(为了调谐或转换),温度升高改变折射率并以此方式使光至少部分从芯传出去,从而与包覆层和/或衬底相互作用产生各种不希望的相互作用,其能例如导致损耗和PDL;且如果波导与光栅结合,会观察到二级反射或不希望的反射信号波长变宽。

发明概述

本发明提供制于衬底上的单模光波导,所述衬底确定表面,包括聚合缓冲层的单模光波导位于该衬底表面上,所述聚合缓冲层确定表面且折射率为 n_b 。带图案的、光透射芯层直接位于缓冲层表面,带图案的、光透射芯层确定上表面和一对侧壁,带图案的、光透射芯层的折射率为 n_c 。上包覆层位于芯上表面、芯的一对侧壁和缓冲层上,上包覆层的折射率为 n_o ,使得 $n_b < n_o < n_c$ 且 $\Delta n = n_c - n_o$,其中 Δn 值于光学通信波长处产生单模波导。

本发明还提供了一种于衬底上形成单模光波导的方法,所述衬底确定表面,该方法包括如下步骤:沉积聚合缓冲层在衬底表面上,聚合缓冲层确定表面且折射率为 n_b 。然后在聚合缓冲层表面上直接沉积带图案的、光透射芯层而不带任何中间层,带图案的、光透射芯层确定芯,其具有上表面和一对侧壁,带图案的、光透射芯层的折射率为 n_c 。然后在带图案的、光透射芯层的上表面、带图案的、光透射芯层的侧壁和一部分聚合缓冲层上沉积上包覆层,上包覆层的折射率为 n_o ,使得 $n_b < n_o < n_c$ 且 $\Delta n = n_c - n_o$ 。

本发明进一步提供了一种于衬底上形成单模光波导的方法,该衬底确定表面,该方法包括如下步骤:于衬底表面上沉积缓冲层,该缓冲层由聚合的、折射率为 n_b 的材料构成,缓冲层确定表面。然后于缓冲层表面上直接沉积芯层而不带任何中间层,芯层由折射率为 n_c 的光透射材料构成。然后使芯层形成图案以确定具有上表面和一对侧壁的芯且暴露部分缓冲层。然后于芯层上表面、芯

层侧壁和暴露的部分缓冲层上沉积上包覆层, 上包覆层的折射率为 n_0 , 使得 $n_b < n_0 < n_c$ 且 $\Delta n = n_c - n_0$, 其中 Δn 值于光学通信波长处产生单模波导。

本发明还进一步提供一种于衬底上形成光波导的方法, 所述衬底确定表面, 该方法包括如下步骤: 于衬底表面上沉积聚合缓冲层, 该聚合缓冲层确定表面且折射率为 n_b 。然后于聚合缓冲层表面上直接沉积光敏芯层而不带任何中间层, 该光敏芯层确定上表面, 光敏芯层的折射率为 n_c 。然后以成象方式使光透射芯层曝光于光化辐射并显像光敏芯层以除去光敏芯层的未成像区域而不除去光敏芯层的成像区域, 从而于聚合缓冲层上形成具有一对侧壁的带图案的、光透射光波导芯, 并部分显示聚合缓冲层的暴露部分; 和于带图案的、光透射光波导芯的上表面上, 于带图案的、光透射光波导芯的该对侧壁上, 于聚合缓冲层的暴露部分上沉积上包覆层, 上包覆层的折射率为 n_0 , 使得 $n_b < n_0 < n_c$ 且 $\Delta n = n_c - n_0$ 。

本发明涉及非对称包覆芯以解决上述问题。典型地, 包覆层均匀地环绕芯而形成。在下包覆层下加入折射率低于包覆层的缓冲层解决上述由于衬底的光吸收带来的损耗问题。根据本发明, 如果下包覆层被除去, 那么上述每个问题都被解决。折射率大大低于芯的缓冲层的使用具有若干优点。缓冲层防止芯模后部延伸入衬底内, 从而防止光泄漏进入衬底。缓冲层防止光泄漏进入衬底, 从而消除造成与偏振有关的损耗(PDL)的主要原因, 其中TM偏振光会带来比TE偏振光显著高的损耗。缓冲层具有足够低的折射率以防止光泄漏进入衬底, 甚至在进行加热时。当未使用下包覆层而使用基本上非光锁定缓冲层时, 当芯通过暴露于辐射来形成图案时, 避免了在芯波导下面形成二级波导。如果波导与光栅结合, 且未使用下包覆层, 则可避免下包覆中的导向造成的二级反射。如果波导与光栅结合且未使用下包覆, 则当光栅全息记录在波导中时, 缓冲层光锁定正如足以在其中记录光栅, 并允许通过与包覆模耦合来避免光损耗。这种情况下, 术语全息记录旨为通过对折射率进行周期调制, 在包括波导的材料体中产生光栅。这种光栅可以与表面起伏光栅相比较, 后者产生于波导芯或包覆层表面形状的周期变化。在两种情况下, 该作用都沿着光在波导中的传播方向产生有效折射率的周期变化。

此外, 由于芯的高度, 上包覆层上典型地具有隆起, 其可以非常大。这能出现于聚合物波导中, 其中由于聚合物的高分子量和粘度, 其必须从溶剂溶液中离心浇铸。其也能出现于二氧化硅波导中, 其中上包覆层的化学汽相沉积在芯

的顶部施加一均匀层。此外,由于粗糙侧壁导致光散射,聚合物或玻璃波导芯的反应性离子蚀刻会导致高传播损耗。波导可以使用光聚光学材料制造,其可以涂覆和固化于衬底上。典型地,该材料包括单体和低聚组分的混合物,其混合可以提供准确的折射率。混合物混合以提供芯和包覆层之间的 Δn ,典型的是0.5-2%。在这些固化混合物的光刻技术中,典型的是导向区域具有梯度指数而不是步长指数,其可在下包覆层中形成。而且,可以在芯的侧面和顶部形成一个区域,其中梯度指数代替步长指数。围绕芯的区域内的梯度指数的形成是由于不同化学组分的迁移,尤其是单体组分由芯层移入包覆层。在直接位于芯层下面的区域中,单体可以在芯形成过程中进一步反应,形成位于下包覆层内不希望的导向区域。当下包覆区域与芯厚度大致相同时,导向层可以形成并能透入下包覆层的整个厚度。在极端情况下,它可以是与芯本身同样强烈的导向,并允许光到达衬底表面。由于本发明的衬底在重要的电信光波长处吸收,任何到达衬底的传播光部分均受到吸收。衬底对光的吸收导致了传播信号的光能的严重的不希望的与偏振有关的损耗。现有技术中已经试图解决这些问题。一个潜在的解决途径是使用厚的下包覆层以隔离芯和衬底从而防止这一不希望的结果。这样可按所希望的程度消除问题,但是,其需要使用不切实际厚度的下包覆层。另一个解决途径包括使用折射率比芯低2%或更多的缓冲区域,其中缓冲区域位于下包覆层下。即使单体深度扩散通过下包覆层并轻微进入缓冲层,缓冲层中的导向将被大大抑制,消除大部分硅的光吸收。但是,下包覆层仍旧可以导向光且仍会导致带有残余的偏振效应的多模波导。

一种平版印刷术形成光学元件的方法使用丙烯酸光活性组合物,其可在聚合时形成波导材料。但是,这种方法需要使用玻璃转化温度尽可能高的聚合物以提供最大的操作温度。另一种方法使用光聚合组合物如 T_g 至少为 100°C 的丙烯酸类物质产生波导。上述波导发生不希望的高光损耗。

希望以在应用波长处具有低吸收和散射损耗,对模具有精确的可控折射率和数值孔径控制的聚合材料生产光学器件。精确的折射率控制使得可以控制模和数值孔径,并使得可以制造横截面直径和数值孔径都与单模纤维相匹配的单模波导。当芯和包覆材料由两种或更多种可混溶单体组成时,每层波导的折射率可以通过混合选择的高折射率和低折射率单体对来精确的调整。这种性质可以用于精确控制波导模并可用于制造横截面直径和数值孔径都与商业单模纤维

适合的大尺寸单模波导。

本发明中，形成平面波导结构，其中仅将缓冲层，芯和上包覆层施加于衬底。于衬底上形成缓冲层并固化。将芯层施加于缓冲层上。在芯的施用和固化过程中，低分子量、高折射率材料发生扩散并增大缓冲层的折射率。穿过缓冲层形成梯度指数。然后梯度指数随着进入缓冲区域的距离而急剧降低。但是，选择芯，包覆层和缓冲层使得对于缓冲指数的全部可能值光学多模性质均受到阻止。此外，施用上包覆层，其包覆芯侧面和上面。高折射率单体产生相似的扩散以确保围绕芯的梯度指数。根据本发明，由于与围绕芯的单模纤维相匹配的改进的模，透明的单模性能可与特别低的耦合损耗相结合。

本发明描述的元件只由位于衬底上的三层形成：折射率为 n_b 的缓冲层；折射率为 n_c 的芯层；折射率为 n_o 的上包覆层，其中 $n_b < n_c < n_o$ 。本发明中，多层光子集成电路元件制造为带有折射率 n_c 的芯，其上部被折射率 $n_o < n_c$ 的上包覆层围绕，且底部被折射率 $n_b < n_c$ 的缓冲层环围绕，使得可以获得低光损耗，低的与偏振有关的损耗，加热时无光能下降，无芯波导下的二次波导，无二次反射，且在体格光栅存在下无（或非常低）包覆模损失。

附图简要说明

图1为聚合波导的示意图，缓冲层位于衬底上，芯直接位于缓冲层上且上包覆层位于芯上表面、芯侧壁和缓冲层上。侧面界面区域介于芯的侧壁和上包覆层之间，而上界面区域介于芯上面和包覆层之间，下界面区域位于芯下面和缓冲层之间；

图2为具有理想步长指数结构的波导的示意图；

图3为现有技术中具有常规步长指数结构的波导的示意图；

图4为现有技术中由光聚合物制造的波导的示意图，具有下包覆层，和梯度指数区域围绕包括下包覆层中的导向区域的芯；

图5为现有技术中的波导的示意图，具有下包覆层，下包覆层中的导向区域，芯侧面和上部的梯度指数，和下包覆层下的低折射率缓冲层；

图6为波导的剖面图，该波导具有连接于上包覆层的加热器；和

图7为位于衬底上的波导的俯视图，其中波导被光栅印记。

发明详述

本发明提供一种单模光波导和形成光波导的工艺。本发明的波导包括衬底2；

位于衬底2表面上的聚合缓冲层4；透光单模聚合芯8图案直接位于缓冲层4表面上；和位于芯8上表面和芯8的侧壁9和部分缓冲层4上的聚合上包覆层10。本发明的重要特性是芯8的折射率 n_c 大于上包覆层折射率 n_o ，上包覆层折射率 n_o 又大于缓冲层折射率 n_b ，也就是，其中 $n_b < n_o < n_c$ 且 $\Delta n = n_c - n_o$ 。通常 n_c 与缓冲层折射率 n_b 的差值至少为约1.5倍 Δn 。

参见图1，其为根据本发明的波导的示意图。聚合缓冲层4最初沉积在衬底2表面上。衬底2可为其上希望构建波导的任何材料，包括诸如硅，二氧化硅，砷化镓，氮化硅，玻璃，石英，塑料，陶瓷，结晶材料等的材料。衬底2可包含也可不含其它器件，例如，诸如槽或电路或电光器件如激光二极管的外形特征。

由于本发明的衬底2可在重要的电信光学波长处可以吸收，到达衬底2的传播光的任何部分均受到吸收。衬底2对光的吸收导致传播信号的光能的不希望的与偏振有关的损耗。中间缓冲层4的目的是限制光穿透进入衬底2并防止任何大量光到达衬底2。为了使缓冲层按希望地工作，有必要使其折射率显著低于芯8的折射率。聚合缓冲层4可以按现有技术已知的大量不同方法施加，如旋涂、浸涂、狭缝涂布、辊涂、刮涂、液体浇铸等。缓冲层4可包括光聚化合物，如丙烯酸酯化合物。有用的丙烯酸酯化合物在下面进行描述。一旦光聚合材料层沉积于衬底2表面上，通过整体暴露于光化辐射而使其至少部分聚合。通常缓冲层4的厚度约3至约500微米。约5至约100微米的厚度是适合的且优选约10至约30微米。

为了促进随后施加的聚合层之间的粘着力以及在一些情况下控制界面处的折射率的逐渐变化，最初施加的层，包括所述缓冲层4，可以有目的地基本上欠固化以改进单体的穿插和各层之间共价键的形成。

缓冲层4沉积和部分聚合后，将芯8形成于缓冲层4表面上。一种实施方案中，芯8通过将透光的单模光敏芯层沉积于缓冲层4表面上而形成。芯层光聚合组合物使用已知技术如旋涂、浸涂、狭缝涂布、辊涂、刮涂、液体浇铸等方法进行沉积。光敏芯层然后按成象方式暴露于光化辐射下并显像，从而除去芯层的未成象区域而不除去芯层的成象区域。该过程在下面更详细描述。该层显像后，带图案的、透光的芯8在缓冲层4上形成，且部分缓冲层4被部分显示。在该制造阶段的芯8的结构通常描述为凸肋。

本发明的另一个实施方案中，芯层8通过将透光的、聚合芯层材料的图案

沉积于缓冲层4表面上而形成。芯图案可以使用已知的图案沉积添加技术或其它消去技术如反应性一离子一蚀刻而产生。在另一个实施方案中，芯8的横截面宽约等于其横截面高。通常芯层8的横截面宽和高各在约2 μm 至约10 μm 范围内，更适合的是芯的横截面宽和高各在约5.5 μm 至约8 μm 范围内。通常芯8的宽度不大于约芯高的两倍，且高不大于宽的约两倍。此外，通常芯8在其每个宽和高都是单模且具有约相同的高和宽。通常波导尺寸包括可彼此相同的高和宽的芯，且都为约2 μm 、约4 μm 、约5 μm 、约6 μm 、约7 μm 、约8 μm 、约9 μm 或约10 μm 。通常芯宽也不大于芯高的约两倍，且高也不大于芯宽的约两倍。为了使耦合损耗最小化到符合标准单模玻璃纤维，例如对于Corning Incorporated出售的SMF-28，芯横截面尺寸在6 $\times$ 6微米和8 $\times$ 8微米之间可以使用。优选与 Δn 值一起选择芯的横截面宽和横截面高，以使波导对大于约1300nm，理想的是大于约1520nm的所有光学通信波长为单模。芯层8的材料包括可聚合的丙烯酸酯材料，其在下面详细描述。

芯8形成后，将上包覆层10沉积在芯8上表面上、芯8的侧壁9上和缓冲层4的显露部分上。可光聚合的上包覆层10也可通过上述技术来施加，然后整体暴露于光化辐射。上包覆层10可为能将施加光保持于芯8中的任何材料，可包括可聚合丙烯酸酯化合物，其在下面详细描述。一种实施方案中上包覆层10通常的厚度从芯8上面量起为约3至约30微米，更通常为约5至约20微米，更适合为约8至约15微米。

使用光聚合光学材料包括单体组分和低聚组分的混合物形成波导，所述组分被混合以提供每层所希望的折射率。每层特定的折射率对波导效果具有显著的影响。当选择光聚合化合物用于每个芯8、缓冲层4和上包覆层10时，重要的是芯8的折射率 n_c 大于上包覆层折射率 n_o ，且 $\Delta n = n_c - n_o$ ，并且其中 n_c 和缓冲层折射率 n_b 差值至少为约1.5倍 Δn 。更通常的是， n_c 和 n_b 差值至少为约2倍 Δn 。最适合的是， n_c 和 n_b 差值至少为约3倍 Δn 。本发明的一个实施方案中， Δn 变化于约0.0031至约0.079。

本发明的通常应用中，产生的波导结构为单模。确保波导为单模要求维持实际横截面尺寸和波导形状和 Δn 之间一定的关系。通常如果波导尺寸固定，且如果波导为单模，则有不能超过的 Δn 的最大截止值。类似地，如果 Δn 值固定，且如果波导为单模，则有不能超过的波导的最大横截面尺寸。用以阐明，

下表给出了具有正方形横截面的普通波导的尺寸和所允许的 Δn 最大值之间的关系。最后，为了使波导耦合效率最大并在弯曲处使光传播损耗最小，通常希望使用 Δn 值大约等于但不超过截止值。

表

波导芯尺寸 (μm)	波长=1.55微米的 Δn 切断值
2×2	0.079
4×4	0.019
6×6	0.0086
7×7	0.0064
8×8	0.0049
10×10	0.0031

通常，芯8折射率 n_c 在约1.33至约1.7范围内，或更通常约1.4至约1.55。通常上包覆层的折射率 n_o 在约1.3至约1.65范围内，或更通常约1.35至约1.55。也很重要是选择化合物以产生折射率 n_b 小于芯材料和上包覆层的折射率的缓冲层4。通常缓冲层4的折射率在约1.3至约1.55范围内，或更适合约1.3至约1.4。这些折射率是在1550nm处测得的。

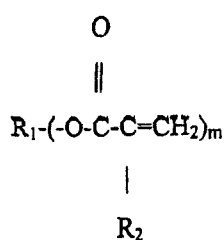
在这些混合物的光刻中，通常芯8的单体组分迁移进入缓冲层4，形成介于芯8的底层11和缓冲层4之间的底层界面区域14，底层界面区域14的折射率为 n_t ，和介于芯8的侧壁9和上包覆层10之间的侧面界面区域12，侧面界面区域12的折射率为 n_s 。这些界面区域12和14可参见图1。界面区域12和14具有梯度指数而不是步长指数。界面区域12和14形成是因为芯8、上包覆层10和缓冲层4的单体能扩散出它们各自的区域且在边界处混合。作为随后暴露于光化辐射的结果，因为芯及然后上包覆层被固化，这些混合区域变为永久固定。芯8、上包覆层10及缓冲层4单体相互扩散的程度取决于缓冲层4、上包覆层10及芯8的固化程度、温度及所用单体的扩散系数、及在最终步骤中全部波导结构硬固化之前未固化或部分固化层之间的接触时间。单体的相互扩散在芯8底部和侧面最大,因为这些区域一般在中间制造步骤中固化少。低固化度的产生是在芯—缓冲界面情况下由于希望提高芯8和缓冲层4之间的键合，和在芯侧面的情况下由于减少边缘处固化剂量，该减少是由于基于掩模的平版印刷术的衍射效应或激光直接载入技术的光束强度的变化。

如图2所示,显示了具有理想效果的理想波导。理想地,光将被透射通过理想芯16而无芯组分扩散进入围绕的理想上包覆层18中和零光吸收入衬底2。但是,实际上,传统现有技术波导看起来更像图3所示,因为芯22的高度,其中上包覆层24具有隆起。该隆起是不希望的且是不利的。图4—5也显示了现有技术中的不利波导。图4显示具有在下包覆层28上形成的具有高折射率的导向区域32的波导。导向区域32通过下包覆层延伸到达衬底2,其中大量的光可泄漏和被吸收。图5显示了在下包覆层28下具有低折射率缓冲层34的波导,试图防止导向区域32到达衬底。由于导向光仍旧泄漏进入位于芯26下的区域32,该类型波导具有高耦合损耗,因为波导模形状和传统纤维模形状之间不当的匹配。通过除去下包覆层和使用具有此处所述的折射率的缓冲层限制了这些导向区域导致的损耗,从而本发明减少了现有技术中的问题。

通常,侧面界面12的折射率 n_s 约等于底层界面14的折射率 n_f 。本发明的一个实施方案中, n_s 是分度折射率,其从最接近芯的侧壁9的部分侧面界面区域处的约 n_c 降低至最接近上包覆层10的部分侧面界面区域12处的约 n_o 。本发明的另一个实施方案中, n_f 是分度折射率,其从最接近芯8的底层11的部分底层界面区域14处的约 n_c 降低至最接近缓冲层4的部分底层界面区域14处的约 n_b 。还希望分度折射率 n_s 大约相同,即大约适合分度折射率 n_f 。这意味着横穿介质的每单位长度的折射率的变化和相同的起始值和终值。

用于形成每个缓冲层4、上包覆层10和芯8的每个组合物可包括光聚合化合物和光引发剂。光聚合化合物可以为单体、低聚物或聚合物,其为加成聚合的、非气态的(在大气压下沸点温度高于30℃)含有至少一个末端烯属不饱和基团的烯属不饱和化合物,且通过自由基引发、链增长加聚反应能够形成高分子量聚合物。这种化合物在现有技术中已知。对他们进行选择以使形成的聚合单元具有希望的上述的折射率。特殊选择的聚合组合物的折射率的确定对于本领域熟练技术人员是容易确定的。

多官能丙烯酸酯单体是适合的。多官能丙烯酸酯的通式结构如下所示:

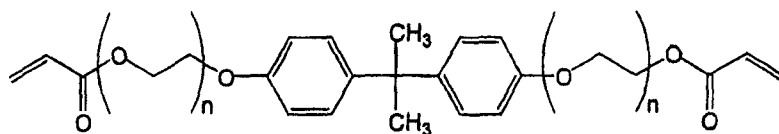


对于芯， m 范围可以从1至约6； R_2 为H或 CH_3 ， R_1 为脂族、芳族或脂族和芳族混合有机分子链段的键合。适合的 R_1 为亚烷基、氧化烯基(alkylene oxide)、氧化亚芳基(arylene oxide)、脂族聚醚或聚酯部分， R_2 优选为H。为确保膜的耐溶剂性和光刻对比性高，交联聚合物和多官能丙烯酸酯单体($m \geq 2$)是适合的。也希望使用柔韧的、低玻璃转变温度(T_g)的聚合物降低应力诱导的最终波导器件的散射光损耗。现有技术中已知交联聚合物的玻璃转变温度(T_g)取决于交联密度和交联点之间的键合结构。还已知低交联密度和柔韧的键合需要较低的 T_g 。为了保证低交联密度， $1 \leq m \leq 3$ ，理想是 $m=2$ 的单体和两个烯属不饱和官能度之间的长键合链段是有利的。对于本发明，长键合链段是指那些平均分子链长度至少约4个碳原子或更多，适合的为6个或更多。适合的柔韧键合结构包括链长大于约3个碳原子的亚烷基、聚(环氧乙烷)、聚(环氧丙烷)、乙氧基化双酚-A、聚醚、硫醚、脂族和芳族烃、醚、酯和聚硅氧烷等。这些结构可任选被任何在有用光波长如电信波长1.31和1.55微米处不降低聚合化合物光聚能力或不增加过度损失的侧基取代。适合的取代基包括但不限于烷基、芳基、烷氧基和亚砷基团等。为了保证对热降解和变色的高耐性，热稳定分子结构的 R_1 是适合的。这种 R_1 链段应不含热敏部分如芳族聚氨酯基团和酰胺基团。为了保证低双折射，具有低应力光学系数和光学极化率的 R_1 键联是有利的。

对于上包覆层，丙烯酸酯也如上所述，但是，烯属不饱和官能度之间的平均分子链长可为约6个碳原子或更长，通常8或更长及更适合为12或更长。适合的柔韧键合结构包括链长大于6个碳原子的亚烷基、聚(环氧乙烷)、聚(环氧丙烷)和乙氧基化双酚-A。

本发明的一个实施方案中，每个缓冲层4、芯层8和上包覆层10的材料也包括可聚合酯和丙烯酸与含2至30个碳原子的芳族和脂族多元醇的偏酯。偏酯和聚亚氧烷基乙二醇酯也适合。其例子为二丙烯酸乙二醇酯、二丙烯酸二甘醇酯、

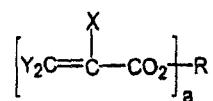
二丙烯酸三甘醇酯、二丙烯酸四甘醇酯、平均分子量在200至2000范围内的聚二丙烯酸乙二醇酯和聚二丙烯酸丙二醇酯、二丙烯酸丙二醇酯、二丙烯酸二丙二醇酯、二丙烯酸(C₂至C₄₀)烷二醇酯如二丙烯酸己二醇酯和二丙烯酸丁二醇酯、二丙烯酸三丙二醇酯、三羟甲基丙烷三丙烯酸酯、平均分子量在500至1500范围内的乙氧基化三羟甲基丙烷三丙烯酸酯、二丙烯酸季戊四醇酯、三丙烯酸季戊四醇酯、四丙烯酸酯季戊四醇、二丙烯酸二季戊四醇酯、三丙烯酸酯二季戊四醇酯、四丙烯酸二季戊四醇酯、五丙烯酸二季戊四醇酯、六丙烯酸二季戊四醇酯、八丙烯酸三季戊四醇酯、三丙烯酸山梨糖醇酯、四丙烯酸山梨糖醇酯、五丙烯酸山梨糖醇酯、六丙烯酸山梨糖醇酯、丙烯酸酯的酯类低聚物、二和三丙烯酸甘油酯, 1, 4-环己烷二丙烯酸酯、平均分子量在100至1500范围内的聚乙二醇二丙烯酸酯和上述化合物的混合物。多官能丙烯酸酯低聚物包括但不限于丙烯酸酯化的环氧化物、丙烯酸酯化的聚氨酯和丙烯酸酯化的聚酯。光聚合化合物包括丙烯酸芳基酯。这种丙烯酸芳基酯单体的例子为二丙烯酸、三丙烯酸和四丙烯酸的芳基酯, 例如基于苯、萘、双酚A、亚联苯基、甲烷亚联苯基、三氟甲烷亚联苯基、苯氧基亚苯基等的二、三和四丙烯酸酯。丙烯酸芳基酯单体可以为多官能丙烯酸芳基酯及更通常的丙烯酸芳基酯单体为基于双酚-A结构的二、三和四丙烯酸酯。通常的丙烯酸芳基酯单体为烷氧基化的双酚-A二丙烯酸酯, 如乙氧基化双酚-A二丙烯酸酯、丙氧基化双酚-A二丙烯酸酯和乙氧基化六氟双酚-A二丙烯酸酯。所选择的丙烯酸芳基酯单体是乙氧基化双酚-A二丙烯酸酯。希望的可聚合组分是具有结构式(I)的单体:



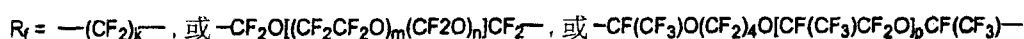
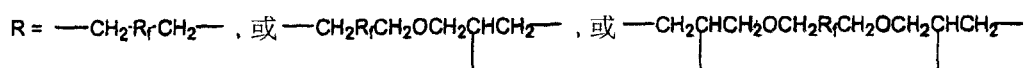
一种实施方案中, 对于芯, n 为约10或更小, 通常约4或更小, 更合适为约2或更小。一种实施方案中, 对于包覆层, n 为约2或更大, 通常约4或更大, 更合适为约10或更大。也有用的是现有技术中已知的含丙烯酸酯的共聚物。在实施方案中包覆层包括具有上述结构式(I)所示的乙氧基化双酚A二丙烯酸酯结构的可聚合组分, 其中 $1 \leq n \leq 20$, 通常 $4 \leq n \leq 15$, 更适合 $8 \leq n \leq 12$ 。

可聚合组合物可为多官能氟化(甲基)丙烯酸酯, 尤其那些基于下列结构

的:

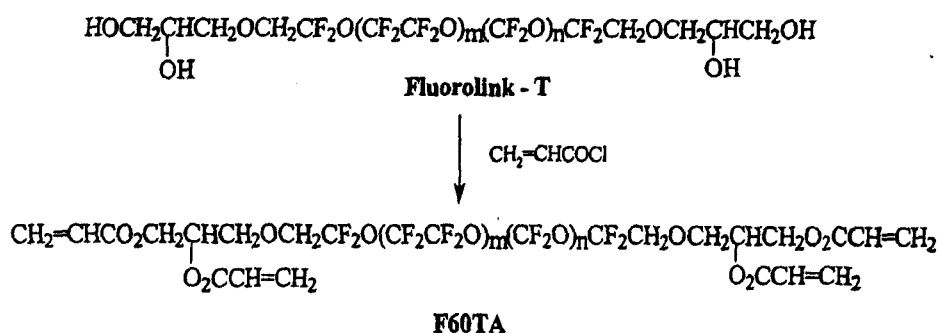


其中Y为H或D; X为H, D, F, Cl或CH₃, a为从2至4的整数,



其中k,m,n和p为整数

这些材料产生的波导在1550纳米处传播损耗小至0.17dB/cm。这些材料的玻璃转变温度(T_g)可容易地选择为低于热光器件的操作温度。低T_g型的这些材料通过光栅辅助测量已经显示具有可忽略不计的双折射,并具有折射率的高温导数值,其允许制造有能效的热光器件,如光学开关和可调谐光栅。有用的氟化(甲基)丙烯酸酯包括如由多元醇Fluorolink®T制得的四丙烯酸酯F60TA,其可商购自意大利米兰的Ausimont S.p.A.,其反应根据如下所示:



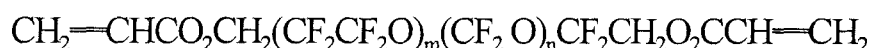
其它多官能丙烯酸酯包括C6DIACRY购自荷兰Amersfoort的Akzo Chemicals B.V.:



L-12043购自Saint Paul, Minnesota的3M公司:



L-9367类似地购自3M公司:



虽然每个缓冲层、上包覆层和芯可由结构相似的组合物组成,但为了使每

个缓冲层和上包覆层折射率低于芯折射率，每次应用必须有不同的化学组合物。例如，缓冲层组合物可具有与包覆层相似的T_g性质，但无需同样的组合物。选择光聚合材料和加工条件以使聚合缓冲层的T_g在约60℃或更低的范围内，通常约40℃或更低，更合适约25℃或更低。

本发明的特征为采用用于波导芯的光聚合化合物制成芯，芯在聚合后的玻璃转变温度为约80℃或更低，适合为约50℃或更低。本发明的特征为采用用于波导包覆层的光聚合化合物制成包覆层，其聚合后玻璃转变温度为约60℃或更低，通常约40℃或更低，更合适为约25℃或更低。特殊的T_g可以很容易地由本领域熟练技术人员通过聚合组分的特征和对其进行选择来获得。这取决于下列因素如分子量、不饱和位置数和可聚合组分交联密度。单聚合组份本身可以有必要的T_g，或可聚合组分可以通过混合具有希望的T_g的可聚合单体、低聚物和/或聚合物的混合物来调整。T_g也可通过改变暴露时间和进行聚合的温度来控制。

在每个整体光聚组合物中的光聚化合物量足够在暴露于足够光化辐射时进行光聚合。组合物中光聚化合物的量可在大范围变化，且在制造用作光透射器件的光透射元件的光聚合物时，可使用的光聚合组合物的常用量都可以使用。可光聚化合物的用量通常约为组合物重量的约35至约99.9%。以整个组合物的重量计，通常光聚化合物在总的组合物中的量为约80%至约99.5%，及更适合为约95至约99%。

每个光敏组份进一步包括至少一种产生自由基的光引发剂，其以光解方式产生自由基。通常光引发剂是一种被光化光激活的产生自由基的加聚引发剂，且在近室温下（如约20℃至约80℃）无热活性。任何已知的能使丙烯酸酯光聚合的光引发剂都可使用。光引发剂包括但不限于现有技术已知的喹啉化合物；连聚酮醛基化合物， α -羰基化合物；偶姻醚；三芳基咪唑基二聚物； α -一烷基取代的芳族偶姻；多核醌类和s-三嗪。

适合的光引发剂包括芳酮如二苯酮、丙烯酸酯化的二苯酮、2-乙基蒽醌、菲醌、2-叔丁基蒽醌、1,2-苯并蒽醌、2,3-苯并蒽醌、2,3-二氯蒽醌、苄基二甲基缩酮和其它芳酮，如苯偶姻、苯偶姻醚如苯偶姻甲醚、苯偶姻乙醚、苯偶姻异丁基醚和苯偶姻苯醚、甲基苯偶姻、乙基苯偶姻和其它苯偶姻。光引发剂包括1-羟基环己基苯酮（Irgacure[®]184）、苯偶姻、苯偶姻乙醚、苯偶姻异

丙醚、二苯酮、苯并二甲基缩酮 (Irgacure 651), 2, 2-二乙氧基苯乙酮、可购自德国Darmstadt的E.Merck 的2-羟基-2-甲基-1-苯基丙-1-酮 (Darocur®1173)、1-[4-(2-羟基乙氧基)苯基]-2-羟基-2-甲基丙-1-酮 (Darocur®2959)、2-甲基-1-[(4-甲硫基)苯基]-2-吗啉代丙-1-酮 (Irgacure®907)、2-苄基-2-二甲基氨基-1-(4-吗啉代苯基)丁-1-酮 (Irgacure®369)、聚{1-[4-(1-甲基乙烯基)苯基]-2-羟基-2-甲基丙-1-酮 (Esacure KIP)、[4-(4-甲基苯硫基)苯基]苯甲酮(Quantacure®BMS) 购自英国伦敦Great Lake Fine Chemicals Limited和二樟脑醌。最适合的光引发剂是那些在辐射下不会变黄的物质。这种光引发剂包括苯并二甲基缩酮 (Irgacure®651)、2-羟基-2-甲基-1-苯基丙-1-酮 (Darocur®1173)、1-羟基-环己基-苯酮 (Irgacure®184) 和1-[4-(2-羟基乙氧基)苯基]-2-羟基-2-甲基丙-1-酮 (Darocur2959)。Fluorolink®-T和C6DIACRYL可充分混溶以使传统的光引发剂可用于紫外固化。对于氟化率更高的多官能丙烯酸酯, 如购自3M的L-12043和L-9367材料, 可以使用氟化光引发剂。

在每个可光聚合组合物中, 产生自由基的光引发剂的量足够使光聚合化合物暴露在足够的光化辐射下的进行光聚合。以组合物的总重量计, 光引发剂通常存在量为约0.01%至约10%, 或更通常约0.1%至约6%, 更适合约0.5%至约4%。

根据光敏组合物的目的和最终用途, 其它添加剂也可加入到光敏组合物中。这些例子包括溶剂、抗氧化剂、光稳定剂、体积膨胀剂、填料如二氧化硅、二氧化钛、玻璃球等(尤其是在纳米范围, 也就是粒子尺寸小于约100nm)、染料、自由基清除剂、对比度增强剂、硝酮和紫外吸收剂。抗氧化剂包括的化合物如酚类, 尤其是受阻酚类, 包括购自纽约Tarrytown 的Ciba-Geigy Corporation的Irganox®1010; 硫化物; 有机硼化合物; 有机磷化合物; 以商品名Irganox®1098 购自Ciba-Geigy 的N, N'-六亚甲基双(3, 5-二叔丁基-4-羟基氢化肉桂酰胺)。光稳定剂, 更具体的说是受阻胺光稳定剂包括, 但不限于聚[(6-吗啉代-s-三嗪-2, 4-二基)[(2, 2, 6, 6-四甲基-4-哌啶基)亚氨基]-六亚甲基[(2, 2, 6, 6, -四甲基-4-哌啶基)亚氨基]], 以商品名“Cyasorb® UV-3346” 购自Wilmington, Delaware的Cytec Industries。体积膨胀化合物包括材料如称为Bailey单体的螺旋状单体。染料的例子包括亚甲绿和亚甲蓝等。适合的自由基清除剂包括氧、受阻胺光稳定剂、受阻酚、2, 2, 6, 6-四甲基-1-

哌啶氧基自由基（TEMPO）等。合适的对比度增强剂包括其它自由基清除剂如硝酮。紫外吸收剂包括苯并三唑、羟基二苯酮等。以组合物的总重量计，这些添加剂量为约0%至约6%，通常约0.1%至约1%。整体组合物的所有组分互相混合，最合适是基本上均匀的混合物。

一旦在缓冲层4上形成芯光敏组合物的薄或厚膜，光化辐射直接照在膜上以刻划芯层。也就是，芯的位置和尺寸由作用于芯层表面的光化辐射的图案决定。对辐射图案必须进行选择以使光聚组合物聚合成所希望的图案，并使膜的其它区域保持不反应。本发明的光聚合物传统上通过将光聚组合物暴露于所需波长和强度的光化辐射下，并维持需要的持续时间而制备。在此所用的“光化辐射”定义为在光谱的可见、紫外或红外区域的光，以及电子束、离子束或中子束或X-射线辐射。光化辐射可以是不相干或相干光的形式，例如来自激光的光。光化光源、曝光步骤、时间、波长和强度可以依据希望的聚合度、光聚合物的折射率和本领域普通技术人员已知的其它因素在很大范围内变化。这种传统的光聚方法和其操作参数在本领域已知。

光化辐射源和辐射波长可在大范围变化，且任何传统波长和光源均可使用。一种实施方案中，在较短的波长（或高能）辐射下进行光化学激发以使操作前常遇到的辐射（如室光）不会提前聚合可聚合材料。因此，曝光于紫外光（300-400nm波长）是方便的。而且，深紫外光（190-300nm波长）曝光也是有用的。方便的光源是高压汞-氙弧灯，安装有适当的光滤波器以选择希望的操作波长。而且，短波长的相干辐射对实施本发明有用。在350nm附近的若干波长处工作的UV型氙离子激光是希望的。而且，在257nm波长附近输出的倍频氙离子激光器是非常希望的。或者，也可采用由高强度光化辐射源如激光器引发的多光子过程。也可以不使用光引发剂而通过使用电子束固化来固化上述氟化单体。可使用电子束或离子束激发。曝光时间通常由几秒至约10分钟。温度通常约10℃至约60℃，但是，室温更适合。此外，这些材料可以通过使用过氧化物或其它热引发剂而进行热固化。

控制光化辐射的空间分布，也就是可通过传统方法使其落在光聚合材料层上。例如，一种传统方法中，将具有希望的芯图案的掩模放在光化辐射源和光聚组合物膜之间。掩模具有透明和不透明区域，从而使得辐射只落在希望照射的膜表面区域。薄膜的掩模曝光是本领域公知的，可包括将芯图案印刷到膜上的

接触、接近和投影技术。另一种传统的空间控制方法使用包括诸如激光束或电子束的引导或聚焦光束的光化辐射源。这种辐射束仅与小部分光聚合材料的膜表面相交。希望的芯图案通过在空间扫描光束或移动衬底以使交叉点相对于固定光束改变以移动膜表面周围的小交叉点来获得。这些使用光束源的曝光类型是本领域现有技术已知的直接书写法。波导芯的精确的横截面形状和在芯壁形成的渐变折射率区域的宽度和程度受到直接书写制造法和掩模曝光制造方法的光源校准程度的影响。根据需要的结果，校准程度可在大范围内变化。通常适合使用相对高的校准源以确定波导芯结构。校准至角度小于10度是适用的。

芯层的光聚合组合物聚合形成芯层预定图案之后，该图案进行显像以除去未成像区并留下预定图案。任何传统显像方法均可使用，如用溶剂冲洗未照射的组合物。这种溶剂包括极性溶剂，如醇和酮。有用的溶剂为丙酮、甲醇、丙醇、四氢呋喃和乙酸乙酯，及用于高氟化单体的氟代醚溶剂如Ausimont出售的商品名为“Galden®”的那些是适合的。

缓冲层及包覆层不必完全固化，只需部分聚合。部分聚合意味着一些丙烯酸酯基团在聚合后仍存在，即并非全部丙烯酸酯转化为饱和烃。这意味着大于0%的丙烯酸酯基团数，通常大于约10%，最适合大于约25%的丙烯酸酯基团仍未反应。未反应基团数的上限取决于单体的胶凝点，其进一步取决于官能度（每单体的丙烯酸酯基团数）。如果官能度等于整数 f ，那么未反应基团上限应足够引起凝胶化并且由关系式 $(1 - 1/f) * 100\%$ 近似得到。作为例子，四丙烯酸酯单体剩余的未反应基团数应少于75%，二丙烯酸酯单体剩余的未反应基团数少于50%。先进行各层的部分聚合，然后施加下一连续层，使各层在其界面处相互混合。这种混合促进层的粘着，在一些情况下可用于控制界面处的折射率渐变等级。

在施加各层并用表面或体积衍射光栅对各层任选地进行图案化或刻印之后，对任何仍未聚合的丙烯酸酯进行硬固化，这是通过毯式或全部曝光于光化辐射以使它们基本上全部聚合来进行的。衍射光栅13在图7中示出。最后固化步骤的固化剂量（每单位平方表面总辐射能）典型地为前述制造步骤中使用的部分固化每层所用量的约10到约500倍。最适合的最后固化剂量是中间剂量的约100倍。该方式中，早期制造步骤中各层于界面处混合，且可以任何希望的比例混合以进行各层和整体装置折射率的微调，且可确保各层之间良好的共

价键粘着。最终希望的结构由最后固化步骤确定，使得再没有结构的进一步改变。为了制造平面聚合光波导，需要很好地控制各芯和包覆层的折射率。这可以通过调整各特定涂覆层所用单体的结构以获得希望的折射率来获得。实际上，很容易将若干不同折射率的可混溶单体混合在一起以得到希望的所需折射率。当需要强反射光栅时，也适合于芯中和任选地于包覆层中使用多于一种的单体。

除了使用现有的平版印刷术制造平面波导外，也可通过反应性离子蚀刻、微复制、直接激光书写、或激光消蚀制造波导芯。

材料的柔韧性使得可以制造具有所希望的机械强度的器件。即使当该器件暴露于非常高或非常低的温度下也可以避免破裂。由于材料的良好粘着力可以在各种衬底上制造坚固的器件，即使在一些恶劣的环境下如高温和高湿度下也不会脱层。器件制造技术和半导体工业生产的相容性使混合光电电路得以发展。

本发明的波导可以有各种合适的横截面形状，如环形、多边形、正方形、矩形、梯形和圆形如上部 and 侧面为抛物线或Gaussian曲线，底面为平面，于底面处与缓冲层接触。本发明的特别有用的一个方面是应用于热光器件。这些器件依据这样的事实工作，即大部分材料的折射率为温度的函数。聚合物折射率随温度的变化 (dn/dT) 为负值，且对于大部分无机材料该值很大。具体设计的器件包括基于光栅的光学开关和可调谐滤光器。实际中通常在聚合物叠层的上表面上使用加热器，即在上包覆层上或上方。器件典型构建于由相对于聚合物具有高热传导性的材料如硅晶片组成的衬底上。对加热器施加能量以建立热梯度，则其中上部聚合物层比下面的聚合物层温度高。加热器11在图6中示出，其连接于上包覆层。由于 dn/dT 是负值，聚合物叠层上部折射率比底部折射率低。折射率梯度趋于使光沿暴露于该梯度的波导向下传播至衬底。在如开关和可调谐光栅的器件中，这种向下的光位移是不希望的。在开关情况下，希望的位移是横向的，在光栅情况下不希望有光位移。本发明的波导结构用于限制光（模）向下移动。这是通过这样的事实来完成的，即使低折射率缓冲层接近于波导芯。缓冲层的影响（前提是 $n_c - n_b > 1.5 * \Delta n$ ）会克服模向下传至衬底的趋势。本发明改进的波导几何构型导致器件如开关和波长可调谐光栅的较低损耗和较低的偏振依赖。

下列非限制性实例用以阐述本发明。

实施例1

将硅晶片清洗，然后用硅烷处理使得对丙烯酸酯制剂具有粘合性。处理后的晶片用含有75:25重量%氟化二丙烯酸酯 / 氟化四丙烯酸酯且含有光引发剂的混合物的一层缓冲材料旋涂。然后将缓冲层整体暴露于光化辐射以使其部分固化。然后将缓冲层用含有92:8重量%带有8个氟原子的氟化四丙烯酸酯 / 丙烯酸氟代烷基酯且混有光引发剂的芯层材料进行旋涂。对该材料进行选择以使其折射率高于缓冲层折射率。芯层厚度取决于希望的波导高度，典型地对于单模波导在5-9微米范围内。然后将芯材料通过掩模曝光于紫外光。对芯曝光剂量进行调整以获得希望的芯宽和希望的围绕的包覆层的粘着度。然后未曝光材料以溶剂进行显影。然后用包括氟化四丙烯酸酯且混有光引发剂的上包覆层材料对芯进行旋涂。然后以最后剂量固化上包覆层，该最后剂量穿透所有层并完成上层和下层的固化。

实施例2

将含有25重量% (wt%) 氟化四丙烯酸酯F60TA、75wt%氟化二丙烯酸酯L-9367的混合物与2wt%氟化光引发剂混合以形成均匀溶液。然后将该溶液旋涂于硅衬底上，并在高压水银一氙灯下以约15mW/cm²的辐照度固化以形成10μm厚的缓冲层。缓冲层的折射率为1.313。将含有92wt%氟化四丙烯酸酯F60TA、7wt%氟化二丙烯酸酯“C6DIACRY”的芯混合物与1wt%光引发剂Darocure®1173混合以形成均匀溶液。然后将该芯溶液涂于缓冲层上。将其通过光掩模曝光于水银一氙灯并显影形成折射率为1.336的6μm厚的芯。

将含有99wt%氟化四丙烯酸酯F60TA和1wt%光引发剂Daracure®1173的上包覆层组合物混合形成均匀溶液。然后将该溶液旋涂于芯上并在汞灯下固化以形成12μm厚折射率为1.329的上包覆层。

尽管本发明已被特别地阐释，并以适合的实施方案进行了描述，但本领域普通技术人员很容易在不脱离本发明精神和范围的情况下对发明进行变化和改进。权利要求应解释为意图覆盖公开的实施方案、上述讨论的替换例及所有等效方案。

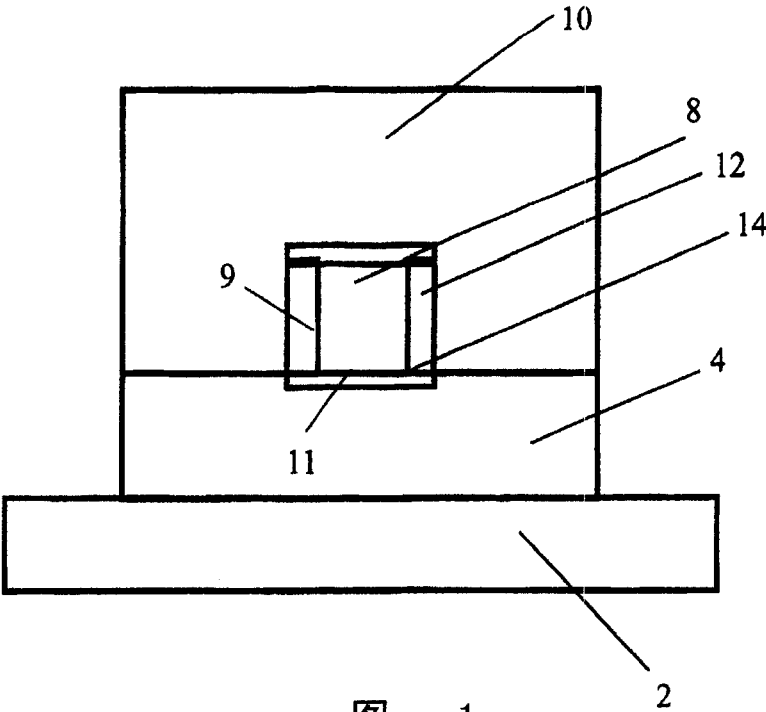


图 1

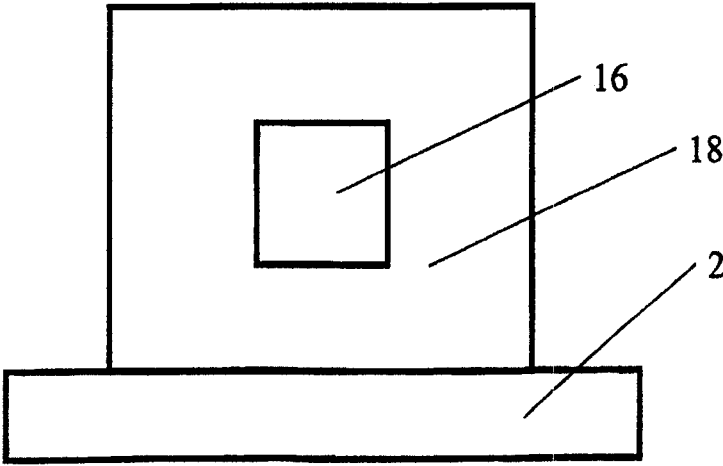


图 2

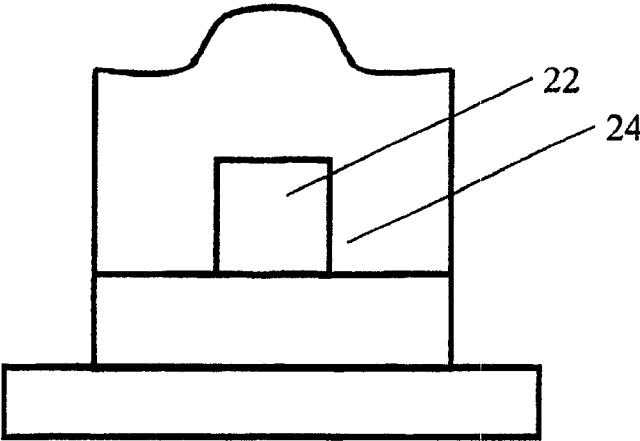


图 3
(现有技术)

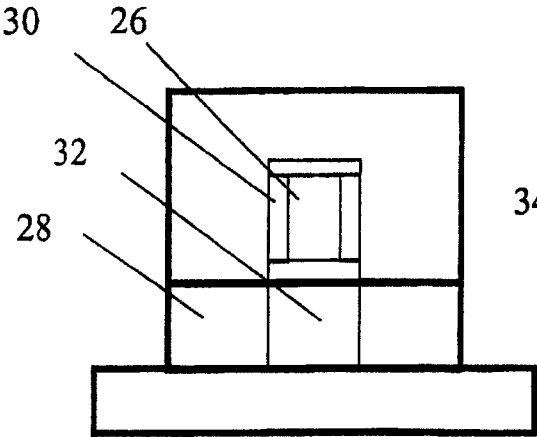


图 4
(现有技术)

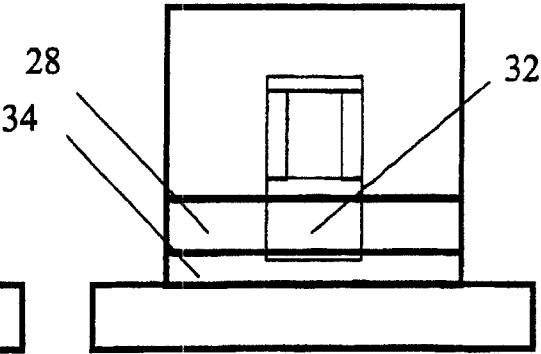


图 5
(现有技术)

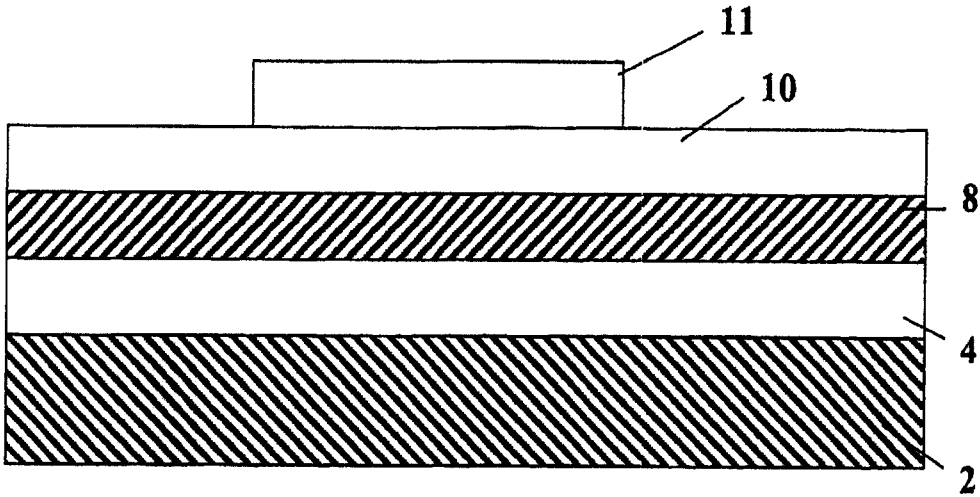


图 6

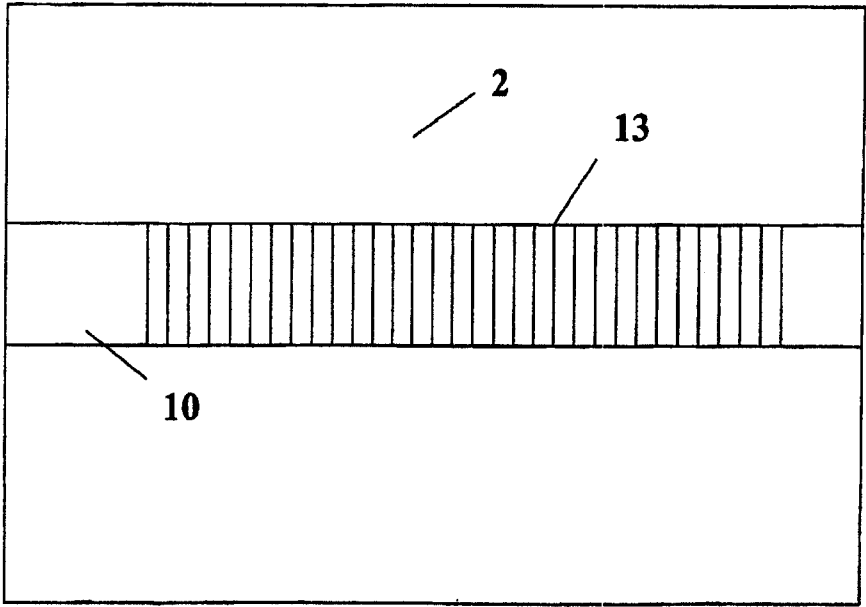


图 7