



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101120273 B

(45) 授权公告日 2011.04.13

(21) 申请号 200680004976.X

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2006.02.13

G02B 6/10 (2006.01)

(30) 优先权数据

(56) 对比文件

11/058,535 2005.02.15 US

US 2004/0264905 A1, 2004.12.30, 权利

(85) PCT申请进入国家阶段日

要求 1-35、说明书 0035 段至 0051 段、图  
9A-9C, 6A-6D.

2007.08.15

(86) PCT申请的申请数据

审查员 达文欣

PCT/US2006/005176 2006.02.13

(87) PCT申请的公布数据

WO2006/088872 EN 2006.08.24

(73) 专利权人 HOYA 美国公司

地址 美国加利福尼亚

(72) 发明人 亨利·A·布劳维尔特

戴维·W·维尔诺伊

(74) 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专

利商标事务所 11038

代理人 蒋世迅

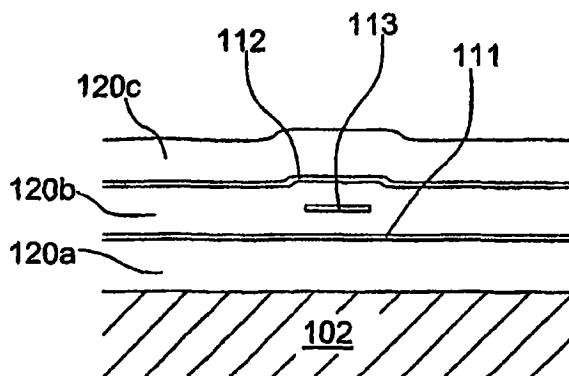
权利要求书 5 页 说明书 10 页 附图 4 页

(54) 发明名称

多芯平面型光波导及制作和使用该光波导的方法

(57) 摘要

一种多芯光波导，包括：基片；下波导芯层和上波导芯层；在上波导芯层与下波导芯层之间的波导芯；上包层和下包层；和在上波导芯层与下波导芯层之间基本包围波导芯的中包层。下包层，中包层和上包层中每个包层的折射率小于下波导芯层，上波导芯层，和波导芯的折射率。至少沿给定部分的光波导，上波导芯层和下波导芯层双向延伸的范围远远超出被光波导支持的传播光模的横向范围，被支持光模的横向范围至少部分是由沿给定部分光波导的波导芯宽度确定。



1. 一种平面型光波导，包括：  
基本上平面的波导基片；  
下波导芯层；  
上波导芯层；  
在上波导芯层与下波导芯层之间的第一波导芯；  
在基片与下波导芯层之间的下包层；  
在上波导芯层之上的上包层；和  
在上波导芯层与下波导芯层之间的中包层，该中包层包围第一波导芯并将第一波导芯与上波导芯层和下波导芯层中的每一个隔开；  
其中：  
下包层具有折射率小于下波导芯层、上波导芯层和第一波导芯的折射率；  
中包层具有折射率小于下波导芯层、上波导芯层和第一波导芯的折射率；  
上包层具有折射率小于下波导芯层、上波导芯层和第一波导芯的折射率；  
第一波导芯的宽度远远大于它的厚度；  
第一波导芯的上表面是基本平坦的；  
上波导芯层和下波导芯层以及第一波导芯是这样安排的，它们共同支持至少一个被光波导支持的传播光模；  
上波导芯层和下波导芯层双向延伸的范围远远超出被支持光模的横向范围；和  
上波导芯层和下波导芯层以及第一波导芯是这样安排的，被支持的光模基本上受第一波导芯的双向限制，它的下面是受下波导芯层的限制，而它的上面是受上波导芯层的限制。
2. 按照权利要求 1 的光波导，其中中包层的上表面是基本上平面的，且上波导芯层是基本上平面的。
3. 按照权利要求 1 的光波导，其中：  
中包层的上表面是非平面的，并包括在第一波导芯之上升起的基本平坦部分；和  
上波导芯层是非平面的，并包括在第一波导芯之上升起的基本平坦部分。
4. 按照权利要求 1 的光波导，还包括在上波导芯层与下波导芯层之间的第二波导芯，其中：  
第二波导芯的折射率大于上包层、中包层和下包层的折射率；  
第二波导芯的宽度远远大于它的厚度；  
第二波导芯的上表面是基本平坦的；和  
第一波导芯和第二波导芯在中包层内被排列成上下的关系。
5. 按照权利要求 4 的光波导，其中各个波导芯之间互相接触。
6. 按照权利要求 4 的光波导，其中：  
上波导芯层与上包层之间以及上波导芯层与中包层之间的折射率对比度小于 5%；  
下波导芯层与下包层之间以及下波导芯层与中包层之间的折射率对比度小于 5%；  
第一波导芯与中包层之间的折射率对比度小于 5%；和  
第二波导芯与中包层之间的折射率对比度大于 5%。
7. 按照权利要求 6 的光波导，其中第二波导芯基本限制至少沿部分光波导长度的传播

光模。

8. 按照权利要求 6 的光波导，其中：

上包层，中包层和下包层包含石英或掺杂石英；

上波导芯层和下波导芯层以及第一波导芯包含掺杂石英；和

第二波导芯包含氮化硅或氧氮化硅。

9. 按照权利要求 8 的光波导，其中：

上波导芯层和下波导芯层中每个芯层的厚度在  $0.3\ \mu\text{m}$  与  $2\ \mu\text{m}$  之间；

第一波导芯的厚度是在  $0.3\ \mu\text{m}$  与  $1\ \mu\text{m}$  之间，而它的宽度是在  $3\ \mu\text{m}$  与  $12\ \mu\text{m}$  之间；

第二波导芯的宽度小于  $2\ \mu\text{m}$ ，而它的厚度小于  $200\text{nm}$ ；

下波导芯层与第一波导芯之间中包层的厚度是在  $1\ \mu\text{m}$  与  $3\ \mu\text{m}$  之间；和

上波导芯层与第一波导芯之间中包层的厚度是在  $1\ \mu\text{m}$  与  $3\ \mu\text{m}$  之间。

10. 按照权利要求 6 的光波导，其中：

在沿部分波导的纵向上，第二波导芯至少沿一个横向维度是变细的；

第二波导芯是逐渐变细，为的是基本避免与不希望的光模的光耦合；和

该光波导的功能是耦合被第一波导芯和第二波导芯分别支持的传播光模之间的光信号。

11. 按照权利要求 1 的光波导，还包括：光纤或第二平面型光波导，其中该平面型光波导终止在波导端面，第一波导芯以及上波导芯层和下波导芯层中的每一个达到波导端面，并且该平面型光波导通过端面光学端耦合到该光纤或第二平面型光波导。

12. 按照权利要求 11 的光波导，还包括：平面型光波导在波导端面附近的变细段，其中上波导芯层和下波导芯层沿朝向波导端面的终端波导段是双向变细；

其中被支持的光模至少部分地是受在波导端面的上波导芯层和下波导芯层基本双向限制。

13. 按照权利要求 12 的光波导，其中变细的波导段是被各自的伸出面双向约束，而上波导芯层和下波导芯层以及各个包层是沿平面型光波导的终端段被伸出面双向约束。

14. 按照权利要求 13 的光波导，其中该伸出面基本上是被基本透明的嵌入媒体或密封剂覆盖。

15. 按照权利要求 12 的光波导，其中：

上包层，中包层，和下包层包含石英或掺杂石英；和

上波导芯层和下波导芯层以及第一波导芯包含掺杂石英。

16. 按照权利要求 15 的光波导，其中：

第一波导芯的厚度是在  $0.3\ \mu\text{m}$  与  $1\ \mu\text{m}$  之间，而它在波导端面的宽度是在  $3\ \mu\text{m}$  与  $12\ \mu\text{m}$  之间；

上波导芯层和下波导芯层中每个芯层的厚度是在  $0.3\ \mu\text{m}$  与  $2\ \mu\text{m}$  之间，每个芯层的宽度都大于第一波导芯的宽度，而每个芯层的宽度与第一波导芯在波导端面的宽度相比要宽小于  $30\ \mu\text{m}$ ；

下波导芯层与第一波导芯之间中包层在波导端面的厚度是在  $1\ \mu\text{m}$  与  $3\ \mu\text{m}$  之间；和上波导芯层与第一波导芯之间中包层在波导端面的厚度是在  $1\ \mu\text{m}$  与  $3\ \mu\text{m}$  之间。

17. 按照权利要求 11 的光波导，其中所述光纤或所述第二平面型光波导与波导端面之

间是沿纵向隔开的，且在它与波导端面的纵向间隔为  $10\ \mu\text{m}$  与  $25\ \mu\text{m}$  之间的情况下，衍射的光耦合损耗小于  $0.3\text{dB}$ 。

18. 按照权利要求 1 的光波导，其中：

上波导芯层与上包层之间以及上波导芯层与中包层之间的折射率对比度小于  $5\%$ ；

下波导芯层与下包层之间以及下波导芯层与中包层之间的折射率对比度小于  $5\%$ ；和  
第一波导芯与中包层之间的折射率对比度小于  $5\%$ 。

19. 按照权利要求 18 的光波导，其中：

上波导芯层和下波导芯层包含掺杂石英，其厚度是在  $0.3\ \mu\text{m}$  与  $2\ \mu\text{m}$  之间；

第一波导芯包含掺杂石英，其厚度是在  $0.3\ \mu\text{m}$  与  $1\ \mu\text{m}$  之间，而其宽度是在  $3\ \mu\text{m}$  与  $12\ \mu\text{m}$  之间；

下包层，中包层，和上包层包含石英或掺杂石英；

下波导芯层与第一波导芯之间中包层的厚度是在  $1\ \mu\text{m}$  与  $3\ \mu\text{m}$  之间；和

上波导芯层与第一波导芯之间中包层的厚度是在  $1\ \mu\text{m}$  与  $3\ \mu\text{m}$  之间。

20. 一种用于制作平面型光波导的方法，包括：

在波导基片上制成下包层；

在下包层上制成下波导芯层；

在下波导芯层上制成中包层的底部；

在中包层的底部制成第一波导芯；

在第一波导芯之上和中包层底部的曝光区上制成中包层的顶部；

在中包层的顶部上制成上波导芯层；和

在上波导芯层上制成上包层，

其中：

下包层具有折射率小于下波导芯层，上波导芯层，和第一波导芯的折射率；

中包层具有折射率小于下波导芯层，上波导芯层，和第一波导芯的折射率；

上包层具有折射率小于下波导芯层，上波导芯层，和第一波导芯的折射率；

第一波导芯的宽度远远大于它的厚度；

第一波导芯的上表面是基本平坦的；和

上波导芯层和下波导芯层双向延伸的范围远远超出被平面型光波导支持的传播光模的横向范围，被支持的光模基本上是受第一波导芯的双向限制。

21. 按照权利要求 20 的方法，还包括在第一波导芯之上制成第二波导芯，其中：

第二波导芯的折射率大于上包层，中包层，和下包层的折射率；

第二波导芯的宽度远远大于它的厚度；

第二波导芯的上表面是基本平坦的；和

第一波导芯和第二波导芯在中包层内被排列成上下的关系。

22. 按照权利要求 21 的方法，其中这两个波导芯是互相接触的。

23. 按照权利要求 21 的方法，其中：

上波导芯层与上包层之间以及上波导芯层与中包层之间的折射率对比度小于  $5\%$ ；

下波导芯层与下包层之间以及下波导芯层与中包层之间的折射率对比度小于  $5\%$ ；

第一波导芯与中包层之间的折射率对比度小于  $5\%$ ；和

第二波导芯与中包层之间的折射率对比度大于 5%。

24. 按照权利要求 23 的方法，其中：

上波导芯层和下波导芯层中的每个芯层包含石英或掺杂石英，其厚度是在  $0.3\ \mu\text{m}$  与  $2\ \mu\text{m}$  之间；

第一波导芯包含掺杂石英，且它的厚度是在  $0.3\ \mu\text{m}$  与  $1\ \mu\text{m}$  之间，而它的宽度是在  $3\ \mu\text{m}$  与  $12\ \mu\text{m}$  之间；

第二波导芯包含氮化硅或氧氮化硅，且它的宽度小于  $2\ \mu\text{m}$ ，而它的厚度小于  $200\text{nm}$ ；

中包层包含石英或掺杂石英；

下波导芯层与第一波导芯之间中包层的厚度是在  $1\ \mu\text{m}$  与  $3\ \mu\text{m}$  之间；和

上波导芯层与第一波导芯之间中包层的厚度是在  $1\ \mu\text{m}$  与  $3\ \mu\text{m}$  之间。

25. 按照权利要求 23 的方法，其中：

在沿部分波导的纵向上，第二波导芯至少在一个横向维度上是变细的；

第二波导芯逐渐变细，为的是基本避免与不希望的光模的光耦合；和

该光波导的功能是耦合分别由第一波导芯和第二波导芯支持的传播光模之间的光信号。

26. 按照权利要求 20 的方法，还包括：

制成终止该平面型光波导的波导端面；和

放置光纤或第二平面型光波导，用于通过其端面与平面型光波导的光端耦合，

其中第一波导芯以及上波导芯层和下波导芯层都达到该波导端面。

27. 按照权利要求 26 的方法，还包括：在波导端面附近制成平面型光波导的变细段，其中上波导芯层和下波导芯层沿朝向波导端面的终端波导段是双向变细的，

其中被支持光模至少部分地是被在波导端面的上波导芯层和下波导芯层基本双向限制。

28. 按照权利要求 27 的方法，还包括：制成用于约束终端波导段的双向伸出面，其中上波导芯层和下波导芯层以及包层沿平面型光波导的变细段是受伸出面的双向约束。

29. 按照权利要求 28 的方法，还包括：利用基本透明的嵌入媒体或密封剂基本覆盖伸出面。

30. 按照权利要求 27 的方法，其中：

上包层，中包层，和下包层包含石英或掺杂石英；

上波导芯层和下波导芯层以及第一波导芯包含掺杂石英；

第一波导芯的厚度是在  $0.3\ \mu\text{m}$  与  $1\ \mu\text{m}$  之间，而它在波导端面的宽度是在  $3\ \mu\text{m}$  与  $12\ \mu\text{m}$  之间；

上波导芯层和下波导芯层中每个芯层的厚度在  $0.3\ \mu\text{m}$  与  $2\ \mu\text{m}$  之间，它们的宽度都比第一波导芯宽，而每个芯层的宽度与第一波导芯在波导端面的宽度相比要宽小于  $30\ \mu\text{m}$ ；

下波导芯层与第一波导芯之间中包层在波导端面的厚度在  $1\ \mu\text{m}$  与  $3\ \mu\text{m}$  之间；和

上波导芯层与第一波导芯之间中包层在波导端面的厚度在  $1\ \mu\text{m}$  与  $3\ \mu\text{m}$  之间。

31. 按照权利要求 20 的方法，其中：

上波导芯层与上包层之间以及上波导芯层与中包层之间的折射率对比度小于 5%；  
下波导芯层与下包层之间以及下波导芯层与中包层之间的折射率对比度小于 5%；和  
第一波导芯与中包层之间的折射率对比度小于 5%。

32. 按照权利要求 31 的方法，其中：

上波导芯层和下波导芯层包含掺杂石英，其厚度是在  $0.3\ \mu\text{m}$  与  $2\ \mu\text{m}$  之间；

第一波导芯包含掺杂石英，其厚度是在  $0.3\ \mu\text{m}$  与  $1\ \mu\text{m}$  之间，而它的宽度是在  $3\ \mu\text{m}$   
与  $12\ \mu\text{m}$  之间；

下包层，中包层，和上包层包含石英或掺杂石英；

下波导芯层与第一波导芯之间中包层的厚度是在  $1\ \mu\text{m}$  与  $3\ \mu\text{m}$  之间；和

上波导芯层与第一波导芯之间中包层的厚度是在  $1\ \mu\text{m}$  与  $3\ \mu\text{m}$  之间。

## 多芯平面型光波导及制作 和使用该光波导的方法

### 技术领域

[0001] 本申请要求基于在 02/15/2005 申请的美国非临时申请号 11/085,535 的优先权，所述非临时申请全文合并在此供参考。

[0002] 本发明的领域涉及光波导。尤其是，我们在此处公开多芯平面型光波导以及制作和使用该波导的方法。

### 背景技术

[0003] 在波导基片上制成的平面型光波导可以包含在各种光学设备中。这种光波导可以制作成有多个芯或芯层。如以下所描述的，在各种情况下使用这种多芯平面型光波导可能是有利的。

[0004] 在这个申请中公开的主题可能涉及在以下申请中公开的主题：i) 在 04/29/2004 申请的美国非临时申请号 10/836,641 (在 12/30/2004 公布的美国专利申请公布号 2004/0264905A1)；ii) 在 10/09/2003 申请的美国非临时申请号 10/682,768 (还未公布)；iii) 在 09/12/2003 申请的美国非临时申请号 10/661,709 (在 07/08/2004 出版的美国专利申请公布号 2004/0129935A1)；和 iv) 在 06/27/2003 申请的美国非临时申请号 10/609,018 (在 03/18/2004 公布的美国专利申请公布号 2004/0052467A1)。每个所述非临时申请全文合并在此供参考。

### 发明内容

[0005] 一种多芯光波导包括：基本上平面的波导基片；下波导芯层；上波导芯层；在上波导芯层与下波导芯层之间的波导芯；在基片与下波导芯层之间的下包层；在上波导芯层之上的上包层；和在上波导芯层与下波导芯层之间基本包围波导芯的中包层。下包层，中包层，和上包层中每个包层的折射率小于下波导芯层，上波导芯层，和波导芯的折射率。至少沿给定部分的光波导，上波导芯层和下波导芯层双向延伸的范围远远超出被光波导支持的传播光模的横向范围，被支持光模的横向范围至少部分是由沿给定部分光波导的波导芯宽度确定。该光波导还包含第二波导芯。可以利用各种方法使波导芯变细，为的是实现在波导芯之间光耦合产生的模式转换。该波导可以终止在它的端面，用于与光纤或平面型波导的光学端面耦合，而波导的终端段可以适合于这种端面耦合。

[0006] 该波导的制作方法是：在波导基片上制成下包层；在下包层上制成下波导芯层；在下芯层上制成中包层的底部；在中包层的底部上制成波导芯；在波导芯和中包层底部的未曝光区域上制成中包层的顶部；在中包层的顶部上制成上波导芯层；和在上波导芯层上制成上包层。可以按顺序或同时完成各个波导芯，芯层，或包层的空间图形。

[0007] 在参照公开的典型实施例之后，与此处公开的多芯平面型光波导有关的目的和优点是显而易见，在附图中说明并在以下的文字描述或权利要求书中公开这些实施例。

## 附图说明

[0008] 图 1A-1E 是典型多芯光波导的剖面图。

[0009] 图 2A-2E 是典型多芯光波导的剖面图。

[0010] 图 3A-3E 是典型多芯光波导的平面图和剖面图。

[0011] 图 4A-4D 是典型多芯光波导的平面图和剖面图。

[0012] 在这些附图中所示的实施例是典型的，因此，不应当把它们解释成对本发明范围和 / 或所附权利要求书的限制。应当注意，在这些附图中所示结构的相对尺寸或比例在某些情况下是失真的，为的是便于解释这些公开的实施例。

## 具体实施方式

[0013] 图 1A-1E 表示形成在波导基片 102 上典型实施例的多芯低对比度平面型波导的剖面图。虽然可以采用任何合适的基片材料，但是，基片 102 可以包括半导体基片，例如，在这个例子中是硅。在这个例子中，低对比度波导芯 113 包含掺杂石英，并被较低折射率的中包层 120b 包围，中包层 120b 包含折射率在 1.44 与 1.46 之间的掺杂或未掺杂石英。此处使用的术语“低对比度”或“低折射率对比度”表示约小于 5% 的折射率对比度。在这个例子中，波导芯 113 与中包层 120b 之间的折射率对比度约小于 5%，或可以在约 0.5% 与约 3% 之间，或可以在约 1% 与约 2% 之间。例如，波导芯 113 的折射率通常是在约 1.46 与 1.48 之间。中包层 120b 和其中的波导芯 113 被设置在两个掺杂石英芯层 111 与 112 之间，而这两个芯层又被设置在较低折射率的上包层 120c 与低折射率的下包层 120a 之间。在这个例子中，包层 120a 和包层 120c 包含掺杂或未掺杂石英，其折射率与中包层 120b 的折射率相近或相同。芯层 111 和 112 可以包含掺杂石英，其折射率大于包层 120a, 120b, 和 120c 的折射率，并与波导芯 113 的折射率相近或相同。可以采用任何其他合适的材料制成波导芯 113, 芯层 111 和 112, 或包层 120a, 120b, 或 120c。

[0014] 在图 1B 和 1E 的例子中，芯层 111 和 112 双向延伸的范围远远超出该波导支持的传播光模的横向范围。这种光模通常是受波导芯 113 的双向限制，而波导芯 113 的横向范围至少部分地确定被支持光模的横向范围。在图 1A, 1C, 和 1D 的例子中，可以制成包层 120a, 120b, 或 120c, 为的是形成终止芯层 111 和 / 或 112 的伸出横向面。这种横向面可以在不同的深度上，并可以不延伸或向下延伸到波导芯 113 的深度附近或之外。制成的波导可以包含图 1A-1E 所示有各种配置的多个分段。在有一个或两个横向伸出面的一些实施例中，芯层 111 和 112 沿横向延伸的范围可以远远超出被支持光模的横向范围。或者，在其他的实施例中，被支持光模的横向范围可以部分地由芯层 111 和 112 (如果它们终止在充分地接近波导芯 113) 的横向范围确定，或由存在的横向伸出面确定 (如果它的位置是充分地接近波导芯 113)。在图 1A-1E 所示所有典型的多芯低对比度波导中，被支持的传播光模基本上受芯层 111 和 112 沿垂直方向的限制，而波导芯 113 的存在影响其中心附近的横模分布 (沿垂直方向)。

[0015] 在一个典型的多芯低对比度波导中，它有上述的石英或掺杂石英波导芯，芯层，和包层，波导芯 113 可以是约  $0.7\mu\text{m}$  厚和约  $8\mu\text{m}$  宽，每个芯层 111 和 112 的厚度可以是约  $0.6\mu\text{m}$ ，而把波导芯 113 与每个芯层 111 和 112 隔开的中包层 120b 厚度可以是约  $1.5\mu\text{m}$ 。在约  $1.3\text{--}1.5\mu\text{m}$  的波长下，这些尺寸可以产生的横模大小为约  $8\mu\text{m}$  高和约

10  $\mu\text{m}$  宽（模大小表示成  $1/e^2\text{HW}$  幂）。波导芯，芯层，或包层可以选取其他的尺寸或折射率以产生在本发明范围内的合适模大小和形状。例如，可以选取合适的模大小和形状，使它的空间模与光纤模或另一个光波导模匹配，从而能够实现有减小的衍射光损耗水平的端面耦合。波导芯 113 的厚度范围可以从约 0.3  $\mu\text{m}$  至约 1  $\mu\text{m}$ ，而它的宽度是在约 3  $\mu\text{m}$  与约 12  $\mu\text{m}$  之间。在不要求单模性能的某些情况下，波导芯 113 的宽度可以约 15  $\mu\text{m}$  或约 20  $\mu\text{m}$ 。芯层 111 和 112 的厚度范围可以从约 0.3  $\mu\text{m}$  至约 2  $\mu\text{m}$ 。波导芯 113 和芯层 111/112 的折射率范围通常是在约 1.46 与 1.48 之间，而包层 120a/120b/120c 的折射率范围通常是在约 1.44 与 1.46 之间。在以上给出的一个或多个折射率对比度范围内，可以采用任何其他合适的折射率。隔开波导芯 113 与芯层 111/112 的包层部分 120b 厚度可以是在约 1  $\mu\text{m}$  与约 3  $\mu\text{m}$  之间。这些尺寸的具体组合取决于所需的空间光模特征和所采用的具体折射率对比度。除了掺杂和未掺杂石英以外，也可以采用其他合适的波导芯和包层材料。如在以上的例子中，芯层 111 之下的下包层 120a 可以充分地厚，为的是减小或基本消除从波导进入基片 102 的光泄漏（在运行可接受的限制内），或在包层与基片之间可以采用反射涂层（如以上所描述的）。下包层的厚度可以约大于 5  $\mu\text{m}$ ，或在约 6  $\mu\text{m}$  与 12  $\mu\text{m}$  之间，或在约 8  $\mu\text{m}$  与 10  $\mu\text{m}$  之间。类似地，上芯层 112 之上的上包层 120c 可以充分地厚，为的是减小或基本消除通过波导上表面的光泄漏（在运行可接受的限制内），或基本隔离被支持光模与使用的环境（在运行可接受的限制内）。上包层的厚度可以约大于 5  $\mu\text{m}$ ，或在约 6  $\mu\text{m}$  与 12  $\mu\text{m}$  之间，或在约 8  $\mu\text{m}$  与 10  $\mu\text{m}$  之间。

[0016] 制作多芯低折射率波导，如图 1A-1E 所示的例子，通常是从沉积（按顺序）下包层 120a，芯层 111，和包层 120b 的底部开始。然后，在被沉积包层 120b 的基本上平面的上表面上制成波导芯 113，通常是利用空间选择性沉积或在基本均匀沉积之后的空间选择性切除。在制成波导芯 113 之后，沉积附加的包层 120b，包层 120b 可以包含或不包含用于制成包层 120b 底部所沉积的相同材料。若采用有基本正形度的沉积过程，则包层 120b 的上表面可以直接显示在波导芯 113 之上的升起部分。可以直接沉积上芯层 112 到这个非平面的包层表面上，从而直接地在波导芯 113 之上形成芯层 112 的对应升起部分。上包层 120c 可以沉积在非平面的芯层 112 上，从而形成包层 120c 的对应非平面上表面。从这个典型制作序列得到的多芯低折射率波导就与图 1B 所示的典型实施例相似。若采用包层 120b 的沉积过程，它产生与以下拓扑结构无关的基本上平坦的上表面，或者，若包层 120b 的非平面上表面在沉积芯层 112 之前是基本平面化的，则形成的多芯波导就与图 1E 所示的典型实施例相似。在任何一种情况下（平面或非平面芯层 112），如果需要，可以对制成的波导作进一步处理，从而产生图 1A，1C，或 1D 所示的伸出横向面。为了有相对低的折射率对比度（例如，约小于 5%），和充分薄的波导芯 113（例如，约小于 1  $\mu\text{m}$ ），有非平面上芯层 112 的多芯波导可以展示这样的光性能特征，它基本类似于有基本上平成的上芯层 112 的多芯波导所有的那些光性能特征。

[0017] 图 2A-2E 表示也包含高对比度波导芯的典型多芯平面型光波导。如同在以上的例子中，基片 202 可以包含硅，虽然也可以采用任何合适的基片材料，而包层 220a，220b，和 220c 可以包含合适厚度的掺杂或未掺杂石英（折射率是在约 1.44 与约 1.46 之间），虽然也可以采用任何合适的包层材料。在这个例子中，高折射率对比度波导芯 213b 可以包含一层氮化硅或氧氮化硅，其厚度是从几十纳米至几百纳米，而宽度是几个

微米（约大于 5% 的高折射率对比度）。高对比度芯 213b 可以沿整个波导延伸，或可以仅沿波导的一段或多段延伸，而在其他各段上没有。低折射率对比度芯 213a 可以包含约  $0.7\ \mu\text{m}$  厚和  $8\ \mu\text{m}$  宽的掺杂石英，在这个例子中，其折射率是在约 1.46 与约 1.48 之间。低折射率对比度芯层 211 和 212 也可以包含约  $0.6\ \mu\text{m}$  厚的石英或掺杂石英，其折射率与波导芯 213a 的折射率相近或相同。在所示的例子中，波导芯 213a 与 213b 之间互相接触；波导芯 213a 与 213b 之间被包层材料 220b 隔开的实施例也应当在本发明内容或所附权利要求书的范围内。在有波导芯 213b 和波导芯 213a 的厚度至少是几十微米，或波导芯 213b 的宽度大于 1 至  $2\ \mu\text{m}$  的波导部分上，波导芯 213a 和芯层 211/212 的存在对波导的光模特征没有什么影响或影响很小，该波导的光模特征基本上是由波导芯 213b 的尺寸，形状，和折射率对比度确定。在没有波导芯 213b 的波导段上，波导芯 213a 和芯层 211/212 可以支持这样的光模，其特征基本上是由它们的折射率对比度，尺寸，和相对位置以及包层 220a/220b/220c 的折射率确定。当波导芯 213b 的宽度尺寸减小到约 1 至 2 微米以下时，在它不存在之前，该波导支持的光模在这两个极端之间经受连续的演变，而利用波导芯 213a/213b 和芯层 211/212 尺寸的适当组合，可以实现各种所需的模大小，形状，或其他特征。按照以上描述的任何各种方法（即，有或没有伸出的横向面），可以配置包层 220a/220b/220c 和芯层 211/212 的横向部分，而制成的波导可以包含有各种这些配置的多个分段。

[0018] 图 2A-2E 所示波导的多芯结构能够有宽阵列的光学设计，用于实现各种光学性能和 / 或功能。如以上所描述的，高折射率对比度的芯层 213b 可以容易地适合与另一个光波导或半导体光学装置的基本空间模匹配的光端面耦合，或与另一个光波导的光横向耦合（基本绝热的，基本模折射率匹配的，或其他），用于照射光电检测器或其他的目的。低折射率对比度波导芯 213a 和芯层 211/212 可以容易地适合与另一个光波导或光纤的基本空间模匹配的光端面耦合，或在两个这种光波导的端面之间能够插入各种自由空间光学元件，或用于其他的目的。波导芯 213a 和芯层 211/212 的这种适合性可以包含减小宽度（例如，约小于  $1\ \mu\text{m}$  的宽度）的波导芯 213b 以实现所需的光模特征。利用制成波导芯 213a 和 213b 的材料有空间选择性图形，在这两个不同的波导类型之间（高折射率对比度芯与低折射率对比度芯之间）可以实现基本绝热的转变。

[0019] 如图 3A-3E 所示，在第一段波导 300a 上基本均匀的低折射率对比度芯层 311/312 与基本均匀的波导芯材料层 313a 之间可以对几微米宽的高折射率对比度波导芯 313b 制作图形。沿着这个第一波导段 300a，高对比度波导芯 313b 基本确定被引导光模的特征，而芯层 311/312/313a 对波导性质的影响是可忽略的（图 3B）。沿着第二波导段 300b，可以对波导芯材料层 313a 以及波导芯 313b 制作图形。层 313b 的图形可以是继续存在高折射率对比度芯，而层 313a 的图形可以是形成低折射率对比度芯（图 3C）。层 313a 的图形可以是这样的，低折射率对比度波导芯的出现是逐渐的（即，基本绝热的，如图所示），或低折射率对比度波导芯的出现是突然的（未画出）。高对比度芯 313b 继续基本确定波导沿段 300b 的光学特征。沿波导的第三段 300c（图 3D），对高对比度波导芯 313b 制作图形，为的是逐渐减小沿波导长度的宽度，直至它最后终止，而低对比度波导芯 313a 沿波导段 300c 的长度继续存在。这种高对比度波导芯 313b 的变细是充分地渐变的，为的是在波导段 300c 的一端上高对比度波导芯 313b 的波导光模特征与在波导段

300c 的另一端上低对比度波导芯 313a 和芯层 311/312 的波导光模特征之间允许基本绝热的转变。该波导的第四段 300d 仅包含低对比度波导芯 313a 和芯层 311/312，而没有高对比度波导芯 313b(图 3E)。代替终止，高对比度波导芯 313b 可以变细到某个最小宽度(例如，约小于  $1\mu\text{m}$ ；未画出)，然后，沿波导段 300d 继续保持这个宽度，为的是实现被波导段 300d 支持的所需光模特征。图 3A-3E 中所示的典型光波导可以作为光模转换器，其中光功率可以沿任一方向传播。

[0020] 在图 2A-2E 和 3A-3E 所示多芯实施例的变型中，高对比度芯 213b/313b 可以形成在相对于低对比度芯层 211/311 和 212/312 以及低对比度芯 313a 的任何合适垂直位置。在一个低对比度层界面上形成高对比度芯 213b/313b 可以减小制作步骤的数目(不需要分两步沉积一个包围芯 213b/313b 的层)。高对比度芯 213b/313b 与在芯层 211/311 与 212/312 之间低对比度芯 213a/313a 的接触可以导致优选的光耦合进入被多芯低对比度波导支持的最低级对称模。代替高对比度芯 313b 与低对比度芯 313a 之间基本绝热的转变(图 3A-3E)，在其他各个实施例中，芯 313a 和 313b 可以陡然地而不是逐渐地出现和/或终止。这种安排对于这两个芯之间基本的模折射率匹配的光横向耦合可能是合适的，它可以代替基本绝热的横向耦合。在本发明的范围内可以设想这些实施例的许多其他变型。

[0021] 利用类似于以上描述制作图 1A-1E 所示典型波导的处理顺序，可以制作图 2A-2E 和 3A-3E 所示的典型波导。例如，制作图 2A-2E 所示的波导通常可以从沉积(按顺序)下包层 220a，芯层 211，和包层 220b 的底部开始。然后，在被沉积包层 220b 的基本上平面的上表面上可以制成芯 213a 和 213b，通常是利用空间选择性沉积或在基本均匀沉积之后的空间选择性切除。若是后者的情况，则在任何一种空间选择性处理之前可以沉积这两材料层。若芯 213a 与 213b 之间是被包层 220b 隔开的，则包层 220b 的中间层是在形成一个芯之后并在形成另一个芯之前被沉积的(如以上所讨论的，这个中间包层的上表面可以是平面化或没有平面化的)。在形成芯 213a 和 213b 之后，可以沉积附加的包层 220b，该包层可以包含或不包含与形成包层 220b 底部(或中间部分，如果有这个中间部分)所沉积的相同材料。若采用有基本正形度的沉积过程，则包层 220b 的上表面可以直接在波导芯 213a 和 213b 之上显示升起的部分。上芯层 212 可以直接沉积在这个非平面的包层面，从而在波导芯 213a 和 213b 之上直接形成芯层 212 的对应升起部分。上包层 220c 可以沉积在非平面的芯层 212 上，从而形成包层 220c 的对应非平面上表面。按照这个典型制作顺序制成的多芯波导与图 2B 中所示的典型实施例相似。若包层 220b 采用这样的沉积过程，它产生与以下拓扑结构无关的基本平坦的上表面，或在沉积芯层 212 之前，若包层 220b 的非平面上表面被基本平面化，则制成的多芯波导与图 2E 中所示的典型实施例相似。在任何一种情况下(平面或非平面的芯层 212)，可以对制成的波导作进一步的处理以产生图 2A，2C，或 2D 所示的伸出横向面。对于相对低的折射率对比度(约小于 5%)和充分薄的波导芯 213(例如，约小于  $1\mu\text{m}$ )，有非平面上芯层 212 的多芯波导具有这样的光学性能特征，它基本类似于有基本上平面的上芯层 212 的多芯波导所具有的那些光学性能特征。

[0022] 在图 4A-4D 所示的典型实施例中，在基片 404 上制成的多芯波导终止在基片段 400c 上形成的 V 型槽 403。在 V 型槽 403 中放置的光纤(未画出)可以端面耦合该波导。被波导的基片段 400a 支持的光模可以具有沿水平方向伸长的椭圆横模形状。虽然

这种模对于端面耦合另一个类似配置的波导可能是合适的，但是它对于 V 型槽 403 中放置的光纤提供的端面耦合不是最佳的。波导的终端段 400b 可以适合于支持在其端面的更近似对称空间模，从而增强与 V 型槽 403 中光纤的端面耦合。图 4A-4D 表示这样一种合适的配合，其中蚀刻（或其他处理方法）与波导段 400b 相邻的两个区域，为的是去除基片 402 之上的芯材料和包层材料，并形成横向的伸出面 404。被蚀刻区是这样安排的，在波导的端面附近，芯层 411 和 412 终止在波导芯 413 的横向边缘邻近，因此，芯层 411 和 412 至少部分地横向限制传播光模。通过选取在波导端部有合适宽度的芯层 411 和 412（该选取是部分基于材料的折射率，例如，随后采用的嵌入媒体或密封剂以填充被蚀刻区），可以形成与光纤的传播模有较好匹配的传播模形状，为的是在波导与光纤之间提供的端面耦合等于或高于运行可接受的水平。如果需要，波导段 400a 与波导段 400b 的端面之间的转变可以是基本绝热的，其芯层 411 和 412 在沿朝向波导端面的宽度上是变细的。通常是这样的情况，其中折射率匹配物质被沉积在波导端面与光纤之间，并可以采用这种折射率匹配材料以填充被蚀刻区，只要它的折射率小于芯层 411 和 412 的折射率，或不大于包层 420a, 420b, 或 420c 的折射率。为了使处理变得容易，在一些实施例中，薄的端壁 405 可以留在波导的末端；该端壁包含层 420a/420b/420c 和 411/412。这种端壁可以做得充分地薄（约小于  $10\ \mu\text{m}$ ，通常是仅为约  $2\text{--}3\ \mu\text{m}$ ），为的是基本不影响进入波导端面或从波导端面射出的传播光模。有或没有端壁的实施例也是在本发明内容或所附权利要求书的范围内。

[0023] 代替在单个步骤中蚀刻两个芯层 411/412 和所有的包层 420a/420b/420c，因此，芯层 411/412 至少部分地沿横向限制传播光模（例如，形成图 4A-4D 中所示的结构），在制作波导时可以分别地对芯层 411/412 制成图形，为了使沿朝向波导端面（未画出）的波导宽度变细。由于采用这种制作方案，中包层 420b 就与芯层 411 的横向边缘接触，而上包层 420c 就与芯层 412 的横向边缘接触。

[0024] 对于以上公开的典型波导的典型尺寸和折射率对比度，我们发现，下芯层 411 和上芯层 412 在波导端面可以对横向限制有贡献，如果它们终止的位置与芯 413 的各自横向边缘的距离约小于  $15\ \mu\text{m}$ 。在波导端面的较宽芯层 411/412 似乎不能提供基本的限制度。在波导端面附近的被终止芯层 411/412 的宽度范围是从芯 413 的宽度至比芯 413 的宽度约大  $30\ \mu\text{m}$ ，或可以比芯 413 的宽度约大  $6\ \mu\text{m}$  至约大  $20\ \mu\text{m}$ ，或可以比芯 413 的宽度约大  $8\ \mu\text{m}$  至约大  $12\ \mu\text{m}$ 。

[0025] 代替用于放置用于端面耦合的光纤的 V 型槽，基片 402 可以在其上面有制成的第二光波导，其位置适合于端面耦合（未画出）。或者，基片 402 可以适合于放置在第二基片上制成的第二平面型光波导，并随后与用于端面耦合（未画出）的基片 402 进行组装。在这两种方案的任何一个方案中，波导的终端段 400b 可以采用任何合适的方式，为了能在运行可接受的水平上实现两个波导之间的端面耦合。

[0026] 图 1A-1E, 2A-2E, 3A-3B, 和 4A-4D 中所示典型实施例的多芯波导及其变型具有许多在以上申请号 10/836,641 中公开的双芯波导的理想光学性质。调整波导芯，芯层，或包层的折射率或厚度可以调整被多芯波导支持的传播光模的空间性质。多芯波导能够实现与包括其他平面型光波导或光纤在内其他光波导的有效端面耦合。被多芯波导支持的光模横向大小相对于波长（至少在典型的近红外电信波长的范围内）通常是基本

不变的。被多芯波导支持的最低级模可以与另一个平面型波导或与光纤有基本的空间模匹配（尤其是采用图 4A-4D 所示的波导）。在传播到波导端面之外的一段距离之后，被多芯波导支持的光模往往具有最小的相前曲率。对于此处讨论的典型波长和模大小，这种最小的相前曲率往往发生在与波导端面相距约  $5\ \mu\text{m}$  至  $30\ \mu\text{m}$ 。在与端面耦合另一个平面型波导或光纤时，这能够大大减小衍射的光损耗。在波导之间要求自由空间光传播的情况下，例如，按照上述申请号 10/682,768 中的内容，可以有利地实施多芯低对比度波导。在从波导端面到光电检测器之间要求自由空间光传播的情况下，例如，按照上述申请号 10/661,709 中的内容，可以有利地实施多芯低对比度波导。相对于单芯平面型波导，多芯低对比度波导还可以具有减小的偏振和 / 或波长关系。仍然可以保持在本发明内容和 / 或所附权利要求书的范围内，图 1A-1E, 2A-2E, 3A-3E, 和 4A-4D 中任何波导的波导芯，芯层，和包层的折射率，厚度，和横向尺寸都可以被优化以实现理想的运行可接受性能（关于光损耗，偏振依赖关系，波长依赖关系，空间模匹配，等等）。

[0027] 附图中所示的典型浅剖面芯波导仅代表平面型波导中各个实施例的样本，可以利用一个或多个浅剖面芯或芯层制成该波导。虽然典型的实施例包含一个，两个，三个，或四个波导芯或芯层，但是，在本发明的范围内可以实现包含更大数目波导芯的实施例。可以采用许多其他合适浅剖面芯的波导配置，和其他合适的材料和 / 或使用的材料组合，而它们仍然都在本发明的范围内。

[0028] 此处公开的低对比度多芯波导与偏振或波长之间具有相对小或基本可忽略的依赖关系。这种波导非常适合于这种依赖关系是不希望的或不可接受的装置。例如，在光接收器中可以采用这种与偏振基本无关的波导，其中输入光的偏振状态可能是未知的或可以随时间变化的。与高对比度波导或单芯波导比较，这种低对比度多芯波导通常支持更适用于涉及两个波导的相邻端面之间自由空间光传播（往往通过介入的光学元件）的装置中的光模。在两个波导端面之间传输时，低对比度多芯波导的光模特征可以遭受相对小的衍射光损耗。

[0029] 如上所述，相对于单芯低对比度波导（如在以上申请号 10/836,641 中所描述的），此处公开的多芯低对比度波导往往具有与偏振或波长无关或几乎无关的光模特征。此外，对于沿垂直方向的给定模大小（表示成  $1/e^2\text{HW}$  幂），被单芯低对比度波导支持的光模有指数衰减的翼，该翼从模轴延伸的距离远远大于被多芯低对比度波导支持的光模从模轴延伸的距离。因此，对于给定上包层和下包层的厚度，多芯低对比度波导在通过耦合进入基片或进入周围媒体时的光损耗远远小于单芯低对比度波导。或者，对于给定运行可接受的光损耗水平，多芯低对比度波导可以采用较薄的上包层和下包层。

[0030] 多芯低对比度波导具有浅剖面 and 薄芯的制作优点（较浅的蚀刻，更精确地说是光刻，基本完成被蚀刻特征之间的填充，被沉积层的基本上平坦的上表面，等等；如在以上申请号 10/609,018 和 10/836,641 中所描述的），与此同时，可以提供较厚单芯的理想光学性质特征。例如，若按顺序沉积图 1A-1E 中的每一层和制作空间图形，则厚度不大于约  $1.0\ \mu\text{m}$ （和通常是厚度不大于约  $0.7\ \mu\text{m}$ ）的层从未制作过空间图形。例如，浅剖面的图形芯 113 可以确保，随后沉积的包层 120b 部分可以导致用于沉积芯层 12 的基本上平坦的上表面。图 1A-1E 中所示的多芯低对比度波导具有较厚单芯的许多理想光学特征，但是仅要求制作层图形的单个步骤，其中层的厚度约小于  $1\ \mu\text{m}$ ，而通常是约小于  $0.7\ \mu\text{m}$ 。

[0031] 此处使用的术语“光波导”(或相等地,“波导”)应当表示适合于支持一个或多个光模的结构。这种波导通常在两个横向上限制被支持的光模,与此同时,允许被支持的光模沿纵向传播。横向和纵向是对弯曲波导的局部限定;例如,横向和纵向的绝对取向是沿着曲线波导的长度可以变化。光波导的例子可以包括,但不限于,各种类型的光纤和各种类型的平面型波导。此处使用的术语“平面型光波导”(或相等地,“平面型波导”)应当表示在基本上平面的基片上制成的任何光波导。纵向(即,传播方向)应当是基本平行于基片。基本平行于基片的横向可以称之为水平方向,而基本垂直于基片的横向可以称之为竖直方向。诸如“之上”和“之下”,“顶部”和“底部”,“上”和“下”等术语的定义是相对于基片,其中被限定的波导是在基片“之上”。这种波导的例子包括:脊形波导,埋式波导,半导体波导(硅,硅基,III-V族等),其他的高折射率波导(“高折射率”是指约大于2.5的折射率),石英基波导(石英,掺杂石英,和/或其他的石英基材料),聚合物波导,其他的低折射率波导(“低折射率”是指约小于2.5的折射率),芯/包层型波导,多层反射器(MLR)波导,金属-包层波导,空气导向波导,真空导向波导,光子晶体基或光子带隙基的波导,含电光(EO)和/或电吸收(EA)材料的波导,含非线性光学(NLO)材料的波导,以及此处没有明确提到的无数其他例子,它们仍然是在本发明内容和/或所附权利要求书的范围内。可以采用许多合适的基片材料,包括:半导体(硅,硅基,III-V族等),晶体,石英或石英基,其他的玻璃,陶瓷,金属,以及此处没有明确提到的无数其他例子,它们仍然是在本发明内容和/或所附权利要求书的范围内。为了便于以上的文字描述和/或所附的权利要求,“折射率”可以指特定材料的体折射率(此处也称之为“材料折射率”)或可以指“有效折射率” $n_{\text{eff}}$ ,它与特定光模在特定光学元件中传播常数 $\beta$ 之间的关系是 $\beta = 2\pi n_{\text{eff}}/\lambda$ 。有效折射率也可以指“模折射率”。“低对比度”或“低折射率对比度”是指折射率对比度约小于5%的材料,而“高对比度”或“高折射率对比度”是指折射率对比度约大于5%的材料。

[0032] 一种可以适用于此处公开的光学元件的典型平面型光波导是所谓的PLC(平面型光波电路)波导。这种波导通常包括:石英或石英基波导(往往是脊形波导或埋式波导;也可以采用其他的波导结构),该波导被支持在基本上平面的硅基片上(往往有插入的石英或石英基光缓冲层)。有一个或多个这种波导的集合可以称之为平面型波导电路,光集成电路,或光电子集成电路。有一个或多个PLC波导的PLC基片可以容易地适合于安装一个或多个光源,激光器,调制器,和/或其他的光学装置,该装置适合与合适的PLC波导进行光功率的端面转移。有一个或多个PLC波导的PLC基片可以容易地适合于(例如,按照美国专利申请出版号2003/0081902,2004/0052467,或2004/0264905的内容)安装一个或多个光源,激光器,调制器,光电检测器,和/或其他的光学装置,该装置适合与合适的PLC波导进行光功率的横向转移(模干涉耦合的横向转移,或基本绝热的横向转移;也称之为横向耦合)。

[0033] 为了便于说明给出的文字描述或所附权利要求书,“空间选择性材料处理技术”包括:外延,层生长,平板印数,光刻,蒸发沉积,溅射,汽相沉积,化学汽相沉积,射束沉积,射束辅助沉积,离子束沉积,离子束辅助沉积,等离子体辅助沉积,湿式蚀刻,干式蚀刻,离子蚀刻(包括反应离子蚀刻),离子铣削,激光加工,旋转沉积,

喷射沉积，电化学镀或沉积，化学镀，光致抗蚀剂，UV 固化或增浓，利用精密锯或其他机械切割 / 整形工具的微机械加工，选择性金属化或焊剂沉积，用于平面化的化学 - 机械抛光，任何其他合适的空间选择性材料处理技术，以及它们的组合，或其功能相当技术。尤其是，应当注意，任何涉及“空间选择性形成”层或结构或“制作空间图形”可能涉及以下之一或二者：空间选择性沉积或生长，或基本均匀的沉积或生长（在给定区域上）和之后的空间选择性切除（有或没有介入步骤，它可以是涉及或不涉及制作图形的步骤）。任何空间选择性沉积，切除，或其他的过程可以是所谓的直接写入过程，或可以是掩模过程。应当注意，此处涉及的任何“层”可以包括基本均匀的材料层，或可以包括一个或多个材料子层的非均匀集合。可以在晶片规模上实现空间选择性的材料处理技术，用于同时在共同的基片晶片上制作 / 处理多种结构。

[0034] 应当注意，各种部件，元件，结构，或层“固定到”，“连接到”，“沉积到”，“形成在”，或“放置在”基片或层上可以是与基片材料或层材料的直接接触，或可以与基片或层上已有的一层或多层或其他中间结构进行接触，因此，它可以间接地“固定到”该基片或层上。

[0035] 出现的词语“运行可接受的”是描述光学元件或光学装置的各种性能参数的水平，例如，光耦合系数（或相当地，光耦合效率），光处理能力，不希望的光模耦合，光损耗，等等。利用来自性能，制作，装置输出，组装，测试，可用性，成本，供给，需求，或围绕制作，部署，或使用具体组装的光学装置的其他因素的可应用约束和要求的任何相关集合或子集合，可以确定运行可接受的水平。所以，这些参数的这种“运行可接受的”水平在给定类的装置中可以变化，它取决于这些约束或要求。例如，在一些情况下，较低的光耦合效率可能是实现较低装置制作成本的可接受折衷；而在其他的情况下，尽管需要较高的制作成本，它可能要求较高的光耦合效率。作为另一个例子，在一些情况下，较高的光损耗（由于散射，吸收，不希望的光耦合，等等）可能是实现较低装置制作成本或较小装置体积的可接受折衷；而在其他的情况下，尽管需要较高的制作成本或较大的装置体积，可能要求较低的光损耗。可以想象出这种折衷的许多其他例子。所以，此处公开的光学装置和制作方法及其相当的方案可以在不同精确度的容差内实施，它取决于“运行可接受的”约束或要求。此处使用的词语，例如，“基本绝热的”，“基本空间模匹配的”，“基本模式 - 折射率匹配的”，“为了基本避免不希望的光耦合”，等等，它们都应当是按照“运行可接受的”性能的概念被解释的。

[0036] 为了便于说明给出的本发明内容和所附的权利要求书，连词“或”的解释内容是广泛的（例如，“狗或猫”应当解释成“狗，或猫，或二者”；例如，“狗，猫，或鼠”应当解释成“狗，或猫，或鼠，或任何两个，或所有三个”），除非是以下的情况：i) 明确地说明，例如，使用“或...或”，“仅仅其中之一，”或类似的语言；或 ii) 两个或多个列出的方案在特定的语境下是互相排他的，在这种情况下，“或”仅仅包含涉及非互相排他方案的那些组合。

[0037] 虽然此处公开的具体例子采用特定的材料或材料组合并有特定的尺寸和配置，但是，应当明白，在任何各种尺寸和配置中可以采用多种材料或材料组合，它们仍然都是在本发明内容或所附权利要求书的范围内。我们的意图是，公开的典型实施例和方法的相当内容应当都是在本发明内容或所附权利要求书的范围内。我们的意图是，可以改

变公开的典型实施例和方法及其相当的内容，它们仍然都是在本发明内容或所附权利要求书的范围内。

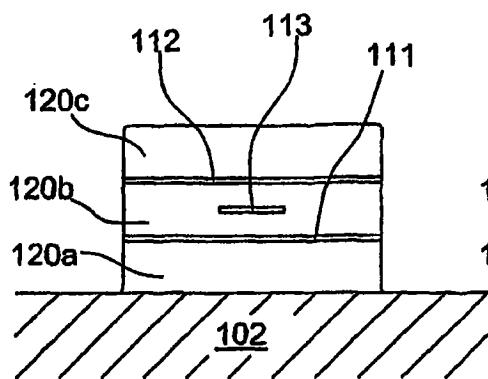


图 1A

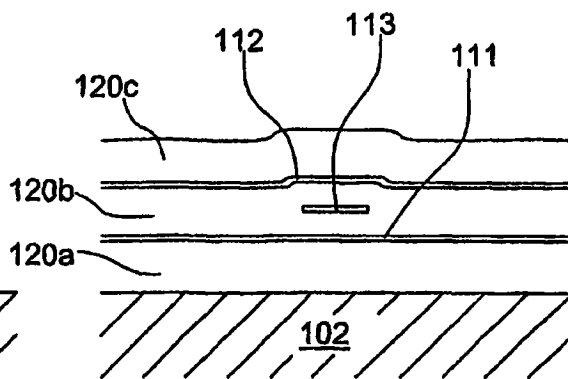


图 1B

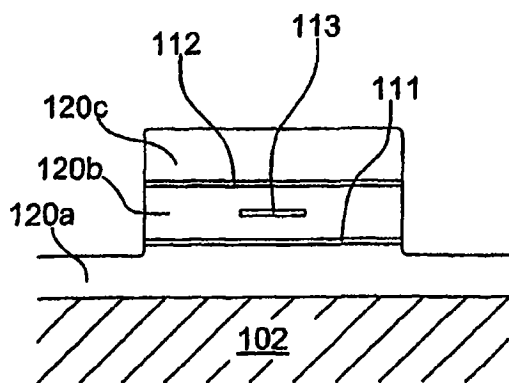


图 1C

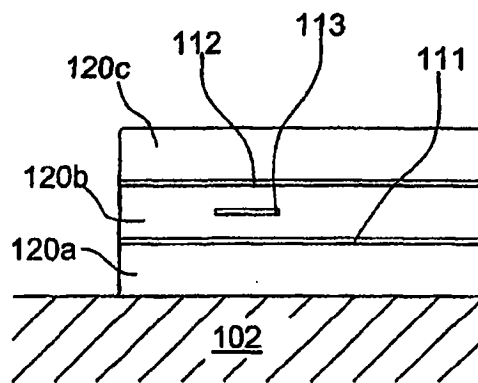


图 1D

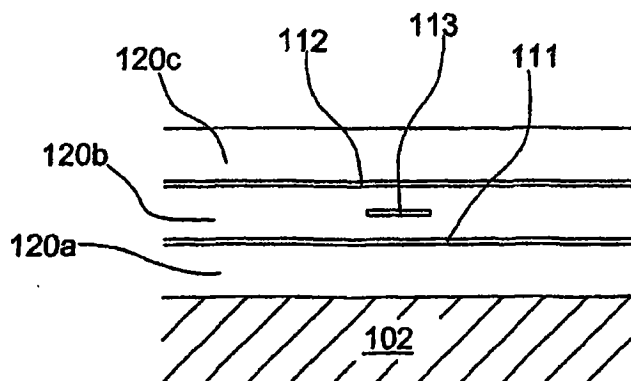


图 1E

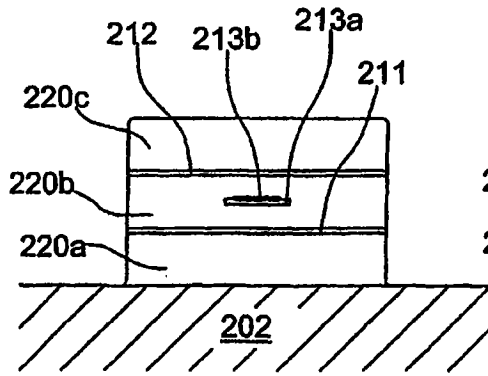


图 2A

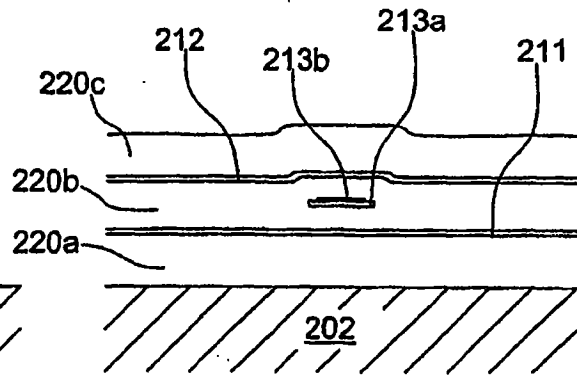


图 2B

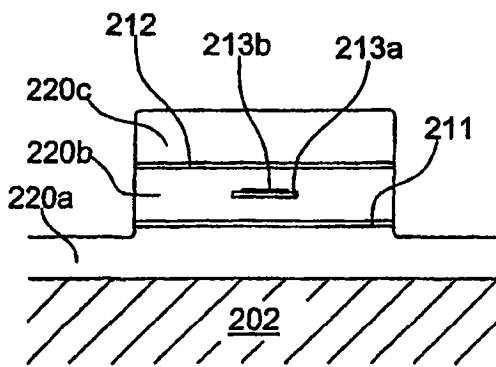


图 2C

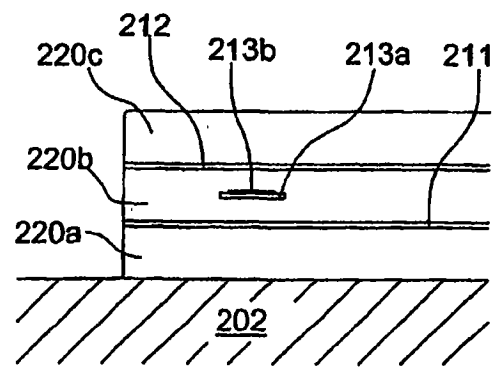


图 2D

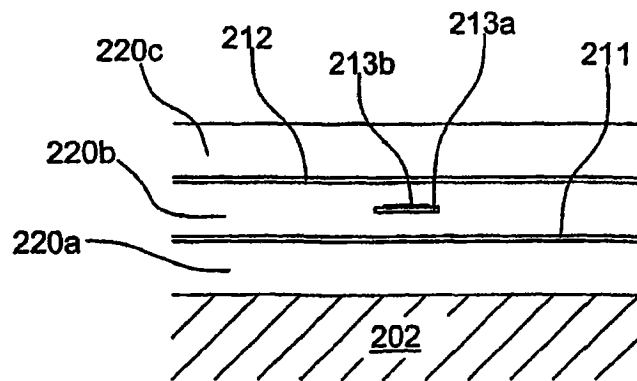


图 2E

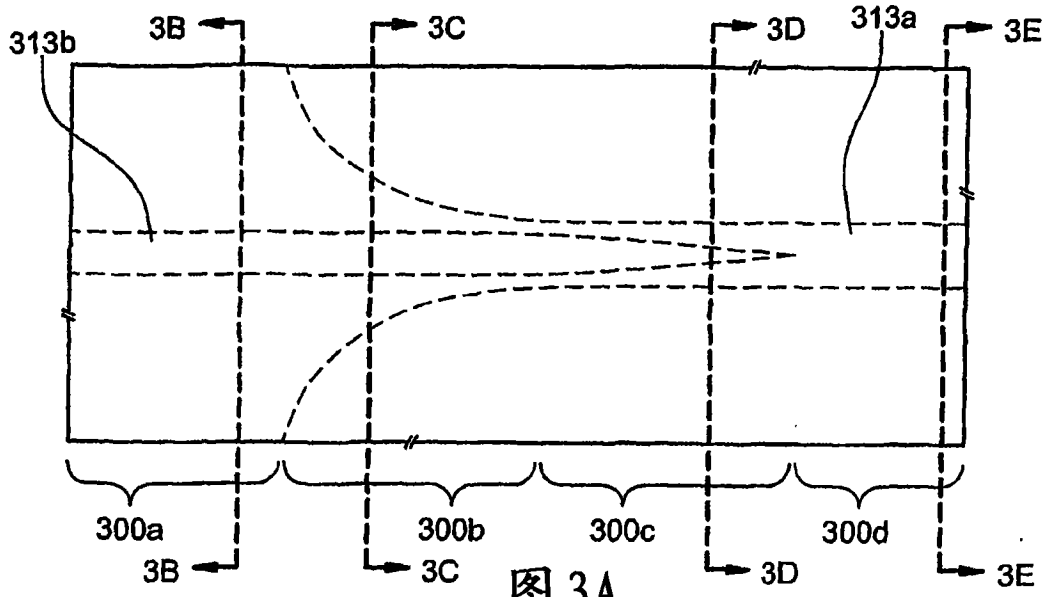


图 3A

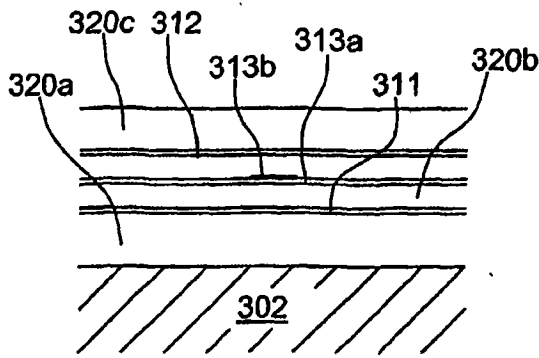


图 3B

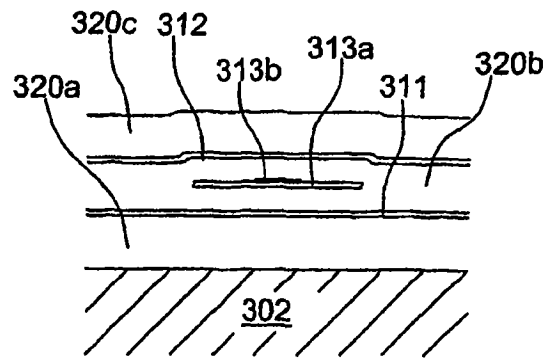


图 3C

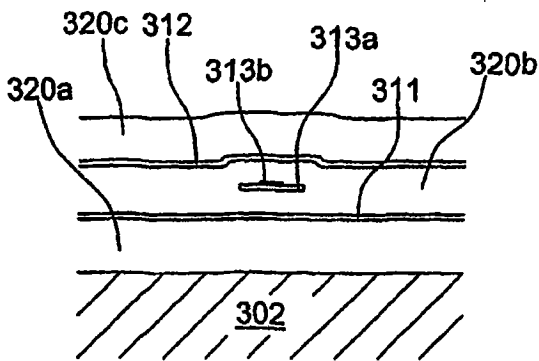


图 3D

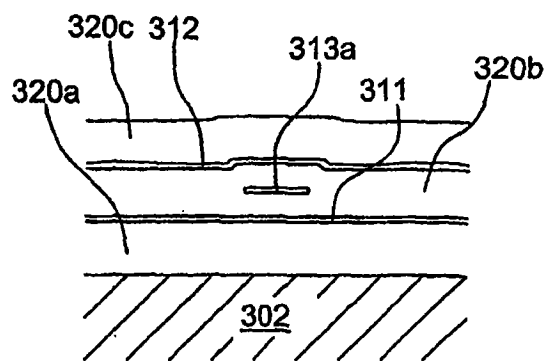


图 3E

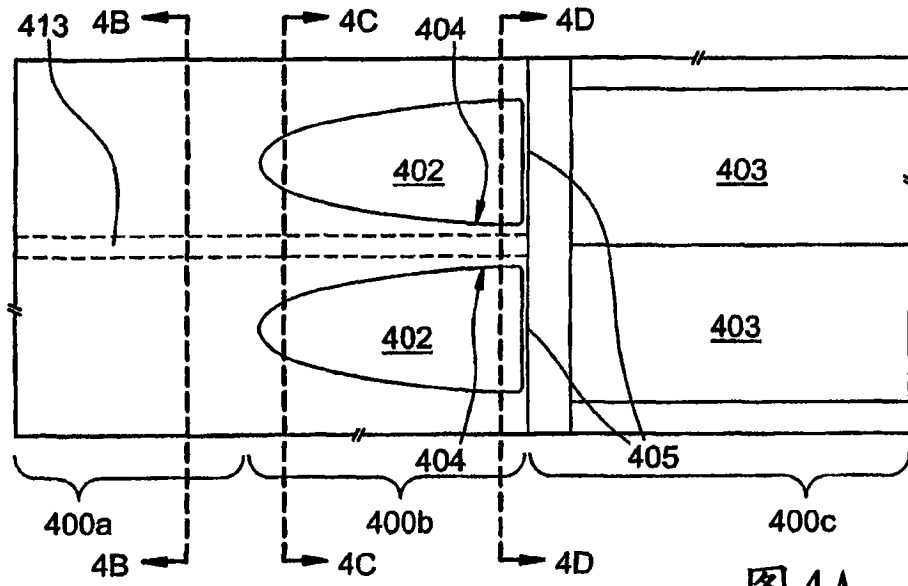


图 4A

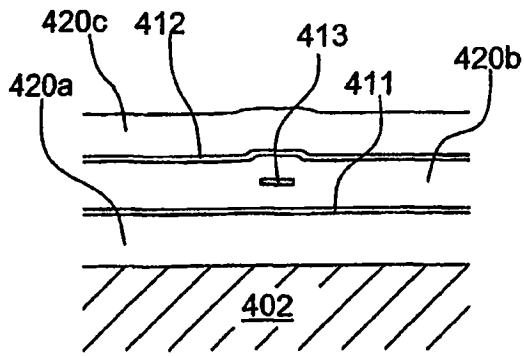


图 4B

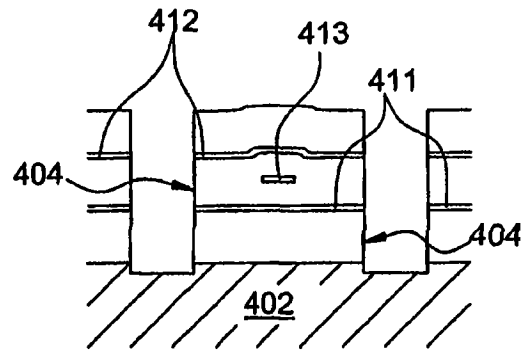


图 4C

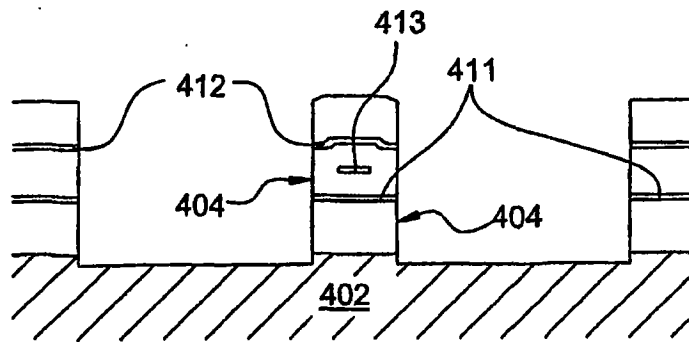


图 4D