

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102656494 A

(43) 申请公布日 2012. 09. 05

(21) 申请号 201080057169. 0

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2010. 12. 16

G02B 6/12 (2006. 01)

(30) 优先权数据

12/640, 151 2009. 12. 17 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2012. 06. 15

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2010/060659 2010. 12. 16

(87) PCT申请的公布数据

W02011/084557 EN 2011. 07. 14

(71) 申请人 阿尔卡特朗讯

地址 法国巴黎

(72) 发明人 尼古拉斯·杜普伊斯

克里斯托弗·R·多尔

(74) 专利代理机构 北京律盟知识产权代理有限

责任公司 11287

代理人 刘国伟

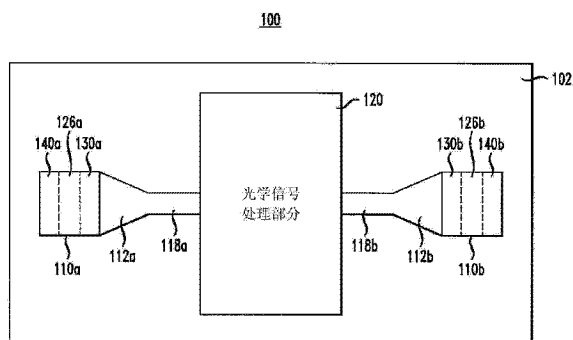
权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 4 页

(54) 发明名称

具有波导光栅耦合器的光子集成电路

(57) 摘要

本发明涉及一种光子集成电路PIC,其具有带有两个渐逝耦合的波导的波导光栅耦合器。第一波导是使用适于制造PIC中的有源光学元件的材料制造。第二波导是使用能够为组成的波导光栅提供相对高的折射率对比度的材料制造。所述波导光栅耦合器与III-V半导体技术兼容,同时相对易于以工业规模制造。



1. 一种装置,其包含:
 - 第一光学波导,其支撑在衬底的表面上;
 - 第二光学波导,其支撑在所述表面上;
 - 光学耦合器,其支撑在所述表面上且以光学方式耦合所述第一及第二波导;以及
 - 波导光栅,其支撑在所述表面上且适于在所述第二波导的一个或一个以上波导模式与由所述波导光栅形成或施加到所述波导光栅的光束之间传送光学功率,其中所述第二波导具有偏移-跃迁区域,针对所述区域,所述第二波导的核心具有偏移距离,所述偏移距离从对应于所述光学耦合器的第一距离逐渐改变到不同的第二距离。
2. 根据权利要求1所述的发明,其中:
 - 所述第二波导的外壳包含位于所述偏移-跃迁区域中的楔形部分;
 - 所述第二波导的折射率对比度大于所述第一波导的折射率对比度;
 - 所述第一波导的核心包含三元、四元或五元 III-V 族合金;
 - 所述第一波导的外壳包含二元 III-V 族化合物;
 - 所述第二波导的所述核心包含硅;且
 - 所述第二波导的所述外壳包含二氧化硅。
3. 根据权利要求1所述的发明,其中所述光学耦合器通过渐逝场耦合所述第一及第二光学波导。
4. 根据权利要求3所述的发明,其中所述光学耦合器具有致使光能在所述第一与第二光学波导之间在空间上跳动一次或一次以上的长度。
5. 根据权利要求1所述的发明,其中所述第二光学波导的所述核心包含:
 - 第一部分,其实质上与所述衬底的主平面平行;
 - 第二部分,其位于所述偏移-跃迁区域中;以及
 - 第三部分,其实质上与所述主平面平行,其中:
 - 所述第二部分连接在所述第一与第三部分之间;且
 - 所述波导光栅被界定于所述第三部分中。
6. 根据权利要求1所述的发明,其中所述第二偏移距离使得所述装置在以下光之间产生相长干涉:(i) 由所述波导光栅朝所述第一光学波导的外壳与所述第二光学波导的外壳之间的界面衍射且接着由所述界面反射回的光及(ii) 在与所述反射光的传播方向共线的方向上由所述波导光栅衍射的光。
7. 根据权利要求1所述的发明,其中:
 - 第一波导的核心具有相对于所述衬底的第三偏移距离;且
 - 所述第三偏移距离在所述第一距离与所述第二距离之间的范围外。
8. 根据权利要求1所述的发明,其中:
 - 所述第一波导的核心包含连接到所述光学耦合器的侧向锥形部分;
 - 所述装置进一步包含支撑在所述衬底上的光学信号处理 OSP 电路,其中所述第一波导以光学方式耦合到所述 OSP 电路;
 - 所述 OSP 电路包含至少一个有源光学元件;且
 - 所述第一及第二波导、所述波导光栅及所述 OSP 电路为形成于所述衬底上的光子集成电路 PIC 的部分。

9. 一种光子集成电路 PIC, 其包含 :

衬底 ;

光学信号处理 OSP 电路, 其支撑在所述衬底上且具有至少一个有源光学元件 ;

第一光学波导, 其以光学方式耦合到所述有源光学元件 ;

第二光学波导, 其具有波导光栅, 所述波导光栅适于在所述第二光学波导的一个或一个以上波导模式与由所述波导光栅形成或施加到所述波动光栅的光束之间传送光学功率 ;
以及

光学耦合器, 其通过渐逝场耦合所述第一及第二波导, 其中所述第二光学波导具有偏移 - 跃迁区域, 在所述区域中, 所述第二光学波导的核心具有相对于所述衬底的偏移距离, 所述偏移距离从第一距离逐渐变化到不同的第二距离。

10. 一种制造光学器件的方法, 其包含 :

提供其上具有第一光学波导的衬底, 所述第一光学波导具有带有楔形部分的外壳层 ;

在所述楔形部分上形成第二光学波导的核心 ; 以及

在所述第二光学波导的所述核心中形成空腔阵列以在其中界定波导光栅, 其中所述提供步骤包含 :

在所述第一光学波导上形成外壳材料层 ; 且

使所述层经受湿式蚀刻过程以从所述层形成所述楔形部分。

具有波导光栅耦合器的光子集成电路

技术领域

[0001] 本发明通常涉及光学通信设备,且更明确地说(但不排他地)涉及用于将光耦合到光子集成电路中及将光从光子集成电路中耦合出的光学器件。

背景技术

[0002] 这部分介绍可有助于更好地理解本发明的方面。因此,应在此背景下阅读这部分的陈述,且不应将其理解为对现有技术中存在的内容或现有技术中不存在的内容的承认。

[0003] 光子集成电路(PIC)用于长途通信、仪器仪表及信号处理领域中的各种应用。PIC通常使用光学波导实施和/或互连各种芯片上组件,例如光学开关、耦合器、路由器、分离器、多路复用器/多路分配器、调制器、放大器、波长转换器、光/电(O/E)及电/光(E/O)信号转换器等。PIC中的波导通常为芯片上固体光导管,其归因于波导的核心与外壳之间的折射率对比度而引导光。

[0004] 为了进行适当操作,PIC通常需要高效地在外部光纤与芯片上波导中的一个或一个以上者之间耦合光。可用于此目的的示范性光栅耦合器揭示于(例如)第7,065,272号美国专利中,所述专利的全部内容以引用的方式并入本文中。然而,一些光栅耦合器存在的一个问题是,其仅在使用提供核心与上外壳层及下外壳层两者之间的相对高的折射率对比度的材料实施时才良好地发挥作用,然而,PIC的某些有源光学元件要求使用仅可提供相对较低的折射率对比度的材料。

发明内容

[0005] 有利的是,本文中揭示的波导光栅耦合器的一些实施例不具有现有技术波导光栅耦合器的低光耦合效率,且便于集成到具有基于III-V半导体的有源光学元件的光子集成电路(PIC)中。特定来说,通过提供具有两个渐逝耦合的波导的波导光栅耦合器来解决现有技术的问题。第一波导是使用适于制造有源光学元件的材料制造,且第二波导是使用能够为组成的波导光栅提供相对高的折射率对比度的材料制造。

[0006] 根据一个实施例,提供一种装置,所述装置具有:(i)第一光学波导,其支撑在衬底的表面上;(ii)第二光学波导,其支撑在所述表面上;(iii)光学耦合器,其支撑在所述表面上且以光学方式耦合所述第一及第二波导;及(iv)波导光栅,其支撑在所述表面上且适于在第二波导的一个或一个以上波导模式与由波导光栅形成或施加到波导光栅的光束之间传送光学功率。所述第二波导具有偏移-跃迁区域,针对所述区域,第二波导的核心具有偏移距离,所述偏移距离从对应耦合器的第一距离到不同的第二距离逐渐变化。

[0007] 在各种额外实施例中,所述装置可具有以下特征中的一个或一个以上者:(a)第二波导的核心及外壳中的至少一者包含不同于第一波导的核心及外壳中的材料; (b)所述衬底形成第一波导的外壳。

[0008] 根据另一实施例,提供一种光子集成电路(PIC),所述电路具有:(i)衬底;(ii)光学信号处理(OSP)电路,其支撑在所述衬底上且具有至少一个有源光学元件;(iii)第一光

学波导,其以光学方式耦合到有源光学元件;(iv) 第二光学波导,其具有适于在第二光学波导的一个或一个以上波导模式与由波导光栅形成或施加到波导光栅的光束之间传送光学功率的波导光栅;及(v) 光学耦合器,其仅通过渐逝场耦合所述第一及第二波导。所述第二光学波导具有偏移-跃迁区域,在所述区域中,第二光学波导的核心具有相对于衬底的偏移距离,所述距离从第一距离到不同的第二距离逐渐改变。

[0009] 根据又一实施例,提供一种制造光学器件的方法,所述方法具有以下步骤:(A) 提供其上具有第一光学波导的衬底,所述第一光学波导具有带有楔形部分的外壳层;(B) 在所述楔形部分及第一波导的外壳的暴露部分上形成第二光学波导的核心;及(C) 在第二光学波导的核心中形成空腔阵列以在其中界定波导光栅。

[0010] 在各种额外实施例中,所述方法可具有在衬底上形成 OSP 电路的额外步骤,其中具有以下特征中的一个或一个以上者:(a) 第一光学波导以光学方式耦合到 OSP 电路;(b) OSP 电路包含至少一个有源光学元件;(c) 所述第一及第二光学波导、波导光栅及 OSP 电路为形成在所述衬底上的光子集成电路 (PIC) 的部分;(d) 第一光学波导的核心包含三元的、四元的或五元的 III-V 族合金;(e) 第一波导的外壳包含二元 III-V 族化合物;(f) 第二波导的核心包含硅;(g) 所述楔形部分包含二氧化硅;及(h) 对于指定的操作波长,波导光栅与第一光学波导的外壳和第二波导的外壳的界面之间的偏移距离经选择以在下列光之间引起相长干涉:(i) 由波导光栅朝界面衍射且接着由界面反射回的所述波长的光及(ii) 在与反射光的传播方向共线的方向上由波导光栅衍射的所述波长的光。

附图说明

[0011] 从以下详细描述及附图,借助实例,本发明的各种实施例的其它方面、特征及益处将变得更显而易见,在附图中:

[0012] 图 1 展示根据本发明的一个实施例的光子集成电路 (PIC) 的俯视图;

[0013] 图 2A 到 C 展示根据本发明的一个实施例的可用于图 1 的 PIC 中的光学耦合器的横截面侧视图;

[0014] 图 3A 到 B 展示根据本发明的一些实施例的可用于图 2 中展示的光学耦合器的波导光栅中的两个代表性图案的俯视图;以及

[0015] 图 4 展示根据本发明的一个实施例的可用于制造图 2 的光学耦合器的制造方法的流程图。

具体实施方式

[0016] 图 1 展示根据本发明的一个实施例的光子集成电路 (PIC) 100 的俯视图。PIC 100 为实质上平面的单片器件,其侧向尺寸(例如,图 1 的平面内的尺寸)显著大于横向尺寸(例如,沿着与图 1 的平面正交的轴的高度或厚度)。PIC 100 被说明性地展示为具有两个光学耦合器 110a-b 及一个光学信号处理 (OSP) 部分或电路 120,但带有不同数目的光学耦合器和/或 OSP 部分的 PIC 也是可能的。在典型的实施例中,耦合器 110a-b 及 OSP 部分 120 在共用衬底 102 上实施且由其支撑。

[0017] 在 PIC 100 的代表性配置中,相对于图 1 的平面近似正交地定向的第一外部光纤(未明确图示)将未引导的入射光束施加到耦合器 110a。如本文中所使用,术语“未引导”

指未由导光结构（例如芯片上波导或光纤）侧向约束的光束。归因于外部光纤的尖端与耦合器 110a 之间的有限空间间隔，照射耦合器的光束为未引导光束。耦合器 110a 耦合所接收的光束的光，通过波导锥形物 112a，进入到平面波导 118a 中。波导 118a 接着将经耦合的光传递到 OSP 部分 120。OSP 部分 120 使用位于其中的一个或一个以上光学元件处理所述光，且将所得光施加到平面波导 118b 中，所述平面波导 118b 接着指引所述光，通过波导锥形物 112b 到耦合器 110b。耦合器 110b 形成出射的未引导光束，所述光束耦合到相对于图 1 的平面近似正交地定向的第二外部光纤（未明确图示）。

[0018] 从结构上来说，耦合器 110 包含渐逝耦合器 130、偏移-跃迁区域 126 以及波导光栅 140。渐逝耦合器 130 在波导锥形物 112 与第二波导（在图 1 中未明确图示）（其为耦合器 110 的内部元件）之间耦合光。偏移-跃迁区域 126 用来逐渐减少渐逝耦合器 130 的边缘中的一者处的渐逝耦合。波导光栅 140 用来在所述第二波导的一个或一个以上波导模式与由波导光栅形成或施加到所述波导光栅的未引导光束之间传送光学功率。参看图 2 及 3 在下文更详细描述渐逝耦合器 130、偏移-跃迁区域 126 及波导光栅 140 的代表性实施例。

[0019] 在代表性实施例中，OSP 部分 120 包含一个或一个以上有源光学组件，例如半导体光学放大器、激光二极管和 / 或光学调制器。如此项技术中已知，这些一个或一个以上有源光学组件是使用 III-V 半导体材料（例如，二元 III-V 化合物和 / 或三元、四元或五元 III-V 合金）实施。虽然 III-V 半导体化合物及合金为有源光学组件的实施提供众所周知的优点，但它们仅可提供核心材料与外壳材料之间的适度的折射率对比度。举例来说，在磷化铟平台技术中，核心材料及外壳材料的折射率分别为约 3.5 及 3.17，这产生约 0.09 的折射率对比度。假如将现有技术光学耦合器设计用于实施光学耦合器 110a-b，则不利的是，光耦合效率将是相对低的或制造过程将太复杂和 / 或昂贵或所述两个缺点同时存在。相比之下，光学耦合器 110 有利地提供相对高的光耦合效率（例如，大于约 35%），同时相对易于以工业规模制造。

[0020] 图 2A 到 C 展示根据本发明的一个实施例的可用作光学耦合器 110 的光学耦合器 200 的横截面侧视图。更明确地说，图 2A 展示耦合器 200 的完整横截面侧视图。图 2B 展示用于在耦合器 200 中的波导 210 与波导 220 之间渐逝地耦合光的结构 230 的放大横截面侧视图。图 2C 展示在耦合器 200 中使用的波导光栅 240 的放大横截面侧视图。在以下描述中，参考将光从对应 PIC 耦合出的过程来说明性地解释耦合器 200 的操作。根据此描述，所属领域的普通技术人员将容易地理解在将光耦合到 PIC 的过程中耦合器 200 的操作。

[0021] 光学耦合器 200 具有通过结构 230 相互渐逝耦合的两个波导 210 及 220（见图 2A 及 2B）。波导 210 经光学方式耦合到对应 PIC 的 OSP 部分且经配置以接收来自对应 PIC 的 OSP 部分（例如，如图 1 中所标示）的光。从结构上来说，波导 210 包含：(i) 高折射率材料的核心层 204 及 (ii) 毗邻所述核心层的低折射率材料的两个外壳层 202 及 206。在一个实施例中，外壳层 202 为衬底层，所述衬底层还用作 PIC 的 OSP 部分的衬底且类似于 PIC 100 的衬底 102（图 1）。用于衬底 202 及外壳层 206 的示范性材料为磷化铟、氮化镓、蓝宝石、砷化铟及砷化镓。注意，衬底 202 及外壳层 206 可由相同或不同的材料制造。用于核心层 204 的示范性材料为三元砷化铟镓、四元磷化砷铟镓及四元砷化铟镓铝。

[0022] 波导 220 具有：(i) 高折射率材料的核心层 214 及 (ii) 低折射率材料的两个外壳层 212 及 216。用于核心层 214 的示范性材料为非晶硅及多晶硅。用于外壳层 212/216 的

示范性材料为二氧化硅及氮氧化硅。注意,类似于衬底 202 及外壳层 206,外壳层 212/216 可由相同或不同材料制造。

[0023] 波导 220 具有偏移-跃迁区域 226,在所述区域中,波导 210 的核心层 204 与波导 220 的核心层 214 之间的垂直间距不是恒定的。本文中,术语“垂直”指 Z 坐标轴,其与由衬底(例如,衬底 102(图 1)或衬底 202(图 2))的主平面界定的 PIC 的主(XY)平面正交。核心层 214 的第一部分 214₁ 直接毗邻于外壳层 206 且通常与 XY 平面平行(见图 2B)。核心层 214 的第二部分 214₂ 以相对于 XY 平面的角度定向,这致使核心层 204 与 214 之间的垂直间距从部分 214₂ 的左侧向右侧逐渐增加(见图 2A)。在典型实施例中,部分 214₂ 与 XY 平面之间的角度大于约 3 度。核心层 214 的第三部分 214₃ 通常与 XY 平面平行,且连接到界定于核心层 214 中的波导光栅 240(见图 2A 及 2C)。

[0024] 参看图 2B,核心层部分 214₁ 及外壳层 206 的下伏部分及核心层 204 产生结构 230。可选择波导 210 及 220 的各种参数(例如各个组成层的厚度及折射率)以在传播常数方面匹配结构 230 内的两个波导。在波导 210 及 220 具有实质上相等的传播常数的情况下,结构 230 中的核心层 204 及 214 之间的渐逝光耦合将致使最初被约束在一个波导中的光能在由等式 (1) 表述的距离 (Λ) 上实质上完全传送到另一波导中:

$$[0025] \quad \Lambda = \frac{\pi}{\beta_e - \beta_o} \quad (1)$$

[0026] 其中 β_e 及 β_o 分别为匹配波导的偶数传播常数及奇数传播常数。

[0027] 现在假设光学信号(例如,从图 1 的 OSP 部分 120 接收)最初被约束在波导 210 中,且从图 2A 的左侧朝结构 230 传播。如果结构 230 的 X 尺寸(在图 2B 中标记为 L)经选择为 $(2m+1)\Lambda$ (其中 m 为 0 或正整数),则在图 2A 及 2B 中的结构 230 的右侧处,所述光学信号将主要约束在波导 220 中。当光学信号进入核心层部分 214₂,核心层 204 与核心层 214 之间的增加的间距破坏波导 210 与波导 220 之间的渐逝耦合,且致使光学信号此后保持约束在波导 220 中。

[0028] 注意,对于正 m 值,在波导 220 与波导 210 充分分离以破坏所述结构的右侧处的波导之间的渐逝耦合之前,光学信号的能量在结构 230 内的波导 210 与 220 之间在空间上跳动 m 次。如本文中所使用,术语“一个空间跳动”指改变光学功率分布的空间过程,例如,从主要约束到波导 210 的状态到主要约束到波导 220 的状态且接着回到波导 210。可用于限定功率再分布过程的代表性阈值为(例如)包含在结构 230 的横向(YZ)横截面内的总光学功率的 80%。通过使用此阈值,当对应于波导中的一者的波导模式含有横向横截面内的总光学功率的约 80%时,可以说,光学功率被主要约束到所述波导。

[0029] 波导 220 的核心层部分 214₂ 及 214₃ 将光学信号从结构 230 指引到波导光栅 240。在代表性实施例中,波导光栅 240 包含多个空腔、柱状物和/或孔,其蚀刻到或形成在核心层 214 的上表面上以形成一维或二维图案(见图 2A 及 2C)。此图案致使光学信号的功率在正及负 Z 方向上从波导光栅 240 垂直衍射。可用作波导光栅 240 的代表性光栅揭示于(例如)上文引述的第 7,065,272 号美国专利中。

[0030] 在示范性实施例中,核心层 214 由硅制造,且外壳层 212/216 由二氧化硅制造。材料的此组合使得波导光栅 240 能够具有核心与上外壳层及下外壳层两者之间的相对高的折射率对比度,例如约 0.57(对于分别为约 3.5 及 1.5 的核心及外壳折射率)。如上文已

指示,较高的折射率对比度是有利的,因为其使得波导光栅 240 能够提供波导 220 的波导模式与由波导光栅形成或由波导光栅接收的未引导垂直光束之间的高效的能量传送。换句话说,将相对“强”的光栅用于在相对较短的距离(例如,等于光纤模式宽度的距离)上衍射许多光,这是(例如)通过具有相对于核心折射率的非常低的上-外壳折射率而实现。此“强”光栅减小核心的有效折射率,且因此,为了使光仍然由光栅区域中的核心引导,下外壳被实施为具有相对于核心折射率的非常低的折射率。

[0031] 在负 Z 方向上由波导光栅 240 衍射的光照射外壳层 206 与 212 之间的界面 211(见图 2A 及 2C) 且部分地由界面 211 反射。经反射的光接着与在正 Z 方向上由波导光栅 240 衍射的光干涉。在一个实施例中,选择波导光栅 240 下方的外壳层 212 的厚度,使得反射离开界面 211 的光与在正 Z 方向上由波导光栅衍射的光相长地干涉。所述相长干涉是有利的,因为其提高 PIC(具有光学耦合器 200) 与外部光纤(其在波导光栅 240 附近,紧邻所述耦合器的上(图 2A 的投影中)侧定位)之间的耦合效率。

[0032] 等式 (2) 提供用于选择以下参数的指导:(i) 波导光栅 240 下方的外壳层 212 的厚度及 (ii) 波导光栅的某些参数:

$$[0033] \quad L_s n_s + L_{\text{eff}} n_g = p \frac{\lambda}{2} \quad (2)$$

[0034] 其中 L_s 及 n_s 分别为外壳层 212 的厚度与折射率; L_{eff} 为界面 211 与波导光栅 240 之间的有效距离; n_g 为波导光栅 240 中的核心层 214 的折射率; λ 为光的波长;以及 p 为正整数。在图 2C 中标记对应于 L_s 及 L_{eff} 的尺寸。

[0035] 可通过使用空腔、槽或孔的对应合适图案,针对任何所选择的波长或范围或波长优化光栅 240 的能量传送效率。举例来说,上文引述的第 7,065,272 号美国专利揭示可用于高效地耦合具有约 1500nm 与约 1600nm 之间的波长的光的图案。所属领域的技术人员了解,为了获得适于高效耦合其它波长的波导光栅,可(例如)通过适当地改变所述光栅中的空腔的周期性而修改所揭示的图案。

[0036] 图 3A 到 B 分别展示图案 340 及 350 的俯视图,所述图案可用于根据本发明的一些实施例的波导光栅 240 中。图案 340(图 3A) 包含以矩形配置按行排列的多个孔 344。图 350(图 3B) 包含多个平行槽 354。每一图案的沿着 X 方向的节距近似地为 λ/n , 其中 n 为光栅材料的折射率。在一个实施例中,孔 344 及槽 354 的深度在约 100nm 与约 200nm 之间。孔 344 的直径及槽 354 的宽度在节距的约 40% 与 60% 之间。

[0037] 具有波导光栅图案 350(图 3B) 的光学耦合器 200(图 2A) 的数值模拟指示所述光学耦合器可提供波导 210 与外部光纤之间的约 35% 的耦合效率。用于数值模拟的光学耦合器的各种组件的代表性特性如下:(i) 磷化砷镉核心层 204 具有约 3.388 的折射率及约 200nm 的厚度;(ii) 磷化砷外壳层 202/206 具有约 3.17 的折射率;(iii) 非晶硅核心层 214 具有约 3.48 的折射率及约 400nm 的厚度;以及 (iv) 二氧化硅外壳层 212/216 具有约 1.58 的折射率。结构 230 内的核心层 204 与 214 之间的垂直间距为 200nm,这产生约 $10.5 \mu\text{m}$ 的半跳动距离 Λ (同样见等式 (1))。波导光栅 240 下方的外壳层 212 的厚度为约 700nm。

[0038] 图 4 展示可用于制造根据本发明的一个实施例的光学耦合器 200 的制造方法 400 的流程图。如从以下描述中明显可见,方法 400 容易适合于大量工业生产。相比之下,用于制造具有与光学耦合器 200 的耦合效率相当的耦合效率的光学耦合器的典型现有技术方

法是相当复杂的且不适于大量工业生产, (例如) 因为其涉及倒装接合两个分离的预处理晶片(一个晶片对应于 PIC 的有源部分且另一个晶片对应于波导光栅) 的步骤。

[0039] 在方法 400 的步骤 402 处, 通过下列子步骤形成波导 210: (i) 在衬底 202 上沉积或生长核心层 204; (ii) 使用平版印刷方法图案化且蚀刻核心层 204 以形成用于波导 210 的所要印制焊脚布局; 以及 (iii) 在核心层 204 及衬底 202 上沉积或生长外壳层 206 (见图 2A)。注意, 子步骤 (ii) 的处理可至少部分地与步骤 410 并行地执行。

[0040] 在步骤 404 处, 在外壳层 206 上形成楔形外壳层 212 (见图 2A)。在步骤 404 的第一子步骤处, 在外壳层 206 上沉积或生长初始外壳层 212, 使得所述层延伸跨越形成中的耦合器的整个宽度, 例如从图 2A 的左侧到右侧。在步骤 404 的第二子步骤处, 遮蔽外壳层 212 的对应于核心层部分 214₃ 及波导光栅 240 的部分, 且使所得结构经受湿式蚀刻处理。因为二氧化硅 (用于实施外壳层 212 的典型材料) 为非晶材料, 所以其以实质上各向同性的方式蚀刻, 从而在掩模的边缘附近产生自然倾斜壁。此倾斜壁变成图 2A 中的位于核心层部分 214₂ 下方的外壳层 212 的楔形部分。所述楔形物的角度为垂直蚀刻速率与侧向蚀刻速率的函数, 所述垂直蚀刻速率及侧向蚀刻速率都由蚀刻剂的化学组成及实施湿式蚀刻的温度控制。外壳层 206 在所述结构的未遮蔽部分中用作蚀刻停止层。在湿式蚀刻完成后, 剥离所述掩模。

[0041] 在步骤 406 处, 在楔形外壳层 212 及外壳层 206 的暴露部分上沉积核心层 214。用于步骤 406 的合适沉积方法为等离子体增强化学气相沉积或电子束蒸发。核心层 214 的垂直剖面通常符合其基层 (即, 外壳层 212 及 206) 的拓扑结构。接着, 使用平版印刷方法图案化及蚀刻经沉积核心层 214, 以形成用于波导 220 及渐逝耦合器 230 的所要占用面积布局。

[0042] 在步骤 408 处, 在对应于波导光栅 240 的部分中图案化且蚀刻在步骤 406 处产生的核心层 214, 以形成界定所述光栅的空腔、孔和 / 或槽。

[0043] 在步骤 410 处, 在步骤 408 处产生的结构上沉积外壳层 216。外壳层 216 的外表面经抛光且任选地由抗反射涂层覆盖, 以产生图 2A 中展示的光学耦合器 200 的最终结构。

[0044] 如本说明书中所使用, 术语“折射率对比度”指通过以核心的折射率除核心的折射率与外壳的折射率之间的差而获得的值。

[0045] 本发明可以其它特定装置和 / 或方法体现。所描述的实施例在所有方面被认为仅是说明性的且非限制性的。特定来说, 本发明的范围由所附权利要求书指示而不是由本文中的描述及图指示。在权利要求书的等效物的意义及范围内的所有改变应包含在权利要求书的范围内。举例来说, 各种光学器件可实施为对应单片 PIC, 包括实施为实质上平面接收器卡或电路。

[0046] 描述及图式仅说明本发明的原理。因此, 将了解, 所属领域的普通技术人员将能够设计各种布置, 虽然未在本文中明确描述或展示, 但所述各种布置体现本发明的原理且包括在其精神及范围内。此外, 本发明中引述的所有实例主要明显地意在仅出于教育目的而帮助读者理解本发明的原理及由发明者贡献以促进此项技术的概念, 且应被理解为不限制于此类明确引述的实例及条件。此外, 引述本发明的原理、方面及实施例以及其特定实例的本文中的所有陈述意在涵盖其等效物。

[0047] 除非以其它方式明确陈述, 否则每一数值及范围应被解释为近似的, 就好像词语

“约”或“近似地”在所述值或范围之前一样。

[0048] 进一步将理解,在不脱离如在所附权利要求书中表述的本发明的范围的情况下,所属领域的技术人员可做出已被描述及说明以解释本发明的性质的零件的细节、材料及布置的各种改变。

[0049] 虽然以对应标记按特定顺序引述所附方法权利要求中的元件(如果存在),但除非权利要求引述以其它方式暗示用于实施那些元件中的一些或全部的特定顺序,否则那些元件不一定意在限于以所述特定顺序实施。

[0050] 本文中对“一个实施例”或“实施例”的参考意谓结合所述实施例描述的特定特征、结构或特性可包括在本发明的至少一个实施例中。短语“在一个实施例中”在说明书中的各个位置中的出现不一定都指代同一实施例,单独或替代实施例也不一定与其它实施例相互排斥。这同样适用于术语“实施”。

[0051] 在整个详细描述中,不按比例绘制的图式仅是说明性的且用于解释而非限制本发明。术语(例如高度、长度、宽度、顶部、底部)的使用仅为了促进本发明的描述,且不意在将本发明限于特定定向。举例来说,高度不仅仅暗示垂直上升限制,而是用于识别如图中展示的三维结构的三维中的一者。在电极为水平的情况下,此“高度”将为垂直的,而在电极为垂直的情况下,此“高度”将为水平的,等等。类似地,虽然所有图将不同的层展示为水平层,但此定向仅出于描述性目的且不应理解为限制。

[0052] 同样出于此描述的目的,术语“耦合”、“使耦合”、“被耦合”“连接”、“使连接”或“被连接”指此项技术中已知或后来开发的允许在两个或两个以上元件之间传送能量的任何方式,且预期(但不要求)一个或一个以上额外元件的插入。相反,术语“直接耦合”、“直接连接”等暗示不存在此类额外元件。

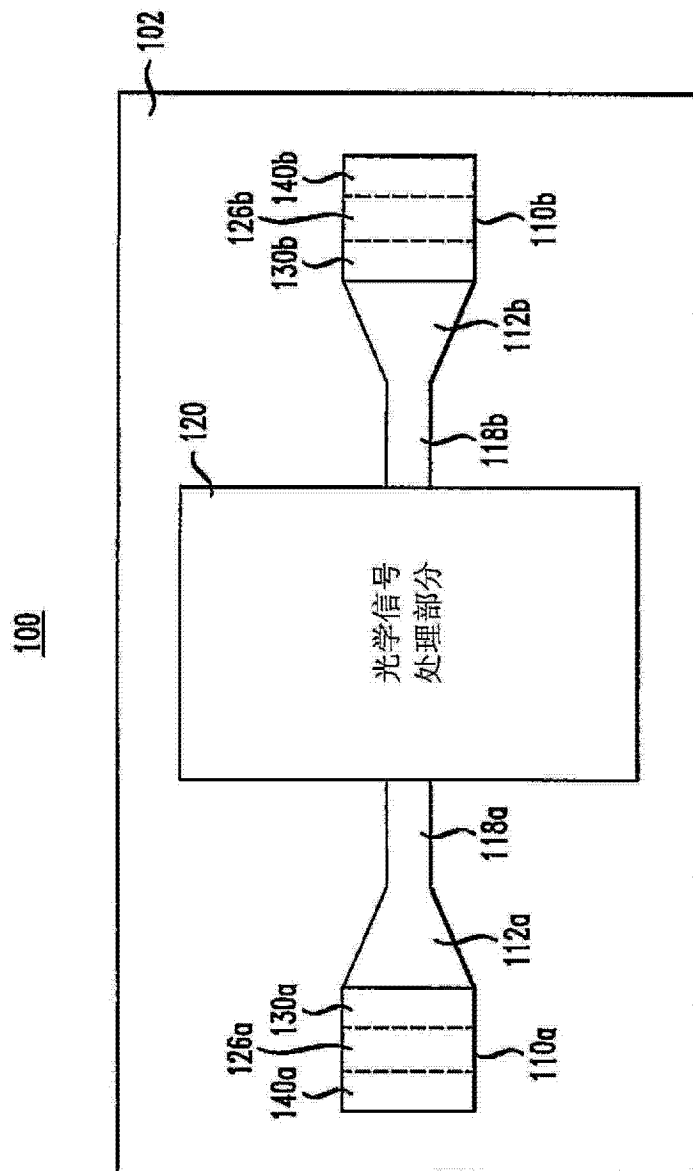


图 1

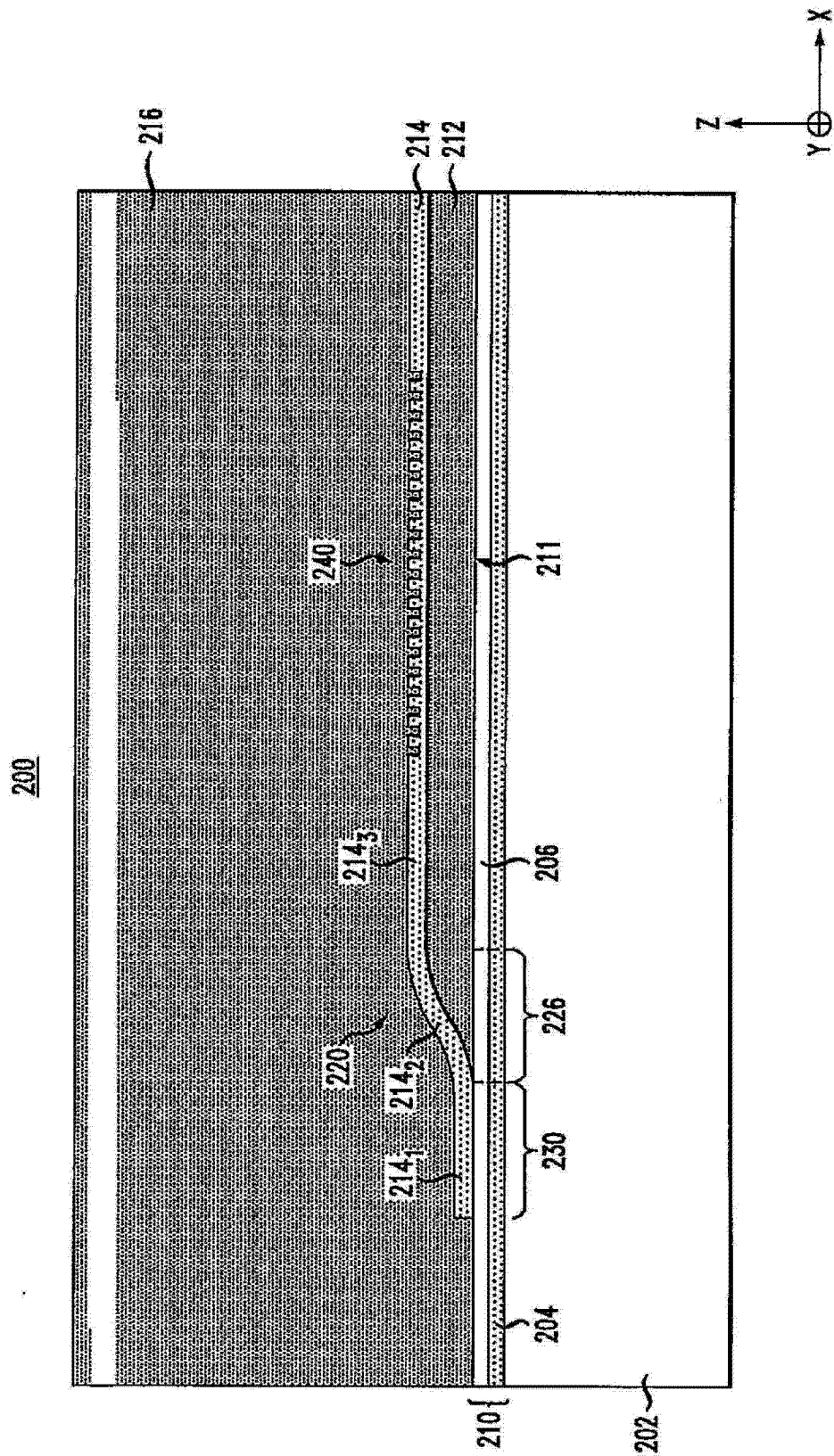


图 2A

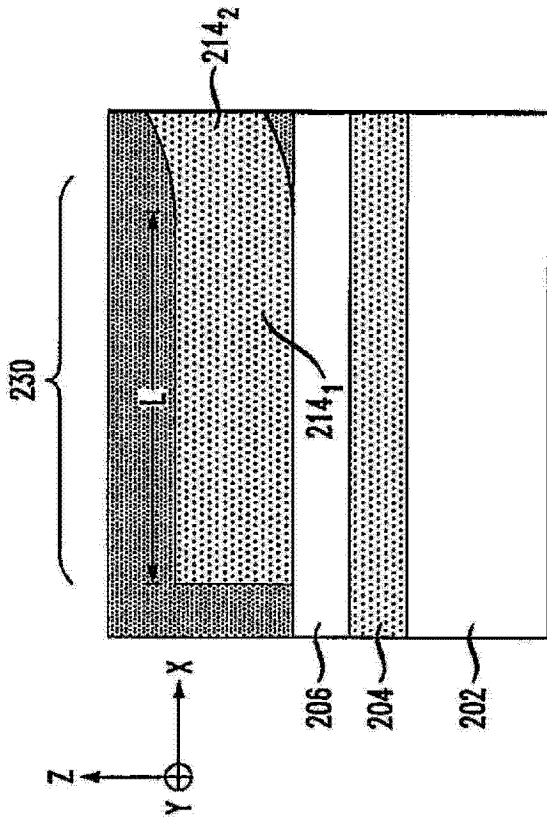


图 2B

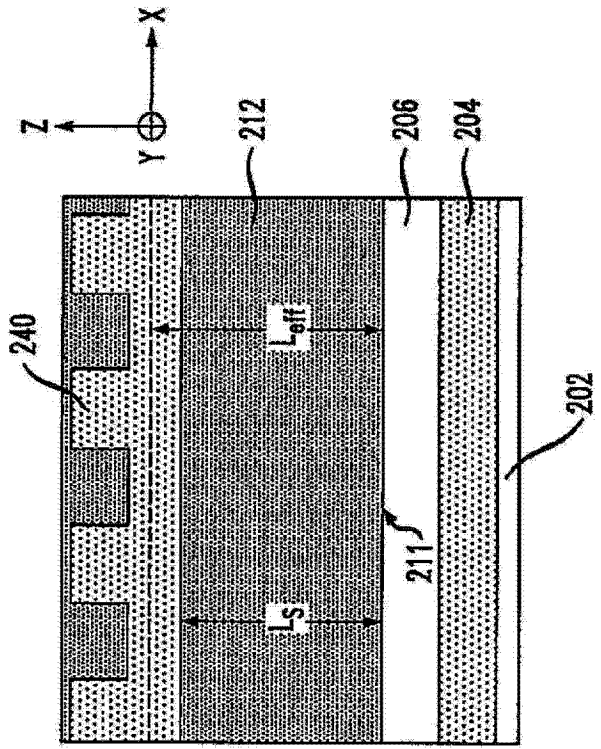


图 2C

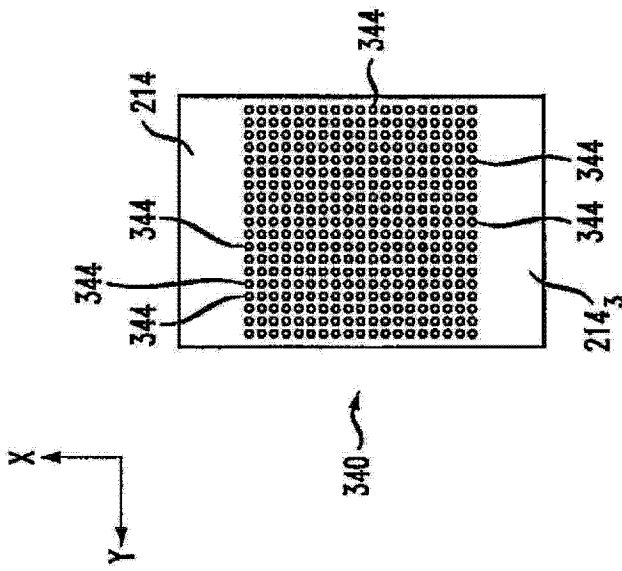


图 3A

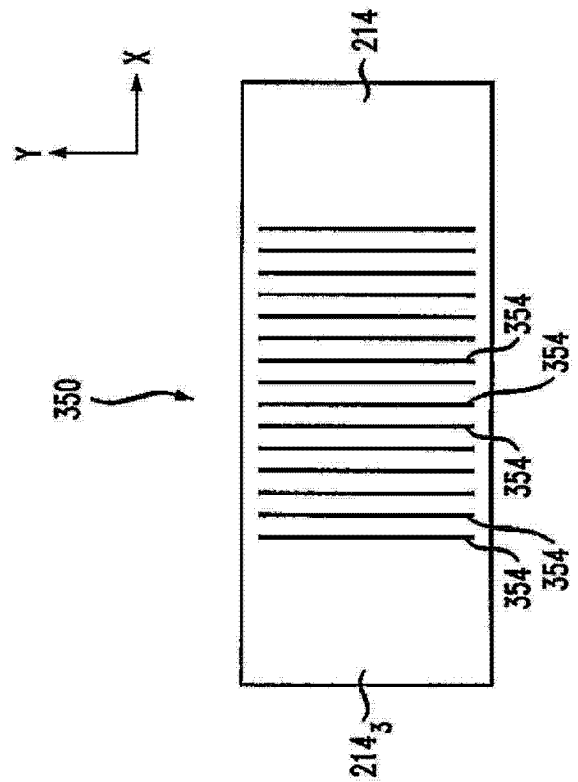


图 3B

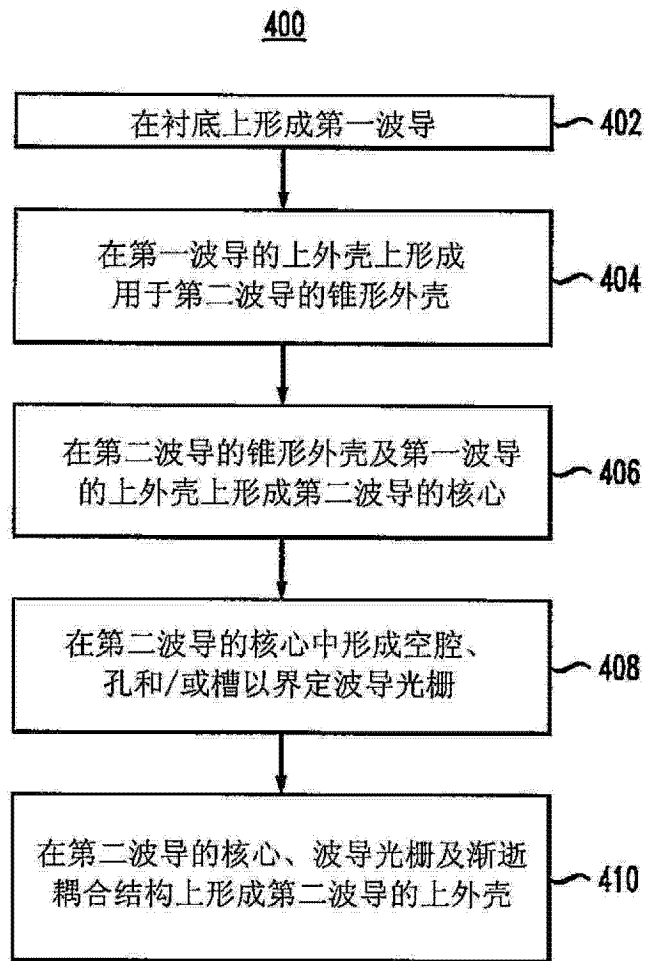


图 4